ปัญหาพิเศษ

การทำแห้งใบผักเหลียงโดยใช้ตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ
และการประยุกต์ใช้ผงใบผักเหลียงแห้งในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

(Hot air oven and microwave drying of Phak liang (*Gnetum gnemon* Linn.) leaves and application of dried Phak liang powder in bread product)

จัดทำโดย

ณัฐชนก ศศิโอภาส

อับดุลเราะมาน เวาะเละ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

Faculty of Agro-Industry

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang
Bangkok 10520 Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำแห้งใบผักเหลียงโดยใช้ตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ และการประยุกต์ใช้ผงใบผักเหลียงแห้งในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

(Hot air oven and microwave drying of Phak liang (*Gnetum gnemon* Linn.) leaves and application of dried Phak liang powder in bread product)

T129550

ณัฐชนก ศศิโอภาส

อับดุลเราะมาน เวาะเละ

ส/ว.
ว6322 ศ
2556

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....129550
วัน, เดือน, ปี.....3 ส.ค. 2557

b.....12574880.....
i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พ.ศ. 2556

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การทำแห้งใบผักเหลียงโดยใช้ตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ
และการประยุกต์ใช้ผงใบผักเหลียงแห้งในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

(Hot air oven and microwave drying of Phak liang (*Gnetum gnemon* Linn.) leaves and application of dried Phak liang powder in bread product)

จัดทำโดย

นางสาวณัฐชนก ศศิโอภาส รหัส 52080014

นายอับดุลเราะมาน เวาะเละ รหัส 52080229

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 25/04/2556 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งของใบผักเหลียง โดยเปรียบเทียบวิธีการทำแห้ง 2 วิธี คือ การใช้ตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60 , 70 และ 80 องศาเซลเซียส และการใช้เตาไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 600 , 700 และ 800 วัตต์ นำตัวอย่างผักเหลียงแห้งมาวิเคราะห์ทางกายภาพ และทางเคมี พบว่าการทำแห้งโดยใช้เตาไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 800 วัตต์ เป็นสภาวะที่ทำให้ได้ตัวอย่างใบผักเหลียงแห้งที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด 3.01±0.15 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด 2.25±0.02 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง อีกทั้งยังมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด โดยวิธี DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก อย่างไรก็ตามการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่าองศาความเป็นสีเขียว (Hue) มากที่สุด และมีปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงที่สุด 15.00±0.06 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง

เมื่อทดลองนำผงใบผักเหลียงแห้งที่ทำแห้งโดยใช้เตาไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 800 วัตต์ มาเสริมในส่วนผสมของขนมปังแซนวิช โดยทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 1 , 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแป้ง พบว่าลักษณะทางกายภาพในด้านของความเป็นสีเขียว ($-a^*$) ของขนมปังแซนวิชจะแปรผันตามระดับปริมาณของผงใบผักเหลียงอบแห้งที่เติม นอกจากนี้ปริมาตรของขนมปังมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับการเสริมผงใบผักเหลียงแห้งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่ระดับ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรของตัวอย่างขนมปังแซนวิชที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่า การเติมผงใบผักเหลียงแห้งทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ขนมปังแซนวิชที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม และขนมปังแซนวิชเสริมใบผักเหลียงแห้งที่ได้มีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 155.00±0.09 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/100กรัมน้ำหนักแห้ง 33.55±0.06 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง และ 5.65±0.12 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

.....

(นางสาวณัฐชนก ศศิโอภาส)

.....

(นายอับดุลเราะมาน เวาะเละ)

.....

(รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

The suitable drying condition of Phak liang (*Gnetum gnemon* Linn. var. *tenerum Markgr.*) leaves by hot air oven drying at 3 temperatures (60, 70 and 80 °C) and microwave drying at 3 power levels (600, 700 and 800 W) was studied. The result of chemical properties showed that microwave drying at 800 W was the suitable drying condition, because it yielded the dried Phak liang sample with the highest chlorophyll content (3.01±0.15 mg/g dry basis) and β-carotene content (2.25±0.02 mg/100 g dry basis), moreover it had the highest antioxidant properties by DPPH scavenging activity and ferric reducing antioxidative potential (FRAP), whereas hot air oven drying at 80 °C resulted in the sample with the highest H° value and total polyphenol content (15.00±0.06 mg gallic acid equivalent/g dry basis).

The dried Phak liang powder prepared by microwave drying at 800 W was used to partially substitute wheat flour in sandwich bread making, at 1, 2 and 3 %. The result of green color value ($-a^{*}$) showed that sandwich bread had greater extend of green when percent of Phak liang powder added increased. In addition, the bread samples with higher dried Phak liang powder added tented to have lower specific volume, however the specific volume of the samples with 1 and 2% of dried Phak liang powder showed no significant difference ($p \geq 0.05$). In sensory evaluation, the result showed that 2% of dried Phak liang powder added bread was accepted.

Considering The result of chemical properties, sandwich bread with 2% of dried Phak liang powder added had total polyphenol content, total chlorophyll content and β-carotene content of 155.00±0.09 mg gallic acid equivalent/100 g dry basis, 33.55±0.06 mg/100 g dry basis and 5.65±0.12 mg/100 g dry basis, respectively.

Nutchanok .....

(Ms. Nutchanok Sasi-o-phat)

Abdulrahmann .....

(Mr. Abdulrohman Wohleh)

P. Pinsirodz .....

(Assoc. Prof. Dr. Phraphan Pinsirodom)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่องการทำแห้งใบผักเหลียงโดยใช้ตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ และการประยุกต์ใช้ผงใบผักเหลียงแห้งในผลิตภัณฑ์ขนมปังสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ที่กรุณาสละเวลา เอาใจใส่ ให้คำแนะนำและคอยชี้แนะเป็นอย่างดี ตลอดช่วยแก้ไขรายงานฉบับนี้เพื่อให้มีความถูกต้องจนสำเร็จสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำปัญหาพิเศษ ถึงแม้ว่าจะไม่ได้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษของข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจในการทำงาน ขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง และขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ให้กำลังใจ และคำปรึกษาจนการจัดทำปัญหาพิเศษนี้เสร็จสมบูรณ์

นางสาวณัฐชนก ศศีโอภาส

นายอับดุลเราะมาน เวาะเละ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....(1)

Abstract.....(2)

กิตติกรรมประกาศ.....(3)

สารบัญตาราง.....(6)

สารบัญภาพประกอบ.....(7)

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....2

บทที่ 2 วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ผักเหลียง.....3
2.2 การทำแห้ง (Drying).....7
2.3 ไมโครเวฟ.....14
2.4 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll).....17
2.5 แคโรทีนอยด์ (Carotenoid).....19
2.6 สารประกอบโพลีฟีนอล (Polyphenol compounds or phenolics).....22
2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants).....25
2.8 ขนมปัง.....26
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน.....28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ.....29

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....30

3.1 วัตถุดิบ.....30
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....30
3.3 สารเคมี.....30
3.4 วิธีการทดลอง.....31

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....34

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของใบผักเหลียงอบแห้ง.....34
4.2 การศึกษาลักษณะทางเคมีของใบผักเหลียงสดและอบแห้ง.....35
4.3 การศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบผักเหลียงสดและอบแห้ง.....36
4.4 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของขนมปังเสริมใบผักเหลียงอบแห้ง.....37
4.5 การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้ง.....38
4.6 การศึกษาสมบัติทางเคมีของขนมปังเสริมผงผักเหลียงอบแห้งที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์.....38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....39

5.1 สรุปผลการทดลอง....39
5.2 ข้อเสนอแนะ....40

เอกสารอ้างอิง....41

ภาคผนวก....44

ก การวิเคราะห์หาความชื้น....45
ข. การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenol content)....47
ข การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH....51
ค การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP)....55
ฅ การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chloropyll content)....59
ฆ การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene)....61
ง การหาปริมาตรจำเพาะขนมปังโดยวิธี rapeseed displacement....63
จ แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารของต้นผักเหลียง....7
2.2 การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของใบอ่อนต้นผักเหลียงกับผักทั่วไปในท้องตลาด....7
2.3 การแบ่งประเภทเครื่องทำแห้ง....11
2.4 ปริมาณความชื้นของอาหารก่อนและหลังการทำแห้ง....12
2.5 สัดส่วนโดยประมาณสำหรับการอบแห้ง การหดตัว และการคืนตัวของผักบางชนิด....13
2.6 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิด....18
2.7 สารประกอบโพลีฟีนอลส่วนใหญ่ที่พบในพืช....25
4.1 Effect of drying methods on color values dried Phak liang samples....34
4.2 Effect of drying methods on total polyphenol content, chlorophyll content and β-carotene content of fresh and dried Phak liang samples....35
4.3 Effect of drying methods on antioxidant properties on fresh and dried Phak liang samples....36
4.4 Effect of dried Phak liang powder addition on specific volume of bread samples....37
4.5 Effect of dried Phak liang powder addition on color values of bread samples....37
4.6 Sensory quality by 9 point Hedonic scale test of bread samples with dried Phak liang powder added....38
4.7 Chemical properties of breads with 2% of dried Phak liang powder added....38
ก.1 น้ำหนักตัวอย่างใบผักเหลียงสดก่อนอบ และหลังอบ....45
ก.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายของใบผักเหลียงหลังอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน....46
ก.3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายของใบผักเหลียงหลังอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ....46
ข.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก....48
ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตรของสารละลายกรดแกลลิกมาตรฐาน....48
ข.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH....52
ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์และเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH....52
ค.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP)....56
ค.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่ หน้า

2.1 ลักษณะรากของต้นผักเหลียง....4
2.2 ลักษณะใบของผักเหลียง....5
2.3 ลักษณะผลของผักเหลียง....6
2.4 การเคลื่อนที่ของความชื้นในระหว่างการทำแห้ง....8
2.5 กราฟอัตราการทำแห้ง....9
2.6 กลไกการเกิดความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟ....15
2.7 โครงสร้าง chlorophyll a , chlorophyll b และ chlorophyll d....18
2.8 โครงสร้าง chlorophyll c1 และ chlorophyll c2....19
2.9 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์กลุ่ม hydrogenated carotenoid derivatives....20
2.10 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์กลุ่ม oxygenated carotenoid derivatives....21
2.11 สูตรโครงสร้างของสารประกอบโพลีฟีนอลชนิดต่างๆที่พบทั่วไปในพืช....24
2.12 การต้านอนุมูลอิสระด้วยโปรตีนและเอนไซม์ในร่างกาย (LOOH = เพอร์ออกไซด์ของไขมัน)....26
2.13 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยีสต์....27
ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแกลลิก และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร....48
ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH....53
ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโทรลอกซ์กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ผักเหลียง (*Gnetum gnemon* Linn. var. tenerum Markgr.) เป็นต้นไม้ที่พบได้ทั้งบริเวณเนินเขาและที่ราบในความสูงจากระดับน้ำทะเล 2 – 500 เมตร หรือสูงกว่านั้น ในบริเวณที่มีดินร่วนซุยและมีความอุดมสมบูรณ์สูง มีต้นไม้ปกคลุมให้ร่มเงาเพียงพอ ฝนตกชุกโดยมีปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตรต่อปี ระยะเวลาฝนตกไม่น้อยกว่า 150 วันต่อปี และฝนแล้งติดต่อกันไม่เกิน 45 วัน ผักเหลียงจึงพบมากในภาคใต้ตอนกลางฝั่งตะวันตกของประเทศไทยเป็นส่วนใหญ่ เช่น จังหวัดพังงา ระนอง กระบี่ ตรัง (ฝั่งอันดามัน) ชุมพร (ฝั่งอ่าวไทย) เป็นต้น จะสังเกตเห็นว่าผักเหลียงขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือมีการปลูกแถบจังหวัดภาคใต้ฝั่งตะวันตกมากกว่าฝั่งตะวันออก อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำฝนชุกและต่อเนื่องในฝั่งตะวันตกจึงเหมาะสมกว่า ที่จังหวัดชุมพรได้มีการปลูกผักเหลียงใต้ร่มเงาไม้ผล เช่น เงาะ ทุเรียน ชมพู่ (http://natres.psu.ac.th/ProjectSite/webpage/8puk_meang-detail.htm)

ผักเหลียงอุดมไปด้วยเบต้าแคโรทีนซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชัน และเป็นสารตั้งต้นสร้างวิตามินเอ เบต้าแคโรทีนเป็นสารสีส้ม แต่กลับมองไม่เห็นสีส้มในผักเหลียงก็เพราะสารดังกล่าวถูกสีเขียวของใบผักปกปิดไว้จนหมด ผักเหลียงยังให้คุณค่าของแคลเซียมและฟอสฟอรัสอีกด้วย ซึ่งช่วยบำรุงกระดูกและฟัน (http://www.thaifitway.com/education/ndata/n2db/question.asp?QID=4)

การบริโภคผักเหลียงนิยมบริโภคเป็นผักสดหรือนำมาประกอบอาหาร เช่น ผักเหลียงต้มกะทิ ผักเหลียงผัดกับไข่ เป็นต้น และยังมีการแปรรูปเป็นเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การนำผักเหลียงที่มีมากในพื้นที่ภาคใต้มาเพิ่มมูลค่าโดยการแปรรูปด้วยความร้อน ทำแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ชาผักเหลียง น้ำผักเหลียงพร้อมดื่ม น้ำผักเลียงเข้มข้น และชาผักเหลียงสำเร็จรูป หรืออาจเป็นข้าวเกรียบผักเหลียง เป็นต้น (http://www.most.go.th/main/index.php/summary-technology/food-processing-technology/1373-2010-02-03-09-17-38.html)

การทำแห้งอาหารเป็นการกำจัดน้ำออกจากชิ้นอาหาร ซึ่งน้ำส่วนใหญ่ในอาหารจะระเหยออกจากอาหารด้วยความร้อนแฝง การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นวิธีการทำแห้งที่นิยมใช้กันมากในการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง เพราะมีราคาและค่าบำรุงรักษาเครื่องค่อนข้างต่ำ สามารถควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมได้ และมีระบบบังคับทิศทางการไหลของลมร้อนภายในเครื่องโดยใช้แผ่นเหล็กบางๆกั้น เพื่อให้ลมร้อนไหลอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงทุกส่วน (www.agro.cmu.ac.th/e_books/ 604303/.../Lab13-tray%20drying.doc) การทำแห้งด้วยเตาไมโครเวฟเป็นการใช้รังสีไมโครเวฟในการทำให้เกิดความร้อนภายในชิ้นอาหาร ทำให้ความร้อนเกิดขึ้นได้เร็ว ส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำเร็วขึ้น และเวลาที่ใช้ในการทำแห้งเร็วกว่าวิธีอื่นๆ อีกทั้งยังสามารถรักษาคุณภาพด้านสี และคงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลได้มากกว่าวิธีการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และตู้อบลมร้อน (Araslan และ Özcan, 2010) ดังนั้นปัญหาพิเศษนี้จึงสนใจศึกษาการทำแห้งใบผักเหลียงเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และด้วยเตาไมโครเวฟ โดยการเปรียบเทียบคุณภาพของใบผักเหลียงอบแห้งที่ได้ ได้แก่ ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และยังศึกษาการประยุกต์ใช้ใบผักเหลียงอบแห้งในการทำขนมปังเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าเชิงสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เบต้าแคโรทีน และสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบผักเหลียงก่อนและหลังการทำแห้ง

2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งใบผักเหลียงด้วยตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ

3. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ใบผักเหลียงอบแห้งในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เบต้าแคโรทีน และสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบผักเหลียงก่อนและหลังผ่านการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ โดยตู้อบลมร้อนจะใช้อุณหภูมิ 3 ระดับในการทำแห้ง ได้แก่ 60 , 70 และ 80 องศาเซลเซียส ส่วนเตาไมโครเวฟจะใช้กำลัง 3 ระดับในการทำแห้ง ได้แก่ 60 , 70 และ 80 วัตต์ โดยทำแห้งจนตัวอย่างใบผักเหลียงมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตัวออย่างหลังทำแห้งจะถูกนำมาบดให้เป็นผงโดยใช้เครื่องปั่นแห้ง แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าสี และสมบัติทางเคมีตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ปัจจัยเหล่านี้จะใช้ในการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการทำแห้งใบผักเหลียง เพื่อนำผงใบผักเหลียงอบแห้งที่ได้ไปศึกษาการทดแทนแป้งสาลีในขนมปังแซนวิช 3 ระดับ ได้แก่ 1 , 2 และ 3 % โดยน้ำหนักแป้งสาลี จากนั้นผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนวิชที่ได้จะนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic scale 9 ระดับคะแนน และวิเคราะห์ค่าสีของเนื้อขนม และปริมาตรจำเพาะ เพื่อคัดเลือกขนมปังที่มีระดับที่การทดแทนผงใบผักเหลียงอบแห้งที่เหมาะสม โดยขนมปังที่มีระดับที่การทดแทนผงใบผักเหลียงอบแห้งที่เหมาะสมจะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คลอโรฟิลล์ และแปอร์เซ็นต์บต้าแคโรทีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ผลงานวิจัยและงานเขียนอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผักเหลียง

2.1.1 แหล่งกำเนิดผักเหลียง

ผักเหลียงโดยธรรมชาติเป็นพันธุ์ไม้ป่าเจริญเติบโตได้ดีภายใต้ร่มเงาต้นไม้อื่นๆ พบทั่วไปตามเนินเขาและที่ราบ ตั้งแต่ในระดับความสูงจากน้ำทะเลเพียง 1 - 2 เมตร ถึงประมาณ 500 เมตร หรือสูงกว่านั้น เติบโตได้ดีในสภาพดินที่ร่วนซุย มีปุ๋ยอินทรีย์ตามธรรมชาติสมบูรณ์ มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมให้ร่มเงาอย่างเพียงพอ ฝนตกชุกปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 3,000 มิลลิลิตรต่อปี ระยะเวลาฝนตกไม่น้อยกว่า 150 วันต่อปี ฝนแล้งติดกันไม่เกิน 45 วัน ซึ่งสถานที่เหล่านี้จะอยู่ในทางภาคใต้ตอนกลาง ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง พังงา สุราษฎร์ธานี กระบี่ ตรัง และประเทศสังคมนิยมพม่าส่วนที่มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดชุมพร ระนอง เพราะสภาพพื้นที่ของจังหวัดดังที่กล่าวมานี้ มีพื้นที่ป่าธรรมชาติที่สมบูรณ์ ฝนตกชุก ความชื้นสูงจึงเหมาะสมที่ต้นผักเหลียงจะงอกงามเจริญขึ้นเป็นต้น และขยายพันธุ์ไปได้เองตามธรรมชาติ

ปัจจุบันนี้ต้นผักเหลียงตามธรรมชาติได้ถูกทำลายไปเป็นจำนานมากในหลายพื้นที่ โดยการตัดไม้ทำลายป่า การแผ้วถางเพื่อเอาพื้นที่มาใช้ในการทำการเกษตร เช่น ปลูกยางพารา สวนผลไม้ต่างๆ รวมทั้งการใช้เป็นที่อยู่อาศัย และกิจกรรมอื่นๆ อย่างไรก็ตามยังโชคดีที่มีคนนำผักเหลียงที่ขึ้นในป่าทางธรรมชาติมาปลูกตามบ้าน ปลูกเป็นสวนภายใต้ต้นเงาของต้นยางพารา และสวนผลไม้ต่างๆ เพื่อใช้รับประทานและขาย

ผักเหลียงเป็นพืชผักที่โรคและแมลงไม่รบกวนจึงปลอดภัยจากสารพิษ การดูแลรักษาง่าย ปลูกครั้งเดียวสามารถเก็บกินเก็บขายได้ตลอด เป็นพืชที่มีอายุยืนกว่าผักอื่นๆทุกชนิด สามารถอยู่ได้หลายชั่วอายุคน ยอดใบอ่อน ดอกผล นำมาประกอบอาหารได้หลายอย่าง รสชาติดี หวานมันนิดๆ ชวนรับประทาน ทำให้มีผู้สนใจปลูกเป็นสวนกันมากขึ้น

ผักเหลียงมีชื่อเรียกขานไม่เหมือนกัน จังหวัดชุมพร ระนอง ประจวบคีรีขันธ์ เรียก “ผักเหลียง” จังหวัดพังงา ภูเก็ต กระบี่ เรียก “ผักเหมียง” จังหวัดสุราษฎร์ธานีเรียก “ผักเขลียง” บางทีชื่อเหล่านี้น่าจะมาจากคำว่า “เลียง” เพราะสมัยก่อนชาวบ้านนิยมนำมาแกงเลียงเป็นส่วนใหญ่ (กูล, 2539)

2.1.2 ลักษณะของต้นผักเหลียง

ผักเหลียงเป็นพืชที่เจริญทางใบมากกว่าลำต้น ต้นผักเหลียงมีอายุไม่น้อยกว่า 50 ปี พบได้ตามธรรมชาติ และถูกนำมาปลูกเป็นสวน จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นโดยประมาณไม่เกิน 20 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 3 - 4 เมตร เนื้อไม้เหนียวสามารถโน้มส่วนยอดลงมาติดดินได้โดยลำต้นไม่หัก ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อๆ ซึ่งข้อขี้จะเด่นชัดขึ้นกับสายพันธ์แต่ละชนิด เช่น พันธุ์ยอดนิยม ข้อของลำต้นมีลักษณะนูนอย่างเด่นชัด ผิวเปลือกเรียบ เปลือกอ่อนสีเขียว เมื่อแก่สีน้ำตาล แต่พันธุ์สูงชะลูดข้อของลำต้นนูนมากกว่าทุกสายพันธุ์ เปลือกแก่สีน้ำตาลคล้ำ (กูล, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 ราก

ต้นผักเหลียงมีรากแก้วที่ใหญ่แข็งแรงหยั่งลึกลงในดินมาก จึงสามารถทนแล้งได้ดี รากแขนงของต้นผักเหลียงในหนึ่งต้นจะมีเพียงไม่กี่ราก รากแขนงแต่ละรากมีความแข็งแรงและยาว ความยาวของรากแขนงบางรากจะยาวกว่าความสูงของต้นผักเหลียง ในแต่ละรากแขนงจะประกอบไปด้วยรากฝอย รากแขนงจะชอนลึกลงไปในดินประมาณ 2 - 5 เซนติเมตร (กูล, 2539)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะรากของต้นผักเหลียง

ที่มา : http://www.rakbankerd.com/agriculture/wb/show.php?Category=agriculture&No=10870

2.1.2.2 กิ่ง

กิ่งของต้นผักเหลียงออกมาจากลำต้นหรือกิ่งกระโดงเป็นคู่ๆ กิ่งที่ออกมาทุกกิ่งจะมีลักษณะเป็นข้อๆ กิ่งของต้นผักเหลียงถ้าไม่มีอะไรไปทำลายจะไม่มีการสลัดกิ่ง ยกเว้นพันธ์สูงชะลูดจะสลัดกิ่งจะสลัดกิ่งจนลำต้นตรงปลายสูง (กูล, 2539)

2.1.2.3 ใบ

ใบผักเหลียงมีลักษณะคล้ายใบยางพาราทั้งขนาดและสีสันแสดงดังภาพที่ 2.2 ใบออกมาจากปลายยอดของต้นและกิ่ง ออกมาเป็นคู่ๆ ใบยาว 10 - 20 เซนติเมตร กว้าง 4 - 10 เซนติเมตร ปลายใบมีลักษณะเรียวแหลม ใบมีสีเขียวมันสดใสเมื่ออยู่ในสภาพร่มเงา แต่ถ้าอยู่ในที่โล่งได้รับแสแดดจ้า สีของใบจะจาง หรืออาจขาวหมดทั้งใบ ยอดอ่อนมีรสชาติหวานมัน รับประทานได้ทั้งดิบและสุก (กูล, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.2 ลักษณะใบของผักเหลียง

ที่มา : http://www.rakbankerd.com/products/browse-search.php?page_no=104&txtword=

2.1.2.4 ดอก

ดอกมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย ดอกตัวผู้เป็นดอกขนาดเล็กออกมาเป็นช่อทางข้อของกิ่ง แต่ละช่อดอกยาวประมาณ 3 - 4 เซนติเมตร มีปุ่มดอกขนาดเล็กเรียงกันเป็นข้อๆประมาณ 5 - 8 ข้อ กลีบดอกเมื่อบานจะมีสีขาวเมื่อร่วงโรยก็ร่วงหล่นทั้งช่อดอก ต้นที่ออกดอกตัวผู้ก็จะออกแต่ดอกตัวผู้เท่านั้น ดอกตัวเมียเป็นดอกสมบูรณ์เพศ เป็นดอกขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ออกมาเป็นช่อตามข้อของกิ่ง แต่ละช่อยาวประมาณ 5 - 7 เซนติเมตร ในแต่ละช่อจะมีปุ่มดอกเรียงเป็นข้อๆ ข้อละประมาณ 7 - 10 เซนติเมตร

ต้นผักเหลียงจะออกดอกติดผลไม่แน่นอนในแต่ละปี บางครั้งอาจหลายปีถึงจะออกดอกติดผล แต่ละปีการออกดอกอาจช้าหรือเร็วกว่ากำหนดหรืออาจทยอยเป็นตลอดปีก็ได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นย่อมขึ้นอยู่กับดินฟ้าอากาศและลมฝน เพราะถ้าปีใดฝนตกมากก็จะไม่เป็นดอก แต่ถ้าปีใดฝนตกน้อยช่วงแล้งมาก ปีนั้นจะออกดอกติดผลมาก (กูล, 2539)

2.1.2.5 ผล

ผลมีรูปลักษณะกลมยาวคล้ายไข่ ก้นผลแหลมหรือกลมมน ชนิดก้นแหลมผลสดทั้งเปลือกกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร ยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร เมล็ดกว้างประมาณ 0.7 เซนติเมตร ชนิดก้นผลกลมผลสดทั้งเปลือกกว้างประมาณ 1.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร ผลอ่อนเปลือกผลสีเขียว เมื่อแก่เปลือกผลและเนื้อหุ้มเมล็ดจะมีสีขาว เปลือกหุ้มเมล็ดค่อนข้างบาง จะหนาและแข็งเฉพาะส่วนหัว ในหนึ่งช่อจะมีประมาณ 10 - 20 ผล ผลอ่อนรสชาติหวานมันใช้รับประทานได้ (กูล, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.3 ลักษณะผลของผักเหลียง

ที่มา : http://www.doa.go.th/hrc/chumphon/index.php?option=com_content&view=article&id=161&Itemid=27&showall=1

2.1.3 สายพันธุ์ของผักเหลียง

สายพันธ์ต้นผักเหลียงในประเทศไทยและต่างประเทศที่พบมี 3 สายพันธุ์ ดังนี้ (กูล, 2539)

2.1.3.1 พันธุ์ยอดนิยม

ผักเหลียงพันธุ์ยอดนิยมเป็นไม้ทรงพุ่มสูงประมาณ 3-4 เมตร ลำต้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณไม่เกิน 20 เซนติเมตร มีความเจริญทางใบมากกว่าลำต้น ไม่มีการสลัดกิ่งและผลัดใบ

2.1.3.2 พันธุ์สูงชะลูด

ผักเหลียงพันธุ์สูงชะลูดมีลำต้นตรงเปลา กิ่งส่วนใหญ่จะอยู่ตรงส่วนปลายของต้น ลำต้นมีลักษณะเป็นข้อๆนูนขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ผิวเปลือกเรียบ สีของเปลือกค่อนข้างคล้ำกว่าพันธุ์ยอดนิยม ลำต้นสูงประมาณ 10 เมตร

2.1.3.3 พันธุ์อินโดนีเซีย

ผักเหลียงพันธุ์อินโดนีเซียเป็นไม้ยืนต้นสูง 10-12 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น 30-40 เซนติเมตร มีกิ่งตลอดลำต้น ขนาดลำต้นสูงกว่าทุกสายพันธุ์ ใบออกมาเป็นคู่ มีรูปร่าง รสชาติ กลิ่นเหมือนผักเหลียงในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการของผักเหลียง

ผักเหลียงมีคุณค่าทางโภชนาการต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 (กูล, 2539)

ตารางที่ 2.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารของต้นผักเหลียง

ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารของต้นผักเหลียง (%)	
	เมล็ด	ยอดใบอ่อน (ส่วนที่กินได้)
น้ำ (water)	38.48	76.41
โปรตีน (protein)	3.25	5.27
ไขมัน (fat)	2.14	1.49
คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)	54.94	14.91
สารเยื่อใย (fiber)	11.10	5.40
เถ้า (ash)	1.18	1.92
พลังงาน	252.08	91.14

หมายเหตุ พลังงานหน่วยเป็น แคลอรี/100 กรัม

ที่มา : กูล (2539)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของใบอ่อนต้นผักเหลียงกับผักทั่วไปในท้องตลาด

ชนิดผัก	น้ำ (กรัม)	พลังงาน (แคลอรี่)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	แคลเซียม (มิลลิกรัม)
ผักเหลียง	75.13	91.4	6.56	1.17	14.91	150.50
คะน้า	83	53	6.0	0.8	9.0	249
กะหล่ำปลี	96	64	1.3	0.6	5.4	49
บร็อกโคลี่	89	36	3.6	0.3	5.9	103
ผักกาดขาว	95	14	1.6	0.1	3.0	43
ผักกาดหอม (ใบ)	94	18	1.3	0.3	3.5	68
ฟักทอง	92	66	1.0	0.1	6.5	21
มะเขือ	92	65	1.6	0.6	5.6	12
มะเขือเทศ (เขียว)	93	64	1.6	0.6	5.1	13
มะเขือเทศ (สุก)	94	66	1.1	0.6	4.7	13

ที่มา : กูล, (2539)

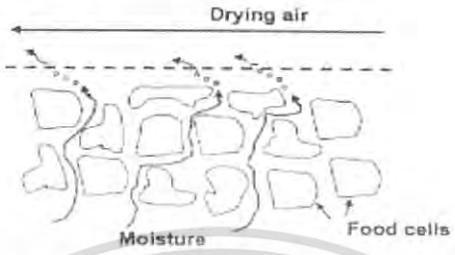
2.2 การทำแห้ง (Drying)

การทำแห้ง หมายถึง การใช้ความร้อนในการกำจัดน้ำที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (freeze drying) วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity or Aw) ซึ่งมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งโดยทั่วไปจะไม่สูงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ก็ตาม (วิไล, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหาร ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร ทำให้น้ำในอาหารระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของความชื้นในระหว่างการทำแห้ง

ที่มา : http://www.uto.kmutt.ac.th/main/download/doc-inno-01.pdf

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอภายในของอาหาร ส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร โดยน้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้ (วิไล, 2552)

2.2.1.1 การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี่ (capillary)

2.2.1.2 การแพร่ผ่านของของเหลวที่เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ

2.2.1.3 การแพร่ผ่านของของเหลวที่ถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร

2.2.1.4 ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร

2.2.2 อัตราการทำแห้ง (Drying rate)

อัตราการทำแห้ง คือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลา ระหว่างการทำแห้ง อัตราการทำแห้งของอาหารขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของอาหารเริ่มต้นก่อนการทำแห้งและสภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง (Dryer) อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient) เป็นต้น สมการของอัตราการแห้งสามารถแสดงได้ดังนี้ (http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/663/drying%20rate)

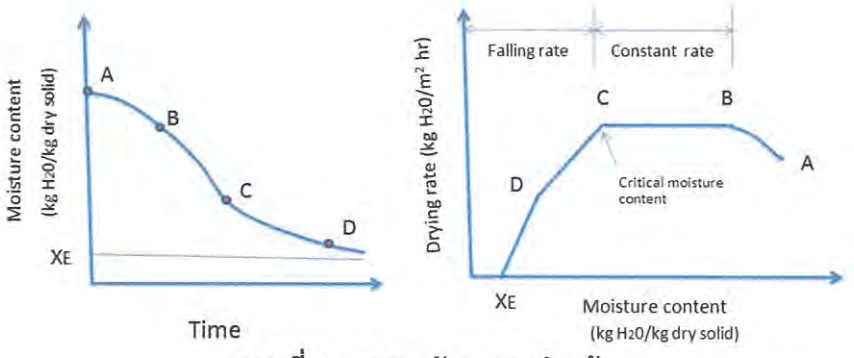
$$R = \frac{-dm}{A \times dt}$$

เมื่อ R = อัตราการแห้งหรืออัตราการระเหย ($kg/m^2\ hr$)

A = พื้นที่ผิว ที่เกิดการระเหย (m^2)

$\frac{dm}{dt}$ = มวลของน้ำที่ระเหยต่อหนึ่งหน่วยเวลา (kg/hr)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 กราฟอัตราการทำแห้ง

ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/663/drying%20rate

กราฟระหว่างอัตราการแห้ง และความชื้นในอาหารนั้น (moisture content) แบ่งออกเป็น 3 ช่วงแสดงดังภาพที่ 2.5 คือ (http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/663/drying%20rate)

2.2.2.1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period AB) เป็นช่วงเริ่มต้นของการทำแห้ง โดยอาหารยังมีความชื้นเริ่มต้น (A) สูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหารมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกะเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำแห้งค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (constant rate)

2.2.2.2. ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant Rate Period BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในอาหารเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าของอาหาร พลังงานความร้อนที่อาหารได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของอาหารอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของอาหารจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการทำแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการทำแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการทำแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของอาหาร ณ เวลานี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) การคำนวณอัตราการอบแห้งในช่วงนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$Rc = \frac{h}{\lambda_v}(T_v - T_i)$$

เมื่อ R_C = อัตราการอบแห้งในช่วงความเร็วคงที่

h_v = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($w/m^{2\,O}C$)

T_v = อุณหภูมิของลมร้อน (^OC)

T_i = อุณหภูมิที่ผิวของอาหารเท่ากับ T_W (^OC)

2.2.2.3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้งทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content or XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุดภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้อัตราการทำแห้งจะเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้งมีหลายประการ ดังนี้ (http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/663/drying%20rate)

2.2.3.1 ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2.2.3.2. ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นการอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่า เนื่องจาก อัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

2.2.3.3 ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจาก อากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราอบแห้งช้าลง

2.2.3.4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศ การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

2.2.2.5 ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำๆลงมาน้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทำแห้งในอุตสาหกรรม

เครื่องทำแห้ง (drier หรือ dryer) หมายถึง เครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหารที่ใช้เพื่อการทำแห้ง มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมในระหว่างการทำแห้ง เช่น ควบคุมอุณหภูมิ ความดัน เพื่อให้รักษาคุณภาพของอาหารตัวอย่างของเครื่องทำแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryers) เครื่องอบแห้งแบบถัง (bin dryer) เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (belt dryer) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ เบด (fluidized bed dryer) เครื่องอบแห้งแบบนูเมติกส์ (pneumatic dryer) เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน (rotary dryer) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์ (sun or solar drying) เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด (infrared dryer) เครื่องอบแห้งแบบระเหิด (freeze dryer) ฯลฯ การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้งตามเกณฑ์ต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.3 (http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/657/drier-เครื่องทำแห้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทเครื่องทำแห้ง

เกณฑ์การแบ่ง	ประเภท
อุณหภูมิอาหารระหว่างการทำแห้ง	• ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำเช่น การทำแห้งแบบระเหิด (Freeze dryer) • ต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ เช่น การทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer) • สูงกว่าจุดเดือด เช่น เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)
รูปแบบการถ่ายเทความร้อน	**การพาความร้อน** • เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryers) • เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Belt dryer) • เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) • เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ เบด (Fluidized bed dryer) • เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน (Rotary dryer) • เครื่องอบแห้งแบบใช้ลม (Pneumatic dryer) **การนำความร้อน** • เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer) **การแผ่รังสีความร้อน** • การทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์ (Sun or solar drying) • เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด (Infrared drier) **การเกิดความร้อนภายใน** • การทำแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave drier) **การถ่ายเทความร้อนแบบผสม**
ตัวกลางความร้อน	• อากาศร้อน • ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง • แก๊สร้อน
การเคลื่อนที่ของอาหารและตัวกลางความร้อน	• การเคลื่อนที่ตามกัน (Co-current flow) • การเคลื่อนที่สวนทางกัน (Counter current flow) • แบบผสม (Mixed flow)
รูปแบบการทำงาน	• เครื่องทำแห้งแบบกะ (Batch) • เครื่องทำแห้งแบบต่อเนื่อง (Continuous)
ความดันของสภาวะการอบแห้ง	• สุญญากาศ • ความดันบรรยากาศ

ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/657/drier-เครื่องทำแห้ง

2.2.5 ผลกระทบของการทำแห้งต่อคุณภาพอาหาร

การทำแห้งมีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารด้านต่างๆ ดังนี้ (วิไล, 2552)

2.2.5.1. ลักษณะเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารในการทำแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพ การจัดการเบื้องต้น (pretreatment) เช่น การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำลวก ชนิดและลักษณะของการลดขนาด และการปอกเปลือก ล้วนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ที่นำมาดูดคืนน้ำใหม่ อาหารที่ผ่านการลวกอาจสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสเนื่องจากการเกิดเจลของแป้ง การตกผลึกเซลลูโลส การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งส่วนต่างๆของอาหารทำให้เกิดความเครียดภายใน ตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณความชื้นของอาหารต่างๆก่อนและหลังการทำแห้ง ปัจจัยเหล่านี้จะอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเปลี่ยนรูปร่างของเซลล์ที่ค่อนข้างแข็งไปเป็นอาหารที่มีลักษณะเหี่ยวย่น อาหารจะดูดคืนความชื้นอีกครั้งในระหว่างการดูดคืนน้ำอย่างช้าๆ แต่จะไม่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นเหมือนวัตถุดิบเดิม อาหารต่างชนิดกันมีระดับการหดตัวที่ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.5

อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารมาก โดยทั่วไปการทำแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่า ตัวละลายจะเคลื่อนที่จากด้านในไปยังผิวหน้าอาหารในระหว่างที่น้ำถูกกำจัดออกในขั้นตอนการทำแห้ง กลไกและอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะสำหรับตัวละลายแต่ละชนิด และขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะการทำแห้ง การระเหยของน้ำทำให้ตัวละลายที่ผิวหน้าอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงของอากาศทำให้อาหารโดยเฉพาะ ผลไม้ ปลา และเนื้อ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าอาหาร และทำให้ผิวแห้งแข็งหรือที่เรียกว่าการเกิดผิวแห้งแข็ง (case hardening) ซึ่งจะลดอัตราการทำแห้งและทำให้อาหารมีผิวหน้าแห้งแต่ภายในชื้น การควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นด้านในและที่ผิวหน้าอาหารจะช่วยลดเหตุการณ์ดังกล่าวได้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณความชื้นของอาหารก่อนและหลังการทำแห้ง

อาหาร	ความชื้นก่อนการทำแห้ง (%)	ความชื้นหลังการทำแห้ง (%)
น้ำนม		
- นมสด	87	5.0
- นมสกัดไขมัน	90	5.0
ไข่		
- ไข่รวม	74	2.9
- ไข่ขาว	88	7.3
- ไข่แดง	51	1.1
เนื้อโคย่าง	60	1.5
เนื้อไก่ย่าง	61	1.6
ถั่วอบ	92	11.5
ข้าวโพดหวาน	76	3.2
มันฝรั่งต้ม	80	4.0
น้ำแอปเปิล	86	6.2

ที่มา : ดัดแปลงจาก วิไล (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 สัดส่วนโดยประมาณสำหรับการอบแห้ง การหดตัว และการคืนตัวของผักบางชนิด

ผัก	อัตราการทำแห้ง	อัตราการหดตัวโดยรวม	อัตราการคืนตัว
กะหล่ำปลี	11.5	21.0	10.5
แครอท (ลูกเต๋า)	7.5	12.0	7.0
หัวหอมใหญ่ (แผ่นบาง)	7.0	8.0	5.5
พริกไทยสด	17.0	22.0	8.0
ผักโขมฝรั่ง	13.0	13.5	5.0
แผ่นมะเขือเทศ	14.0	20.0	5.0

ที่มา : ดัดแปลงจาก วิไล (2552)

2.2.5.2. กลิ่นรส

ความร้อนนอกจากจะทำให้น้ำระเหยแล้วยังทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไอ และความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารหอมระเหย สารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหย และการแทนที่สูงจะเกิดการสูญเสียที่ช่วงแรกของการอบแห้ง เกิดการสูญเสียสารระเหยในช่วงหลังของการทำแห้งต่ำ การควบคุมสภาวะการทำแห้งในแต่ละขั้นตอนจะช่วยลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด

ปฏิกิริยาออกซิเดชันรงควัตถุ วิตามิน และไขมันในอาหารระหว่างการเก็บรักษาเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียกลิ่น อาหารแห้งซึ่งมีรูพรุนอยู่ภายในจะเก็บกักแก๊สออกซิเจนได้มาก อุณหภูมิในการเก็บรักษา และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้จะเป็นตัวกำหนดอัตราการเสื่อมเสียของอาหาร

ปฏิกิริยาออกซิเดชันในนมผงแห้งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาขั้นที่ 2 (secondary product) รวมทั้งเดลต้า-แลคโตน (*δ-lactone*) ผักและผลไม้มีปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อย แต่ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันดีไฮเดรชัน หรือออกซิเดชันแล้วกลายเป็นแอลดีไฮด์ คีโตน และกรดซึ่งทำให้เกิดการเหม็นหืน แคโรทีนในอาหารบางชนิด เช่น แครอท อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิด เบต้า-อิโอโนน (β-ionone) ซึ่งให้กลิ่นดอกไวโอเลต

2.2.5.3. สี

การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าอาหาร การสะท้อนแสง และสี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์เกิดจากปฏิกิริยาความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้ง โดยทั่วไปการทำแห้งที่เวลานานกว่าและอุณหภูมิสูงกว่าทำให้สีเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ในอาหารทำให้เกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา อัตราการเกิดสีน้ำตาลในนมหรือผลิตภัณฑ์ผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ และอุณหภูมิสูงในการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.4. คุณค่าทางโภชนาการ

รายงานที่เกี่ยวกับคุณค่าทางโภชนาการของอาหารแห้งมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากความแตกต่างกันในเรื่องการเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง และสภาวะในการเก็บรักษา การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของผักผลไม้มักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมมากกว่าในขั้นตอนการทำแห้ง

ความสามารถในการละลายน้ำของวิตามินต่างๆแตกต่างกัน เมื่อเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น วิตามินบางชนิด เช่น ไรโบฟลาวิน (riboflavin) อาจเกิดการอิ่มตัวและตกตะกอนในสารละลาย จึงเกิดการสูญเสียน้อย วิตามินชนิดอื่นๆ เช่น กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) จะละลายน้ำจนกระทั่งความชื้นของอาหารลดต่ำลงมาก และเกิดปฏิกิริยากับตัวทำละลายด้วยอัตราเร็วเท่ากับการทำแห้ง วิตามินซีไวต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไทอามิน (thiamine) ก็ไวต่อความร้อนเช่นกัน แต่วิตามินที่ละลายน้ำได้ชนิดอื่นจะทนทานต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าวิตามินซี และเกิดการสูญเสียระหว่างการทำแห้งไม่เกิน 5 – 10% ทั้งนี้ยกเว้นการสูญเสียเนื่องจากการลวก

สารอาหารส่วนใหญ่ที่ละลายได้ในไขมัน เช่น กรดไขมันที่จำเป็น และวิตามินเอ ดี อี และเค จะคงอยู่ในส่วนของอาหารแห้ง จึงไม่เข้มข้นขึ้นระหว่างการทำแห้ง อย่างไรก็ตามน้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับโลหะหนักซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอาหารที่ไม่อิ่มตัว เมื่อกำจัดน้ำออกตัวเร่งนี้จะมีความไวมากขึ้น และเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เร็วขึ้น วิตามินที่ละลายได้ในไขมันเกิดการสูญเสียจากปฏิกิริยากับเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการออกซิไดซ์ไขมัน

ความสามารถในการย่อย (digestibility) และค่าทางชีวภาพของโปรตีนในอาหารส่วนใหญ่จะไม่เปลี่ยนแปลงมากมาย อย่างไรก็ตามโปรตีนในนมจะเกิดการสูญเสียสภาพเป็นบางส่วนในระหว่างการทำแห้งด้วยลูกกลิ้ง ความสามารถในการละลายของนมผงจึงน้อยลง เกิดการจับตัวและขาดความสามารถในการแข็งตัว การทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยจะไม่มีผลต่อค่าทางชีวภาพของโปรตีน ค่า BV (Biological value) ของโปรตีนนมจะลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างไลซีนและแลคโทสที่อุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าประมาณ 5% ไลซีนจะไวต่อความร้อนและเกิดการสูญเสียในนมพร้อมไขมันเนย 3 – 10% ในการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย และ 5 – 40% ในการทำแห้งโดยใช้ลูกกลิ้ง

2.3 ไมโครเวฟ

2.3.1 การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ (microwave) คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1 มิลลิเมตร – 1 เมตร และมีความถี่อยู่ในช่วง 300 จิกกะเฮิร์ต – 300 เมกกะเฮิร์ต (http://en.wikipedia.org/wiki/Microwave) การให้ความร้อนด้วยตู้อบไมโครเวฟแตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบธรรมดา โดยเครื่องอบธรรมดาจะให้ความร้อนด้วยเปลวไฟแบบเตาแก๊สหรือขดลวดไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ การพา และการแผ่รังสี แต่ตู้อบไมโครเวฟทำให้อาหารสุกโดยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงถึง 2,450 ล้านรอบ/วินาที ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นๆต่อไปจนเกิดเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งพลังงานจลน์นี้เองจะกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วกว่าการประกอบอาหารด้วยวิธีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารหรือวัตถุใดๆที่มีปะจุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสนามไฟฟ้า นั่นคือเกิดการเปลี่ยนแปลงในตู้อบไมโครเวฟซึ่งมีสนามไฟฟ้าด้วย ตัวอย่างโมเลกุลที่มีประจุ เช่น โมเลกุลน้ำ โดยโครงสร้างโมเลกุลของน้ำจะประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอมที่ติดกับอะตอมออกซิเจน 1 อะตอม อะตอมไฮโดรเจนจะมีประจุบวก 1 ประจุ ส่วนอะตอมออกซิเจนจะมีประจุลบ 2 ประจุ เราเรียกโมเลกุลที่มีลักษณะดังกล่าวว่า ไดโพล (dipole) หรือโมเลกุลไดโพล ไดโพลในสนามแม่เหล็กเปรียบเสมือนเข็มของเข็มทิศไฟฟ้าและทำตัวเหมือนเข็มของเข็มทิศแม่เหล็ก ก่อนที่จะมีการทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น โมเลกุลของน้ำในอาหารจะมีทิศทางกระจัดกระจาย

ส่วนโมเลกุลซึ่งอยู่ในรูปของแข็ง เช่น น้ำแข็งซึ่งถูกล็อคโดยโครงสร้างของผลึกน้ำแข็งจะไม่สามารถหมุนไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้าได้ จึงไม่เกิดการชนกัน ในขณะที่โมเลกุลของแก๊สไม่มีความหนาแน่นพอที่จะเกิดการเสียดสีกันจนเกิดความร้อนได้

คลื่นไมโครเวฟไม่ใช่ความร้อน แต่เป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงาน คลื่นไมโครเวฟจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกันและเกิดความร้อนขึ้น เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่สูงมากถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาทีพุ่งเข้าหาอาหารจากทุกทิศทางโดยรอบของผนังตู้ด้านในแล้วแผ่กระจายไปยังอาหาร จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขั้วไฟฟ้าอย่างรวดเร็วในอาหาร ขั้วของน้ำจะเปลี่ยนทิศทางตามการเปลี่ยนแปลงทิศทางในสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุลภายในอาหาร พลังงานจะเคลื่อนย้ายไปยังอิออนและอะตอมหรือโมเลกุลใกล้เคียง ก่อให้เกิดความร้อนขึ้นและอาหารสุกอย่างรวดเร็ว (วิไล, 2552) กลไกการเกิดความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟแสดงดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6 กลไกการเกิดความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟ

ที่มา : http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/physcis-for-everyday/physics-for-everydayuse-content/101-128/indexcontent103.htm

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

มีปัจจัยหลายประการที่มีผลกระทบต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ดังนี้ (http://www.foodnet worksolution.com/vocab/word/401)

2.3.2.1 ความถี่ของคลื่น คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่ำกว่า 816 และ 915 MHz จะทะลุผ่านชิ้นอาหารได้ดี และมีความสม่ำเสมอในการให้ความร้อนมากกว่า เมื่อใช้กับอาหารที่มี loss factor ต่ำ หรือมีขนาดชิ้นเล็กๆ อย่างไรก็ตามระดับความลึกของการทะลุผ่านของคลื่นไม่ใช่สิ่งจำเป็น การเลือกความยาวคลื่นของไมโครเวฟที่ใช้จะขึ้นกับความเหมาะสมในการใช้พลังงาน

2.3.2.2 ความเข้มของสนามไฟฟ้า เมื่อความเข้มของสนามไฟฟ้ามากขึ้น การให้ความร้อนกับอาหารจะใช้เวลาน้อยลง จึงเป็นตัวปรับอัตราเร็วในการให้ความร้อนกับอาหาร

2.3.2.3 ความชื้นในอาหาร เนื่องจากน้ำมีค่า loss factor สูง อาหารที่มีความชื้นสูงจึงเพิ่มอุณหภูมิได้รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4 อุณหภูมิของอาหาร มีผลต่อสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงพลังงาน และมีผลต่อสถานะขององค์ประกอบที่ดูดกลืนพลังงานได้ดีในอาหาร เช่น น้ำ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

2.3.2.5 ขนาด และรูปร่างของอาหาร อาหารที่มีขนาดใหญ่ หรือมีความหนามาก เมื่อใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่สูงเกินไปอาจทำให้ไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปถึงกึ่งกลางของอาหารได้ ทำให้การเพิ่มอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น ความสม่ำเสมอของรูปร่างก็มีผลต่อการให้ความร้อนเช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น อาหารที่มีรูปร่างกลมจะได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอมากกว่าอาหารที่มีเหลี่ยมมุม

2.3.2.6 การนำไฟฟ้า เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มีประจุในอาหาร จึงมีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าในอาหาร เมื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับอาหาร เช่น เติมเกลือ หรือสารอื่น เช่น น้ำตาล ที่สามารถแตกตัวให้ประจุ จะทำให้อัตราการให้ความร้อนสูงขึ้น

2.3.2.7 การนำความร้อน (thermal conductivity) ของอาหาร ระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนในชิ้นอาหารด้วย ซึ่งจะเห็นได้ชัดในกรณีที่อาหารมีชิ้นใหญ่ หรือมีความหนามาก ไมโครเวฟไม่สามารถทะลุเข้าไปถึงกึ่งกลางได้ แต่สำหรับอาหารชิ้นเล็กหรือมีความหนาไม่มากการนำความร้อนจะไม่มีผลต่ออัตราการเพิ่มอุณหภูมิมากนัก

2.3.2.8 ความร้อนจำเพาะ (specific heat) ของอาหาร ความร้อนจำเพาะของอาหารมีผลต่ออัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ อาหารที่มีความร้อนจำเพาะสูงกว่าจะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิช้ากว่า

2.3.3 ผลกระทบของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่ออาหาร

ไมโครเวฟไม่มีผลโดยตรงต่อเชื้อจุลินทรีย์เมื่อเทียบกับการฉายรังสีหรือการแปรรูปด้วยความร้อนอื่นๆ อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้ใช้เวลาในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในขั้นตอนพาสเจอไรซ์หรือสเตอริไลซ์สั้นลง และช่วยลดการสูญเสียสารอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนได้ มีรายงานว่าไม่พบการสูญเสียแคโรทีนในการลวกแครอทด้วยไมโครเวฟเมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียแคโรทีน 28% โดยการลวกด้วยไอน้ำ และ 45% โดยการลวกด้วยน้ำ อย่างไรก็ตามผลการทดลองในอาหารบางอย่างมีความแตกต่างกันมาก ทำให้การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟไม่มีข้อใดเปรียบเมื่อเทียบกับการใช้ไอน้ำ (วิไล, 2552)

2.3.4 ข้อได้เปรียบของการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการทำแห้ง

ข้อเสียของการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน คือ

1) อัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ เนื่องจากอาหารแห้งมีความสามารถในการนำความร้อนต่ำ

2) เกิดความเสียหายด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากใช้เวลาในการทำแห้งนาน ผิวหน้าของอาหารจึงได้รับความร้อนมากเกินไป

3) รงควัตถุและวิตามินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยลมร้อน

4) ผิวหน้าอาหารแห้งและแข็งตัว (case hardening)

เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนทั้งชิ้นพร้อมกับการระเหยความชื้น จึงเป็นการช่วยแก้ปัญหาเรื่องที่อาหารมีคุณสมบัติการนำความร้อนต่ำได้ ทำให้สามารถป้องกันความเสียหายของผิวหน้าอาหารได้ ช่วยปรับปรุงการถ่ายเทความชื้นในช่วงท้ายของการทำแห้งและลดปริมาณเปลือกแข็ง มีการใช้ไมโครเวฟสำหรับการทำแห้งอาหารที่แห้งแล้วเป็นบางส่วนในขั้นตอนสุดท้าย ทั้งนี้รังสีไมโครเวฟจะเลือกให้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความร้อนเฉพาะส่วนที่ชื้นโดยที่ส่วนที่แห้งจะไม่ได้รับผลกระทบแต่อย่างใด ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องให้ความร้อนแก่อากาศในปริมาณมาก ทำให้ลดการเกิดออกซิเดชันโดยออกซิเจนในอากาศ อย่างไรก็ตามการใช้ไมโครเวฟยังจำกัดอยู่กับการทำแห้งอาหารที่มีความชื้นต่ำหรือแห้งเป็นบางส่วนเท่านั้นเนื่องจากยังมีต้นทุนสูงขนาดการผลิตเล็กเมื่อเทียบวิธีการทำแห้งอื่นที่มีมาแต่เดิม

การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งพาสตาจะใช้เวลาเพียง 90 นาที เทียบกับวิธีอื่นที่ใช้เวลานานถึง 8 ชั่วโมง ปริมาณของแบคทีเรียก็ลดน้อยลงกว่า 15 เท่า ลดการใช้พลังงานลงได้ 20 – 25 % และไม่เกิดการแข็งตัวของผิวนอก การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งที่ความดันต่ำจะทำได้เร็วกว่า เพราะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมากกว่า ในการใช้ไมโครเวฟอบแห้งเมล็ดธัญพืชจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ประสิทธิภาพพลังงานสูงกว่าและเงียบกว่าวิธีเดิม รวมทั้งไม่เกิดมลภาวะฝุ่นด้วย (วิไล, 2552)

2.4 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืชโดยพบมากที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผล รากที่มีสีเขียว สาหร่ายทุกชนิด และแบคทีเรียบางชนิด คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมี โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล และนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต คลอโรฟิลล์อยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่าเยื่อหุ้มไทลาคอยล์ (thylakoid membrane) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) (http://th.wikipedia.org/wiki/คลอโรฟิลล์)

2.4.1 โครงสร้างทางเคมีและชนิดของคลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ละลายได้ดีในอะซีโตนและแอลกอฮอล์ โครงสร้างอาจแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนหาง โดยที่ส่วนหัวของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นวงแหวนไพรอล (pyrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง และมีธาตุแมกนีเซียมอยู่ตรงกลาง โดยทำพันธะกับไนโตรเจน ส่วนหัวนี้มีขนาดประมาณ 1.5x1.5 อังสตรอม ส่วนหางของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม มีความยาวประมาณ 2 อังสตรอม คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้ดีที่ช่วงคลื่นของแสงสีฟ้าและสีแดง แต่ดูดกลืนช่วงแสงสีเหลืองและเขียวได้น้อย ดังนั้นเมื่อได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีฟ้าและสีแดงไว้ ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ได้ดูดกลืนจึงสะท้อนออกมา ทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว

ในธรรมชาติมีคลอโรฟิลล์อยู่หลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างหลักที่เหมือนกัน คือ วงแหวนไพรอล 4 วง แต่โซ่ข้าง (Side chain) ของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไป เช่น คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) มีโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกันเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น นั่นคือ ที่วงแหวนไพรอลวงที่สองของคลอโรฟิลล์ เอ มีโซ่ข้างเป็นหมู่เมททิล ($-CH_3$) ส่วนของคลอโรฟิลล์ บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ (-CHO) ซึ่งการที่โครงสร้างที่ต่างกันนี้ก็ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน รวมทั้งคุณสมบัติการดูดกลืนแสงก็ต่างกันด้วย และทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยที่คลอโรฟิลล์ เอ มีสีเขียวเข้ม ส่วนคลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวอ่อน โครงสร้างของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.6 และภาพที่ 2.6 และ 2.7 (http://th.wikipedia.org/wiki/คลอโรฟิลล์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
129550

ตารางที่ 2.6 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิด

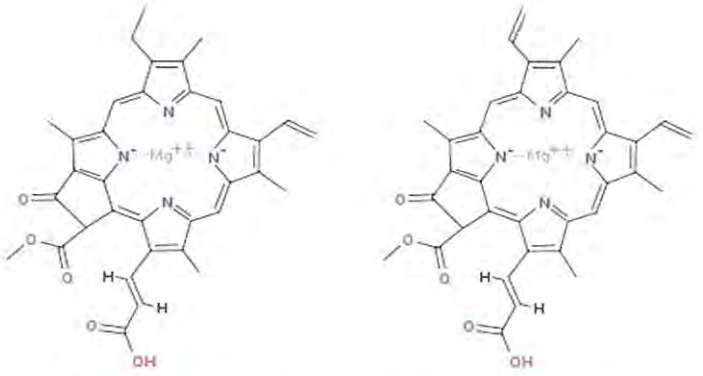
	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll c1	Chlorophyll c2	Chlorophyll d
สูตรโมเลกุล	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$	$C_{35}H_{30}O_5N_4Mg$	$C_{35}H_{28}O_5N_4Mg$	$C_{54}H_{70}O_6N_4Mg$
หมู่ C3	$-CH = CH_2$	$-CH = CH_2$	$-CH = CH_2$	$-CH = CH_2$	-CHO
หมู่ C7	$-CH_3$	-CHO	$-CH_3$	$-CH_3$	$-CH_3$
หมู่ C8	$-CH_2CH_3$	$-CH_2CH_3$	$-CH_2CH_3$	$-CH = CH_2$	$-CH_2CH_3$
หมู่ C17	$-CH_2CH_2COO-$ Phytyl	$-CH_2CH_2COO-$ Phytyl	-CH = CHCOOH	-CH = CHCOOH	$-CH_2CH_2COO$-Phytyl
พันธะ C17-C18	เดี่ยว	เดี่ยว	คู่	คู่	เดี่ยว
พบได้	ทั่วไป	ส่วนใหญ่ในพืช	สาหร่ายหลายชนิด	สาหร่ายหลายชนิด	แบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ (Cyanobacteria)

ที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki/คลอโรฟิลล์

ภาพที่ 2.7 โครงสร้าง chlorophyll a , chlorophyll b และ chlorophyll d

ที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki/คลอโรฟิลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 โครงสร้าง chlorophyll c1 และ chlorophyll c2

ที่มา : http://th.wikipedia.org/wiki/คลอโรฟิลล์

2.4.2 ผลดีของคลอโรฟิลล์ต่อสุขภาพ

คลอโรฟิลล์และอนุพันธ์มีฤทธิ์ต่อสุขภาพหลายอย่าง ได้แก่ (ศิริวรรณ, 2550)

2.4.2.1 ช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในแผลสด หยุดการผุของฟัน และเหงือกอักเสบ

2.4.2.2 กระตุ้นแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ต่อลำไส้ ยับยั้งการเจริญของของยีสต์และราบางชนิดในทางเดินอาหาร

2.4.2.3 เกลือ chlorophyllin หรือ copper chlorophyll ทำลายและขับยาที่ตกค้าง และสารก่อมะเร็งออกจากร่างกาย ต่อต้านสารก่อมะเร็งพวก benzopyrene และ heterocyclic amine pyrolysate ยับยั้งการเกิดมะเร็งด้วยสารเคมีในสัตว์ทดลอง

2.4.2.4 ต่อต้านรังสีไอออไนซ์ ต่อต้านการอักเสบที่คอ ผิวหนัง ข้อต่อ กระเพาะ และลำไส้

2.4.2.5 กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในตับในมนุษย์และสัตว์ และเอนไซม์หลายชนิดในพืช

2.4.2.6 cuprofillin ลดระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) คลอเรสเตอรอล (cholesterol) และป้องกันโรคเส้นเลือดแข็งในหนูทดลองได้

2.4.2.7 มีคุณสมบัติทำหน้าที่เป็น photosensitizer จึงมีการวิจัยเพื่อใช้คลอโรฟิลล์ในการเพิ่มประสิทธิภาพของยาที่ใช้รักษามะเร็งร่วมกับการฉายแสงให้ได้ผลมากขึ้น

2.4.2.8 chlorophyllipt เป็นสารปฏิชีวนะใช้รักษาโรคฝีเรื้อรังในปอดได้

2.4.2.9 chlorophyllin ใช้ดับกลิ่นตัว กลิ่นอุจาระ และป้องกันอาการท้องผูกในผู้ป่วยสูงอายุ

2.4.2.10 คลอโรฟิลล์สามารถสลายตัวโดยเอนไซม์ chlorophylase เกิด phaeophorbides ซึ่งทำให้ผิวหนังไวต่อแสง เป็นอันตรายในผู้ที่แพ้

2.5 แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์ และโครโมพลาสต์ (chromoplast) ของผลไม้ ดอกไม้ และใบของพืช และยังพบได้ในสัตว์จุลชีพที่สังเคราะห์แสงได้และสาหร่ายมีแคโรทีนอยด์กว่า 700 โมเลกุลที่ตรวจสอบโครงสร้างได้และพบทั่วไปในธรรมชาติ แคโรทีนอยด์ในพืชจะดูดกลืนพลังงานแสง เพื่อส่งต่อให้คลอโรฟิลล์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และเป็นตัวจับรังสีอัลตราไวโอเลต จึงปกป้องพืชจาก

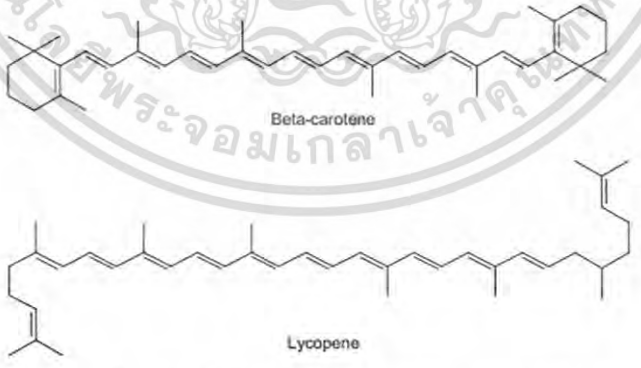
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาออกซิเดชันอันเนื่องจากแสง (photooxidation) และยังป้องกันการทำลายเซลล์จากอนุมูลอิสระ (free radical) แคโรทีนอยด์ปกป้องพืชในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เกิดบาดแผล หรือกระทบกับแสงแดดอย่างรุนแรง เพื่อป้องกันการติดเชื้อ และการทำลายจากแสงแดด (http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content10_1.5.48/vol_10_no_1_2005_pg058-066_Carotenoid.pdf)

2.5.1 โครงสร้างทางเคมีและชนิดของแคโรทีนอยด์

โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีน (isoprene unit) จำนวน 8 หน่วย ที่เกิดพันธะโควาเลนต์กัน และทำให้เกิดคอนจูเกชันของพันธะคู่เป็นสายยาว (extensive conjugated double bond) ซึ่งระบบคอนจูเกชันนี้ทำให้แคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงอัลตราไวโอเลต และแสงสีขาว ทำให้แคโรทีนอยด์เป็นสารที่มีสีและมีคุณสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

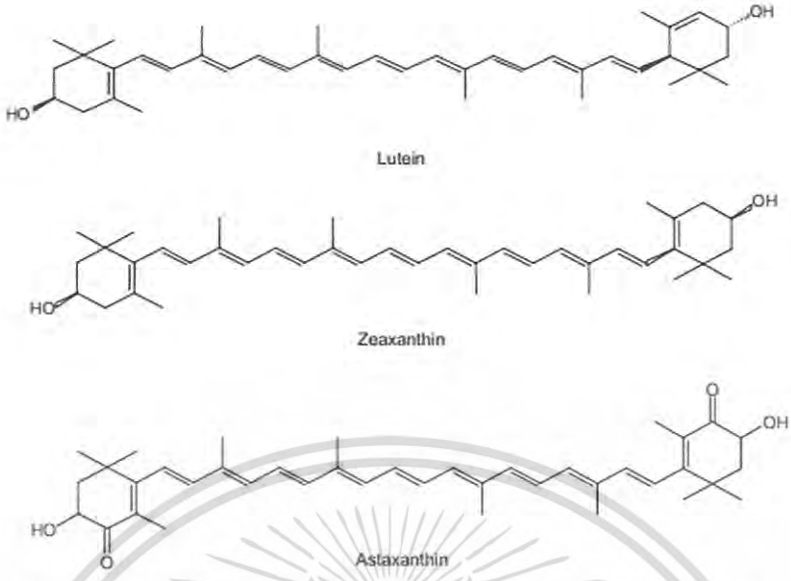
โมเลกุลของแคโรทีนอยด์อาจเป็นเส้นตรงดังที่พบในไลโคพีน (lycopene) หรือเป็นวงแหวนที่ปลายโซ่ของโมเลกุล ดังที่พบในเบต้าแคโรทีน (β-carotene) สามารถจำแนกแคโรทีนอยด์เป็น 2 กลุ่ม คือ hydrogenated และ oxygenated carotenoid derivatives โดยกลุ่ม hydrogenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแคโรทีน (carotene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ทำให้เป็นสารไม่มีขั้วและละลายได้ในไขมัน ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน และไลโคพีน เป็นต้น ส่วนที่ 2 คือ กลุ่ม oxygenated carotenoid derivatives หรือกลุ่มแซนโทฟิล (xanthophyll) นั้นมีอะตอมของออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล จึงมีขั้วมากกว่าและละลายในไขมันได้น้อยกว่าแคโรทีนอยด์กลุ่มแรก ตัวอย่างแคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ลูทีน (lutein) ซีแซนทิน (zeaxanthin) และแอสตาแซนทิน (astaxanthin) เป็นต้น โครงสร้างของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ แสดงดังภาพที่ 2.9 และ 2.10 (http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content10_1.5.48/vol_10_no_1_2005_pg058-066_Carotenoid.pdf)



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์กลุ่ม hydrogenated carotenoid derivatives

ที่มา : http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content10_1.5.48/vol_10_no_1_2005_pg058-066_Carotenoid.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์กลุ่ม oxygenated carotenoid derivatives

ที่มา : http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content10_1.5.48/vol_10_no_1_2005_pg058-066_Carotenoid.pdf

2.5.2 ผลดีของแคโรทีนอยด์ต่อสุขภาพ

ในสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจและเมแทบอลิซึมเพื่อให้ได้พลังงานในการดำเนินชีวิต และการทำงานของอวัยวะต่างๆนั้น ในระหว่างกระบวนการสร้างพลังงานจะเกิดอนุมูลอิสระขึ้นมาด้วย ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีพลังงานสูง และสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย โดยเฉพาะสารเคมีในร่างกาย เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และ DNA ทำให้การทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ ที่มีสารเหล่านี้เป็นองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไป นอกจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในร่างกายแล้ว ยังมีอนุมูลอิสระและสิ่งกระตุ้นจากภายนอกที่ทำอันตรายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อได้ เช่น การสูบบุหรี่ แสงอุลตราไวโอเลต รังสีเอ็กซ์(X-ray) มลภาวะ ความเครียด และการสัมผัสกับสารเคมีอันตรายต่างๆ

มีการวิจัยพบว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายอันเนื่องมาจากออกซิเจนและอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วของการเกิดความแก่ (aging process) และโรคเรื้อรังต่างๆ ในการพยายามชะลอความแก่ และลดอัตราเสี่ยงต่อเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ แคโรทนอยด์น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่ง เพราะแคโรทีนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะเบต้าแคโรทีน ไลโคพีน และลูทีน มีรายงานว่าแคโรทีนอยด์ช่วยในการป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ชะลอความแก่และป้องกันความผิดปกติของผิวหนังอันเนื่องมาจากแสงแดด เพราะนอกจากแคโรทีนอยด์เป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ยังช่วยเพิ่มการสื่อสารระหว่างเซลล์มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ เพิ่มการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกาย และเพิ่มภูมิต้านทานด้วย สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความสำคัญต่อการสร้างเสริมสุขภาพของมนุษย์ ได้แก่ เบต้าแคโรทีน ลูทีน ซีแซนทิน ไลโคพีน และแอสตาแซนทิน (http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content10_1.5.48/vol_10_no_1_2005_pg058-066_Carotenoid.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สารประกอบโพลีฟีนอล (Polyphenol compounds or phenolics)

สารประกอบโพลีฟีนอล ได้แก่ สารประกอบที่มีวงแหวนอะโรมาติก และหมู่ไฮดรอกซิล(-OH-group) อย่างน้อย 1 หมู่ รวมไปถึงอนุพันธุ์ของสารประกอบโพลีฟีนอลซึ่งมีการแทนที่ด้วยหมู่เคมีต่างๆ ตัวอย่างสารประกอบโพลีฟีนอล ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ลิกนิน (lignin) ฮอร์โมนกรดแอบไซซิก (abscisic acid) กรดซินนามิก (cinnamic acid) กรดคาร์เฟอิก (caffeic acid) กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) กรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) ฟินิลอลานีน (phenylalanine) และไดไฮดรอกซี-ฟินิลอลานีน (dihydroxy-phenylalanine or DOPA) โคเอนไซม์ คิว (coenzyme Q) และผลผลิตจากเมทาบอลิซึมอีกหลายชนิด สารประกอบโพลีฟีนอลเป็นตัวแทนของสารในธรรมชาติที่นับว่ามีปริมาณมากชนิดหนึ่ง และมีความสำคัญต่อสรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับสีและกลิ่นรส ความเข้มข้นของสารประกอบโพลีฟีนอลแตกต่างกันไปอย่างมากมายในผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว เช่น ในผลพลับสุกอาจมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลตั้งแต่น้อยมากไปจนถึง 8.5% ของน้ำหนักแห้ง

สารประกอบโพลีฟีนอลในพืชโดยทั่วไปแสดงคุณสมบัติเป็นกรด ซึ่งจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลอื่นอย่างรวดเร็ว และพบบ่อยที่ทำปฏิกิริยากับพันธะเปปไทด์ของโปรตีน เมื่อโปรตีนนี้เป็นเอนไซม์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมักทำให้เอนไซม์หมดสภาพ ซึ่งมักเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเอนไซม์ในพืช โดยรวมแล้วสารประกอบโพลีฟีนอลจะไวต่อการเกิดออกซิเดชันโดยเอนไซม์ฟีนอเลส (phenolases) ซึ่งเปลี่ยนโมโนฟีนอล (monophenols) ไปเป็นไดฟีนอล (diphenols) และเปลี่ยนต่อไปเป็นควิโนน (Quinones) นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลบางตัวยังสามารถคีเลต (chelate) กับโลหะ

สารประกอบโพลีฟีนอลภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปอิสระนั้นพบน้อยมาก ส่วนใหญ่มักพบรวมอยู่กับโมเลกุลอื่น หลายชนิดพบในรูปไกลโคไซด์ (glycosides) โดยเชื่อมต่อกับมอโนแซคคาไรด์หรือไดแซคคาไรด์ โดยเฉพาะกลุ่มของฟลาโวนอยด์ซึ่งมักรวมกับน้ำตาล นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลยังอาจรวมกับสารประกอบอื่นอีกหลายชนิด เช่น กรดไฮดรอกซีซินนามิก (hydroxycinnamic acid) อาจพบรวมกับกรดอินทรีย์ หมู่อะมิโน ไขมัน เทอร์พีนอยด์ ฟีนอลิก และกลุ่มอื่นๆนอกเหนือจากน้ำตาล การรวมตัวในลักษณะนี้ภายในเซลล์เป็นโมโนฟีนอล และไดฟีนอล ทำให้เกิดความเป็นพิษกับพืช (phytotoxic) น้อยกว่าในรูปอิสระ (http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/pt331/08.htm)

2.6.1 โครงสร้างทางเคมีและชนิดของสารประกอบโพลีฟีนอล

สารประกอบโพลีฟีนอลแบ่งเป็น 3 ชนิดตามจำนวนวงแหวนฟีนอลที่มีอยู่ (http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/pt331/08.htm)

2.6.1 Monocyclic phenols มีวงแหวนฟีนอล 1 วง ที่พบทั่วไปในพืช ได้แก่ ฟีนอล, atechol, hydro-quinone และ p-hydroxycinnamic acid

2.6.2. Dicyclic phenols มีวงแหวนฟีนอล 2 วง ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ และลิกแนน (lignans)

2.6.3. Polycyclic phenols หรือ polyphenol ได้แก่ ลิกนิน, catechol melanins, flavolans (condensed tannins)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของสารประกอบโพลีฟีนอลชนิดต่างๆที่พบทั่วไปในพืชแสดงดังภาพที่ 2.11 นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลเหล่านี้ยังอาจแบ่งย่อยลงไปอีกตามจำนวนอะตอมของคาร์บอน ดังแสดงในตารางที่ 2.7

2.6.2 หน้าที่และความสำคัญของสารประกอบโพลีฟีนอล

สารประกอบโพลีฟีนอลมีความสำคัญต่อคุณภาพของอาหาร ดังนี้ (http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/2585/phenolic%20compound , http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/pt331/08.htm)

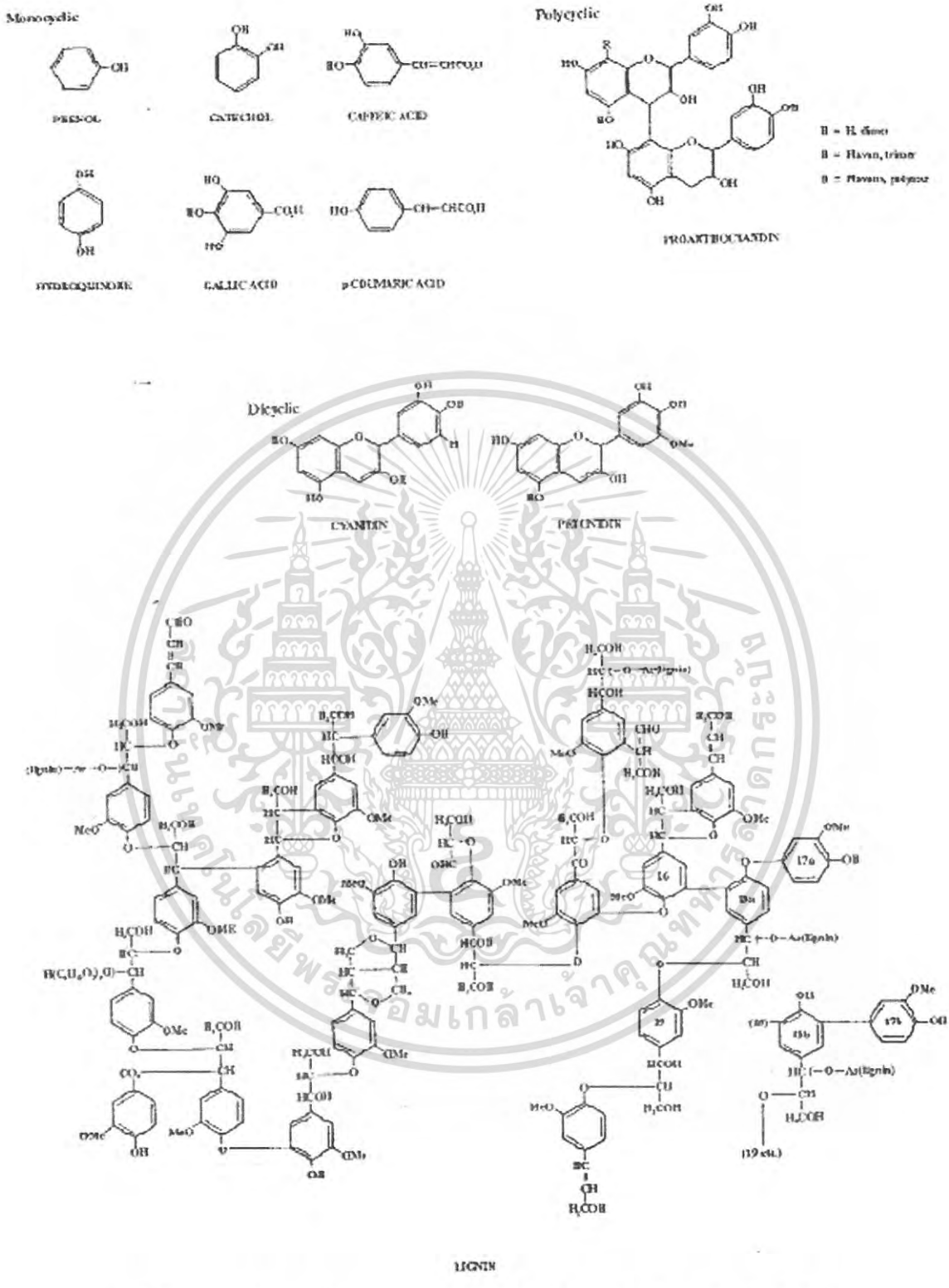
2.6.2.1 ประโยชน์ต่อสุขภาพ สารประกอบโพลีฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagrns) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบโพลีฟีนอลจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระก็ถูกทำลายไปด้วย

2.6.2.2 รสฝาด รสฝาดของผลไม้หลายชนิดจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลในผล ช่วงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบโพลีฟีนอลที่จะให้ความฝาดนั้นอยู่ในช่วง 500 - 3,000 ซึ่งสามารถที่จะรวมตัวกับโมเลกุลของโปรตีนในปากทำให้รู้สึกฝาดได้ เมื่อผลไม้พัฒนาเข้าสู่การบริบูรณ์สารประกอบโพลีฟีนอลจะลดลง นอกจากนี้สารประกอบโพลีฟีนอลยังเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) และการรวมตัวของสารประกอบโพลีฟีนอลเป็นโมเลกุลใหญ่จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จากโมเลกุลที่ละลายน้ำกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งทำให้ความฝาดลดลงเมื่อผลไม้บริบูรณ์เต็มที่

ส่วนรสขมในผลไม้ตระกูลส้มนั้นเป็นผลจาก naringin ซึ่งพบมาก และเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลที่ให้รสขมสูง ส่วนรสขมของแตงกวาซึ่งเกิดจาก cucurbitacin หรือรสขมซึ่งเกิดจาก limonoids ในพวกส้ม ไม่ใช่สารประกอบโพลีฟีนอล แต่เป็นสารประกอบพวก triterpenoid

2.6.2.3 สี สีของผักผลไม้ซึ่งเป็นสีของแอนโทไซยานินก็เป็นสีของสารประกอบฟีนอล นอกจากนี้การที่ผักหรือผลไม้เกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเปลี่ยนโมเลกุลของโพลีฟีนอลไปเป็น quinine แล้วเกิด polymerization และมีสีน้ำตาล การยับยั้งปฏิกิริยานี้ทำได้โดยเก็บไว้ภายใต้สภาพที่มีออกซิเจนน้อย หรือใช้ ascorbic acid ไป reduce quinone ไม่ให้เกิด polymerization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของสารประกอบโพลีฟีนอลชนิดต่างๆที่พบทั่วไปในพืช

ที่มา : http://www.lks.ac.th/student/kroo_su/chem12/Web/organic_function_o2.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 สารประกอบโพลีฟีนอลส่วนใหญ่ที่พบในพืช

จำนวนอะตอมของคาร์บอน	โครงสร้างพื้นฐาน	ชนิด	ตัวอย่าง
6	C_6	Simple phenols	Catechol, hydroquinone
		Benzoquinones	2,6-Dimethoxybenzoquinone
7	$C_6—C_1$	Phenolic acids	p-Hydroxybenzoic, salicylic
8	$C_6—C_2$	Acetophenones	3-Acetyl-6-methoxybenzaldehyde
		Phenylacetic acids	p-Hydroxyphenylacetic
9	$C_6—C_3$	Hydroxycinnamic acids	Caffeic, ferulic
		Phenylpropenes	Myristicin, eugenol
		Coumarins	Umbelliferone, aesculetin
		Isocoumarins	Bergenin
		Chromones	Eugenin
10	$C_6—C_4$	Naphthoquinones	Juglone, plumbagin
13	$C_6—C_1—C_6$	Xanthones	Mangiferin
14	$C_6—C_2—C_6$	Stilbenes	Lunularic acid
		Anthraquinones	Emodin
15	$C_6—C_3—C_6$	Flavonoids	Quercetin, cyanidin
		Isoflavonoids	Genistein
18	$(C_6—C_3)_2$	Lignans	Pinoresinol
		Neolignans	Eusiderin
30	$(C_6—C_3—C_6)_2$	Biflavonoids	Amentoflavone
n	$(C_6—C_3)_n$	Lignins	
	$(C_6)_n$	Catechol melanins	
	$(C_6—C_3—C_6)_n$	Flavolans (condensed tannins)	

ที่มา : http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/pt331/08.htm

2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน เป็นกลุ่มของสารที่เมื่อให้ในปริมาณต่ำแก่สารออกซิแดนท์ (oxidants, oxidizable substances) แล้วให้ผลยับยั้ง หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญ ร่างกายมนุษย์สามารถผลิตสารต้านอนุมูลอิสระได้ปริมาณหนึ่ง สารเหล่านั้นได้แก่ เอนไซม์ และโปรตีนที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น superoxide dismutase (SOD) , catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx) , glutathione (GSH) พืชผักผลไม้เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินต่างๆ เช่น วิตามินอี วิตามินซี วิตามีนเอ และเบต้าแคโรทีน รวมทั้งโคเอนไซม์ ซีลีเนียม ทองแดง แมนกานีส และเหล็ก (http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content9_1.11.47/SWU%20J%20Pharm%20Sci%20Vol%209%20No%201-Pg%2073-80.pdf)

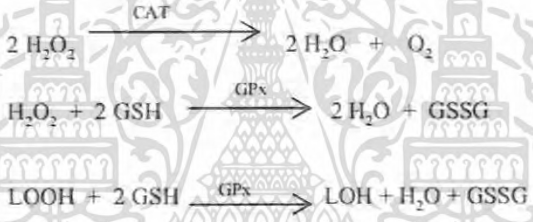
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 กลไกการต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระทำลายอนุมูลอิสระโดยการให้ หรือรับอิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ ทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่สิ้นสุดลง สารต้านอนุมูลอิสระโดยตัวเองจะไม่กลายเป็นอนุมูลอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเนื่องจากตัวมันเองมีความคงตัวทั้งในรูปอิเล็กตรอนครบและอิเล็กตรอนขาดหรือเกิน กลไกการต้านอนุมูลอิสระแบ่งได้เป็น 2 กลไกตามลักษณะการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมลอิสระ คือ (http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content9_1.11.47/SWU%20J%20Pharm%20Sci%20Vol%209%20No%201-Pg%2073-80.pdf)

2.7.1.1 ฤทธิ์ป้องกันอนุมูลอิสระ (preventive antioxidant activity)

สารต้านอนุมูลอิสระประเภทนี้ออกฤทธิ์ป้องกันไม่ให้เกิดอนุมูลอิสระตั้งแต่เริ่มต้น ได้แก่ การยับยั้งไม่ให้เกิดอนุมูลที่เหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระ เช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ การคีเลตโลหะทรานสิชัน และการระงับไม่ให้เกิด reactive oxygen species (ROS) สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ ได้แก่ เอนไซม์ และโปรตีนในร่างกายที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น CAT, GPx, GSH ดังแสดงในภาพที่ 2.12 รวมทั้งวิตามินอี และสารกลุ่มแคโรทีน



ภาพที่ 2.12 การต้านอนุมูลอิสระด้วยโปรตีนและเอนไซม์ในร่างกาย (LOOH = เพอร์ออกไซด์ของไขมัน)

ที่มา : http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content9_1.11.47/SWU%20J%20Pharm%20Sci%20Vol%209%20No%201-Pg%2073-80.pdf

2.7.1.2. ฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ (free-radical scavenging antioxidant activity)

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มนี้ออกฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระโดยการยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ขั้นเริ่มต้น (chain initiation) และทำลายปฏิกิริยาลูกโซ่ขั้นเพิ่มจำนวนอนุมูลอิสระ (chain propagation) สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี อัลบูมิน บิลิรูบิน ยูบิควินอล ยูบิควิโนน (CoQ10) แคโรทีนอยด์ และฟลาโวนอยด์

2.8 ขนมปัง

ขนมปังเป็นอาหารที่ทำจากแป้งสาลีที่ผสมกับน้ำ และยีสต์ หรือผงฟู นอกจากนี้ยังมีการใช้ส่วนผสมอื่นๆเพื่อแต่งสี รสชาติ และกลิ่นแตกต่างกันไปตามแต่ละประเภทของขนมปัง และแต่ละประเทศที่ทำ โดยนำส่วนผสมมาตีให้เข้ากันและนำไปอบ ขนมปังมีหลายประเภท เช่น ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังหวาน ขนมปังไรน์ หรือเพรทเซล (pretzel) ของขึ้นชื่อประเทศเยอรมนี เป็นต้น (http://th.wikipedia.org/wiki/ขนมปัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 ส่วนผสมที่สำคัญของขนมปัง

ส่วนผสมที่สำคัญของขนมปังมีดังนี้ (http://th.wikipe dia.org/wiki/ขนมปัง)

2.8.1.1 ข้าวสาลี

ขนมปังเกิดจากโปรตีนของแป้งสาลีที่มีชื่อว่ากลูเตน (gluten) โปรตีนชนิดนี้มีอยู่สูงในข้าวสาลี ในขณะที่ข้าวจ้าวที่คนไทยรับประทานในทุกวันมีกลูเตนอยู่น้อยมาก จึงเป็นสาเหตุที่ว่าทำไมข้าวเจ้าจึงไม่สามารถนำมาทำขนมปังได้

2.8.1.2 ยีสต์

ยีสต์จะถูกเติมลงไปในขนมปังเพื่อให้ขนมปังพองฟู เพราะยีสต์จะใช้น้ำตาลที่อยู่ในแป้งและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา แสดงดังปฏิกิริยาในภาพที่ 2.13 ทำให้ขนมปังมีรูปร่างเป็นก้อน ยีสต์ที่ใช้ในการทำขนมปังมีหลายรูปแบบ ทั้งแบบสด และแบบผง การใช้ยีสต์ที่ถูกต้องจะต้องทำการปลุกยีสต์เสียก่อน โดยการละลายน้ำในอุณหภูมิประมาณ 38 องซาเซลเซียส การใช้ยีสต์จึงทำได้ยากกว่าแต่ให้ผลดีที่จะให้เนื้อขนมปังและรสชาติดีกว่าการใช้ผงฟู ยีสต์ที่ใช้โดยทั่วไป คือ *Saccharomyces cerevisiae*

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow C_2H_5OH + CO_2$$

glucose ethyl alcohol carbon dioxide

ภาพที่ 2.13 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยีสต์

ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1143/bread-ขนมปัง

2.8.1.3 ผงฟู

ผงฟูถูกใช้ในการทำขนมปังเพื่อแทนการใช้ยีสต์ เพราะเมื่อผงฟูผสมกับน้ำก็จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่นเดียวกับที่ยีสต์ทำ แต่จะมีผลข้างเคียงคือ หากใส่มากเกินไปจะทำให้มีรสชาติเฝื่อนขม และการฟูของขนมปังก็จะหยาบกว่าการใช้ยีสต์ แต่ข้อดีคือใช้ได้ง่ายกว่า และก็เก็บรักษาได้นานกว่ากัน ผงฟูมีด้วยกันสองสูตร คือ สูตรที่หนึ่งคือ ผงฟูที่จะปล่อยก๊าซออกมาครั้งเดียวทั้งหมดตอนที่ผสมเข้ากับเนื้อขนมปัง สูตรที่สองคือ ผงฟูที่จะปล่อยก๊าซออกมาสองครั้ง คือ ตอนที่ผสมกับเนื้อขนมปัง และอีกครั้งตอนที่โดนความร้อนในเตาอบ

2.8.2 ขั้นตอนการผลิตขนมปัง

การผลิตขนมปังโดยทั่วไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1143/bread-ขนมปัง)

2.8.2.1 การผสมแป้ง (sponge mixing)

โดยผสมกับแป้งสาลี (wheat flour) ชนิดแป้งขนมปังกับยีสต์ น้ำตาล และน้ำคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อแป้งสาลีรวมกับน้ำจะทำให้เกิดกลูเตน (gluten) ซึ่งทำให้แป้งเกิดลักษณะเหนียว ยืดหยุ่น และการผสมยังทำให้ยีสต์ได้รับออกซิเจน และเริ่มเจริญเติบโตแบ่งเซลล์ ใช้น้ำตาลเป็นอาหารและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.2 การหมักสปองจ์ (sponge fermentation)

แป้งผสม (sponge) จะถูกหมัก โดยตั้งทิ้งไว้ในสภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของยีสต์ (อุณหภูมิประมาณ 26 - 2 8องศาเซลเซียส , ความชื้นสัมพัทธ์ 70 - 80 %) ในช่วงนี้เม็ดแป้งสาลีจะดูดน้ำเต็มที่ โปรตีนในแป้งสาลีเมื่อรวมกับน้ำจะเกิดเป็นโครงสร้างของกลูเตนซึ่งเหนียว ยืดหยุ่น สามารถกักเก็บได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ ยีสต์ผลิตได้จากการหมักน้ำตาล การหมักจะค่อยๆเกิดขึ้น ทำให้แป้งผสมมีปริมาตรเพิ่มขึ้น มีรูอากาศ (air cell) กระจายอยู่ภายในก้อนแป้ง มีลักษณะคล้ายฟองน้ำจึงเรียกว่า สปองจ์ (sponge)

2.8.2.3 การผสมโด (dough mixing)

เป็นการผสมส่วนผสมอื่นๆทีเหลือ ได้แก่ ไขมัน ซึ่งมักใช้เนยขาว (shortening) น้ำตาล และส่วนผสมอื่นๆขั้นตอนนี้จะเป็นการนวดผสม (kneding) เพื่อทำให้เกิดโด (dough) ซึ่งหมายถึงก้อนแป้งที่มีลักษณะยืดหยุ่นได้ดี เหนียว นุ่ม ไม่ขาดง่ายไขมันจะใส่หลังจากที่แป้งดูดซึมน้ำเข้าไปในเม็ดแป้ง (starch granule) เต็มที่ และทั่วถึงแล้ว ซึ่งไขมันมีหน้าที่เพื่อให้ความชุ่มชื้นโดยไปหุ้มเม็ดแป้ง (starch granule) ทำให้โด (dough) เหนียวนุ่ม ยืดหยุ่นพอดี โดที่ดีต้องชุ่มชื้น แต่ไม่แฉะ ไม่ติดมือ หรือภาชนะผสมโดที่ดีต้องสามารถดึงเป็นแผ่นบางได้โดยไม่ฉีกขาด

2.8.2.4 การแบ่งก้อนโด (dough deviding) และปั้นก้อนโดให้กลม (rounding)

หลังการนวดผสมเพื่อให้ได้โดแล้วแป้งโดจะถูกแบ่งให้เป็นก้อนตามขนาดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แล้วคลึงให้เป็นก้อนกลม การนวดคลึงทำให้เนื้อโดแน่น รูอากาศ (air cell) สม่ำเสมอ และผิวหน้าก้อนโดเรียบตึง เพื่อให้กักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยีสต์ผลิตไว้ในก้อนโดได้ดี

2.8.2.5 การหมักก้อนโด (Intermediate proofing)

2.8.2.6 การอบ (baking)

2.8.2.7 การแกะออกจากพิมพ์ (depanning) และทำเย็น (cooling)

2.8.2.8 การหั่นเป็นชิ้น (slicing)

2.8.2.9 การบรรจุถุง (bagging)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

Katsube และคณะ (2009) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งต่อสมบัติต้านอนุมูลอิสระ และความเสถียรของสารประกอบโพลีฟีนอลในใบหม่อน (*Morus alba* L.) ที่ได้จากการทำแห้งด้วยลมร้อนกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม โดยการทำแห้งด้วยลมร้อนได้แบ่งออกเป็น 4 สภาวะ คือ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 ชั่วโมง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.0 ชั่วโมง 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4.3 ชั่วโมง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง และ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.7 ชั่วโมง โดยตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 8 กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง ผลจากการศึกษาที่ได้พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส มีระดับของสารประกอบโพลีฟีนอลสูงสุดและใกล้เคียงกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อีกทั้งมีระดับของการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุดใกล้เคียงกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ในขณะที่ตัวอย่างที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 , 80 และ 110 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล และสมบัติของการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Suvarnakuta และคณะ (2011) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของการทำแห้งต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของแซนโทนในเปลือกมังคุด โดยการทำแห้งแบ่งออกเป็น 3 สภาวะ คือ hot-air drying , vacuum drying และ low-pressure superheated steam drying (LPSSD, 7 kPa) ทั้ง 3 สภาวะนี้ทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 , 75 และ 90 องศาเซลเซียส โดยทำแห้งจนกระทั่งมีความชื้นประมาณ 0.10 กิโลกรัม/กิโลกรัมตัวอย่างแห้ง ผลการศึกษาที่ได้พบว่าการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน และ LPSSD ที่อุณหภูมิ 75 ^{o}C เป็นสภาวะที่เหมาสมที่สุดในการในการรักษาแซนโทนในเปลือกมังคุด ส่งผลให้สมบัติการต้านอนุลอิสระ DPPH และ ABTS มีค่าสูงตามไปด้วย

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการทำแห้งด้วยไมโครเวฟ

Divya และคณะ (2012) ได้เปรียบเทียบผลของการทำแห้งใบผักชีด้วยตู้อบลมร้อนที่ใช้อุณหภูมิ 45±2 องศาเซลเซียส โดยทำแห้งจนน้ำหนักตัวอย่างคงที่ (ภายใน 24 ชั่วโมง) กับไมโครเวฟที่ใช้กำลังวัตต์แตกต่างกัน 5 ระดับ (850 , 600 , 450 , 300 และ 180 วัตต์) และระยะเวลาในการทำแห้งแตกต่างกัน (30 , 60 , 90 , 120 , และ 150 วินาที) โดยศึกษาผลของปริมาณน้ำในผักชีที่สูญเสีย คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในระหว่างการทำแห้ง ซึ่งผลการศึกษาที่ได้พบว่า การทำแห้งโดยใช้กำลังวัตต์ของไมโครเวฟสูงที่สุด (850 วัตต์) ปริมาณน้ำในใบผักชีจะลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่ากำลังวัตต์ที่ต่ำ อีกทั้งมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์เพียงเล็กน้อย และยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทรานส์-เบต้า-แคโรทีน (trans-β-carotene) ไปเป็นซิส-เบต้า-แคโรทีน (cis-β-carotene)

Araslan และ Özcan (2010) ได้เปรียบเทียบผลของการทำแห้งหัวหอมสไลซ์ด้วยแสงอาทิตย์ เตาอบ และไมโครเวฟ โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี โดยวัดในค่า L* , a* และ b* และสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดหลังการทำแห้ง ในการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์จะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 20 - 30 องศาเซลเซียส ส่วนการทำแห้งด้วยเตาอบจะใช้อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส และการทำแห้งด้วยไมโครเวฟจะใช้กำลัง 210 และ 700 วัตต์ ผลการทดลองพบว่าหัวหอมสไลซ์ที่ทำแห้งจะใช้เวลาในการทำแห้งและมีปริมาณความชื้นที่เหลือหลังการทำแห้งแตกต่างกัน โดยการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ใช้เวลาในการทำแห้ง 17 ชั่วโมง หัวหอมสไลซ์มีปริมาณความชื้น 48.86 กรัม/100 กรัมของน้ำหนักเปียก การทำแห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้ง 15 ชั่วโมง หัวหอมสไลซ์ที่ได้มีปริมาณความชื้น 36.68 กรัม/100 กรัมของน้ำหนักเปียก การทำแห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำแห้ง 11 ชั่วโมง หัวหอมสไลซ์ที่ได้มีปริมาณความชื้น 1.81 กรัม/100 กรัมของน้ำหนักเปียก การทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลัง 210 วัตต์ ใช้เวลาในการทำแห้ง 19.2 นาที หัวหอมสไลซ์มีปริมาณความชื้น 13.10 กรัม/100 กรัมของน้ำหนักเปียก และการทำแห้งด้วยไมโครเวฟกำลัง 700 วัตต์ ใช้เวลาในการทำแห้ง 19.2 นาที หัวหอมสไลซ์มีปริมาณความชื้น 2.19 กรัม/100 กรัมของน้ำหนักเปียก สำหรับผลของการเปลี่ยนแปลงของสีพบว่า หัวหอมสไลซ์ที่ทำแห้งโดยไมโครเวฟจะมีค่า L* ลดลงต่ำกว่าค่า L* ที่ทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ ส่วนค่า a* และ b* จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับหัวหอมสด ส่วนผลของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดหลังการทำแห้งพบว่า หัวหอมสไลซ์ที่ทำแห้งโดยไมโครเวฟมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลมากกว่าหัวหอมสไลซ์สดและหัวหอมสไลซ์ที่ทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ผักเหลียงที่ซื้อจากตลาดดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพฯ ซึ่งแม่ค้ารับมาจากจังหวัดชุมพร

3.1.2 แป้งสาลีสำหรับทำขนมปัง ตรา หงส์ขาว

3.1.3 ยีสต์แห้งสำเร็จรูป ตรา ซาฟ อิน สแตนท์

3.1.4 น้ำตาล ตรา มิตรผล

3.1.5 เกลือ ตรา ขอบฟ้าเขียว

3.1.6 เนยสดชนิดจืด ตรา อลาวรี่

3.1.7 นมพร่องมันเนย ตรา เมจิ

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ตู้อบลมร้อน (BINDER ED/FD , Germany)

3.2.2 เตาไมโครเวฟ (Electrolux EMS2327S , ประเทศไทย)

3.2.3 เครื่องปั่น (moulinex optiblend 2000 , France)

3.2.4 เครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด (METTLER TOLEDO MJ33 , United Kingdom)

3.2.4 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) (Memmert , Germany)

3.2.5 ชุดกรอง Suction Flask และ Vacuum pump (BUCHI B-169 , Switzerland)

3.2.6 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) (GENESYS 10 Vis , USA)

3.2.7 เครื่องวัดสี (Minolta CR 300 , Japan)

3.2.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (Startorius BT 3100s , Germany)

3.2.9 เครื่องตีผสมแบบสองแขน (กิตติวัฒนา , ประเทศไทย)

3.2.10 หม้อหุงข้าวไฟฟ้า (TOSHIBA RC-18NMF , ประเทศไทย)

3.2.11 เตาอบ (smeg , Germany)

3.3 สารเคมี

3.3.1 Folinn-ciocalteu reagent (Sigma , Germany)

3.3.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, $NaCO_3$) (Merck , Germany)

3.3.3 กรดแกลลิก (Gallic acid) (Sigma , Germany)

3.3.4 2,2-diphenyl-1picryhydrazyl radical (DPPH) (Sigma , Germany)

3.3.5 เอธานอล 95 % (Ethanol, C_2H_5OH) (องค์การสุราไทย , ประเทศไทย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 โซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต (Sodium acetate trihydrate) (Merck , Germany)

3.3.7 กรดแกลเซียลอะซิติก (Sigma , Germany)

3.3.8 TPTZ (2,4,6-Tris (2-pyridyl)-s-triazine)

3.3.9 กรดไฮโดรคลอริก (Sigma , Germany)

3.3.10 $FeCl_3.6H_2O$ (Sigma , Germany)

3.3.11 โทรลอกซ์ (Torlox) (Sigma , Germany)

3.3.12 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbornate, $CaCO_3$) (Sigma , Germany)

3.3.13 อะซิโตน (Sigma , Germany)

3.3.14 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) (Sigma , Germany)

3.3.15 แอนไฮดรัสโซเดียมไดซัลไฟต์ (Anhydrus sodium disulfite) (Sigma , Germany)

3.3.16 แมกนิเซียมคาร์บอเนต (Magnesium carbornate, $MgCO_3$) (Sigma , Germany)

3.3.17 เฮกเซน (Hexane) (Sigma , Germany)

3.3.18 เมธานอล (Methanol) (Sigma , Germany)

3.3.19 กรดฟอร์มิก (Formic acid) (Sigma , Germany)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างใบผักเหลียง

คัดเลือกใบผักเหลียงโดยการเด็ดเป็นใบๆ เลือกใช้เฉพาะใบสีเขียว จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วนำมาผึ่งให้แห้งบนตะแกรง

3.4.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเคมีของใบผักเหลียงสด

นำตัวอย่างใบผักเหลียงที่เตรียมในข้อ 3.4.1 มาทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเคมีดังต่อไปนี้

- ปริมาณความชื้นทั้งหมด (AOAC , 2000)
- ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Singleton และ Lamuela-Raventos , 1999)
- ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Murakami และคณะ , 2004)
- ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Benzie และ Strain , 1999)
- ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (AOAC , 1990)
- ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (AOAC , 1990)

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งใบผักเหลียงด้วยตู้อบลมร้อน และเตาไมโครเวฟ

3.4.3.1 การทำแห้งใบผักเหลียงด้วยตู้อบลมร้อน

นำตัวอย่างใบผักเหลียงที่เตรียมในข้อ 3.4.1 มา 150 กรัม หั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาเกลี่ยใส่ในถาดอลูมิเนียมขนาด 12 x 17 นิ้ว 2 ถาด ถาดละ 75 กรัม จากนั้นนำมาอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 60 , 70 และ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างสุดท้ายมีความชื้นประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก นำตัวอย่างใบผักเหลียงที่ได้มาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดแห้งที่ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 3 นาที วิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

- ปริมาณความชื้นทั้งหมดโดยใช้เครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด
- วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี
- ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Singleton และ Lamuela-Raventos , 1999)
- ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (Murakami และคณะ , 2004)
- ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Benzie และ Strain , 1999)
- ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (AOAC , 1990)
- ปริมาณเบต้าแคโรทีน (AOAC , 1990)

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก

3.4.3.2 การทำแห้งใบผักเหลียงด้วยเตาไมโครเวฟ

นำตัวอย่างใบผักเหลียงที่เตรียมในข้อ 7.1 มา 150 กรัม เกลี่ยใส่ในจานเซรามิกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 27.6 เซนติเมตร โดยใช้ตัวอย่างครั้งละ 25 กรัม จากนั้นนำมาให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลังวัตต์แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 600 , 700 และ 800 วัตต์ จนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก นำตัวอย่างใบผักเหลียงที่ได้มาบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดแห้งที่ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 3 นาที วิเคราะห์ค่าต่างๆ เช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.1 ทุกประการ

3.4.4 การศึกษาการใช้ประโยชน์ใบผักเหลียงอบแห้งในผลิตภัณฑ์ขนมปัง

สูตรมาตรฐานของขนมปังแซนวิชในการทดลองนี้ จะใช้วิธีที่ดัดแปลงจาก UFM Baking and Cooking School โดยมีส่วนผสมดังต่อไปนี้

แป้งสาลี	1000	กรัม
ยีสต์	10	กรัม
น้ำตาล	50	กรัม
เกลือ	15	กรัม
เนยสด	80	กรัม
นมสด	690	กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการผลิตขนมปัง เริ่มจากผสมแป้ง และยีสต์ในเครื่องผสม คลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยเครื่องตีผสมแบบสองแขน จากนั้นผสมส่วนของนมสด น้ำตาลทราย และเกลือเข้าด้วยกัน คนให้ละลาย แล้วนำมาเติมลงในเครื่องผสม ตีส่วนผสมให้เข้ากันจนไม่มีผงแป้งเหลืออยู่ จากนั้นเติมเนยสดแล้วตีให้เข้ากัน ประมาณ 15 นาที นำก้อนแป้งมานวดแล้วคลึงให้เป็นก้อนกลม แล้วนำไปบ่มในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (อุณหภูมิ 32.8±2 องศาเซลเซียส) นาน 50 นาที เมื่อครบกำหนดเวลานำก้อนแป้งมาแบ่งออกเป็น 4 ส่วนให้เท่ากัน (น้ำหนักโดยประมาณ 450 กรัม) นวดแล้วคลึงให้เป็นก้อนกลม พร้อมกับไล่อากาศ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องอีกครั้งนาน 10 นาที เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำแป้งมานวดแล้วคลึงให้เป็นก้อนกลม พร้อมกับไล่อากาศอีกครั้ง เมื่อเสร็จแล้วใช้ไม้คลึงแป้งออกเป็นแผ่น แล้วม้วนแป้งเป็นท่อนกลมยาวเท่าพิมพ์ขนาด 4 x 6 x 4 นิ้ว นำก้อนแป้งใส่ลงในพิมพ์ ปิดฝาให้มีช่องถ่ายเทอากาศเพียงเล็กน้อย รอให้แป้งขึ้นฟูเต็มพิมพ์ (ในที่นี้ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง) แล้วนำเข้าเตาอบอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที เมื่อขนมปังสุกนำไปพักไว้บนตะแกรงจนเย็นสนิท หั่นเป็นชิ้นบางความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร

ในการทดลองจะนำใบผักเหลียงอบแห้งที่บดเป็นผงมาทดแทนแป้งสาลี โดยใช้ระดับที่ทดแทนต่างกัน 3 ระดับ คือ 1 , 2 และ 3 % โดยน้ำหนักแป้งสาลี จากนั้นนำตัวอย่างขนมปังที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic scale 9 ระดับคะแนน ใช้ผู้ทดสอบชิม 30 คน โดยทำการทดสอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม
- วัดค่าสีของเนื้อขนมปังโดยใช้เครื่องวัดสี
- ปริมาตรจำเพาะโดยวิธีแทนที่เมล็ดงา (กริญญา และคณะ , 2008)

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก

3.4.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของขนมปัง

เตรียมตัวอย่างขนมปังเสริมผงใบผักเหลียงแห้งที่ระดับที่เหมาะสมตามผลการทดลองในข้อ 3.4.4 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

- ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Singleton และ Lamuela-Raventos , 1999)
- ปริมาณคลอโรฟิลล์ (AOAC , 1990)
- ปริมาณเบต้าแคโรทีน (AOAC , 1990)

รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดูได้จากภาคผนวก

3.4.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางเคมี และกายภาพจะใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ส่วนการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสจะใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block. Design : RCBD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างเฉลี่ยโดยวิธีของดันแคน (Duncan's new multiple range test : DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของใบผักเหลียงอบแห้ง

การศึกษาลักษณะทางกายภาพโดยการนำผักเหลียงแห้งที่ทำแห้งโดยสภาวะต่างๆ มาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR-300 ในระบบ CIE Lab scale รายงานเป็นค่า L* a* b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยจะใช้ค่า a* เป็นเกณฑ์ เนื่องจากค่า a* จะแสดงถึงค่าสีเขียว (-a*) ไปจนถึงค่าสีแดง (+a*) ในการบอกลักษณะคุณภาพของใบผักเหลียง (ณรงค์พันธ์, 2550) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

Table 4.1 Effect of drying methods on color values dried Phak liang samples.

Drying Conditions	L*	a*	b*	H°
Hot air oven				
60°C	41.16±2.04^{a}	-14.64±0.31^{a}	+27.12±0.98^{a}	118.61±1.36^{cd}
70°C	35.03±1.63^{cd}	-13.01±0.51^{b}	+23.57±0.75^{bc}	118.90±0.30^{bcd}
80°C	38.61±1.34^{b}	-15.09±0.39^{a}	+24.80±0.80^{b}	121.33±0.37^{a}
Microwave oven				
600W	35.14±1.90^{cd}	-12.63±0.62^{b}	+22.79±1.05^{cd}	118.99±0.39^{bc}
700W	33.72±1.69^{b}	-12.62±0.25^{b}	+21.80±1.07^{d}	119.67±0.30^{b}
800W	36.83±2.97^{cb}	-12.81±0.25^{b}	+24.02±0.70^{b}	118.08±0.34^{d}

$^{a-d}$ means within a column with the different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

การวัดค่าสีของใบผักเหลียงอบแห้งทั้ง 6 สภาวะในระบบ CIE Lab scale โดยวัดค่าเป็น L* a* b* และคำนวณเป็นค่า Hue (H°) ซึ่งหมายถึงองศาของสี หรือค่าของสีที่ปรากฏให้เห็นของตัวอย่าง เช่น เมื่อค่า H° เท่ากับ 0 องศา สารสกัดจะมีสีแดง เมื่อค่า H° เท่ากับ 90 องศา สารสกัดจะมีสีเหลือง และเมื่อค่า H° เท่ากับ 180 องศา สารสกัดจะมีสีเขียว จากการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่าทั้ง 6 สภาวะองศาของสีจะเป็นสีเขียวออกเหลือง เนื่องจากมีองศาของสีเบี่ยงเบนไปจาก 180 องศามาก โดยพบว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่าองศาสี (H°) มากที่สุด ซึ่งจะมีองศาเข้าใกล้ 180 องศามากที่สุด คือ 121.33±0.37 แสดงว่ามีสีเขียวมากกว่าสภาวะอื่นๆ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ในพืชชั้นสูงจะพบคลอโรฟิลล์ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ซึ่งมักจะอยู่ร่วมกันในอัตราส่วน 2.5:1 และคลอโรฟิลล์ เอ จะมีสีเขียวแกมน้ำเงิน ส่วนคลอโรฟิลล์ บี จะมีสีเขียวแกมเหลือง การทำแห้งที่สภาวะต่างๆทำให้คลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งมีความคงตัวน้อยกว่าคลอโรฟิลล์ บี ที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้ให้คลอโรฟิลล์ เอ เปลี่ยนไปเป็นฟีโอไฟติน เอ ซึ่งจะมีสีเขียวอมเหลืองไปจนถึงสีน้ำตาล ทำให้อัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง และคลอโรฟิลล์ บี เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะสีที่แสดงออกมาจะเป็นสีเขียวออกเหลือง (ERGE และคณะ, 2008; กิตติพงษ์, 2539) และจากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสมีค่าความเป็นสีเขียว (+a*) มากที่สุด อาจเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นกว่า ในสภาวะการทดลองตัวอย่างไม่ได้ผ่านการลวกทำให้การทำแห้งที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า เอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะทำงานได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูงๆ จึงทำให้การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงสีที่ได้จึงมีสีเขียวที่ดีกว่า (Guzman และคณะ, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาลักษณะทางเคมีของใบผักเหลียงสดและอบแห้ง

การวิเคราะห์ทางเคมีของใบผักเหลียงสดและอบแห้งที่สภาวะต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณเบต้าแคโรทีน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

Table 4.2 Effect of drying methods on total polyphenol content, chlorophyll content and β-carotene content of fresh and dried Phak liang samples.

Drying Conditions	Total polyphenol content (mg gallic acid eq./g dry basis)	Chlorophyll content (mg/g dry basis)	β-carotene content (mg/100g dry basis)
Fresh	12.06±0.04^{b}	3.24±0.22^{a}	3.67±0.01^{a}
Hot air oven			
60°C	14.25±0.11^{c}	2.92±0.06^{b}	1.83±0.00^{d}
70°C	14.85±0.15^{b}	2.46±1.17^{c}	1.50±0.00^{e}
80°C	15.00±0.06^{a}	2.32±1.37^{c}	2.08±0.01^{e}
Microwave oven			
600W	11.32±0.06^{f}	2.14±0.51^{d}	1.40±0.09^{f}
700W	10.56±0.04^{g}	2.12±1.81^{d}	1.37±0.01^{f}
800W	11.53±0.07^{e}	3.01±0.15^{b}	2.25±0.02^{b}

$^{a-g}$ means within a column with the different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของผักเหลียงสดและอบแห้งทั้ง 6 สภาวะ พบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงสุดเท่ากับ 15.00±0.06 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิ 75 - 80 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ (Madrau และคณะ, 2009) จากสภาวะการทดลองไม่ได้ผ่านกระบวนการลวกทำให้เอนไซม์ยังคงทำงานได้ ดังนั้นที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ และการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งเป็นการเพิ่มปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทั้งนี้เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่ในพืชจะประกอบด้วยโพลีเมอร์ที่ไม่สามารถละลายน้ำ (Peleg และคณะ, 1991) การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งเป็นการทำให้เซลล์ของพืชถูกทำลายมากขึ้น และทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำถูกปลดปล่อยอยู่อย่างอิสระ ทำให้ปริมาณสารที่สกัดได้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงขึ้น (Choi และคณะ, 2006)

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ปริมาณของคลอโรฟิลล์ของใบผักเหลียงสดมีปริมาณมากที่สุด คือ 32.36±0.22 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งพบว่า การทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่ระดับ 800 วัตต์ ตัวอย่างใบผักเหลียงอบแห้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด คือ 30.06±0.15 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในพืชชั้นสูงจะพบคลอโรฟิลล์ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ซึ่งมักจะอยู่ร่วมกันในอัตราส่วน 2.5:1 และโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ เอ จะเหมือนกับคลอโรฟิลล์ บี เพียงแต่หมู่เมททิลที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่สามจะเปลี่ยนเป็นหมู่อัลดีไฮด์ โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะมี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเตตราไพโรล (tetrapyrole) หรือพอร์ไฟริน (porphyrin) โดยมีอะตอมแมกนีเซียมอยู่ตรงกลาง การให้ความร้อนจะทำให้แมกนีเซียมแยกตัวจากโมเลกุลคลอโรฟิลล์ และเกิดฟีโอไฟติน (phaeophytins) ซึ่งมีสีเขียวอมเหลืองไปจนถึงสีน้ำตาล (กิตติพงษ์, 2539) ดังนั้นการทำแห้งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณของคลอโรฟิลล์ก็จะลดลง

เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณของเบต้าแคโรทีนพบว่า การทำแห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์ ทำให้ได้ผักเหลียงแห้งที่มีปริมาณของเบต้าแคโรทีนสูงสุด คือ 2.25±0.02 มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง สาเหตุของการสูญเสียเบต้าแคโรทีนขึ้นอยู่กับความเร็วของลมร้อน ระยะเวลาในการทำแห้ง และอุณหภูมิของการทำแห้ง ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การสูญเสียเบต้าแคโรทีนลดลง เพราะทำให้ความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนสูงขึ้น และการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนซึ่งสัมผัสกับอากาศเป็นเวลานานทำให้เกิดการออกซิไดซ์กับอากาศเป็นผลให้ปริมาณของเบต้าแคโรทีนลดลง (Karabulut และคณะ, 2007)

4.3 การศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบผักเหลียงสดและอบแห้ง

จากการศึกษาสมบัติการต้านออกซิเดชันของใบผักเหลียงสดและอบแห้งที่สภาวะต่างๆ โดยวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

Table 4.3 Effect of drying methods on antioxidant properties on fresh and dried Phak liang samples.

Drying Conditions	DPPH (mg trolox eq./g dry basis)	FRAB (mg trolox eq./g dry basis)
Fresh	4.94±0.14[a]	37.39±0.99[a]
Hot air oven		
60°C	1.50±0.11[e]	25.67±0.71[d]
70°C	2.08±0.34[d]	26.11±0.60[d]
80°C	2.39±0.08[c]	27.37±1.39[c]
Microwave oven		
600W	2.32±0.16[c]	27.27±0.25[c]
700W	2.15±0.09[d]	26.19±0.44[d]
800W	2.58±0.08[b]	27.58±0.73[b]

[a-d] means within a column with the different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ใบผักเหลียงสดมีสมบัติการต้านอกซิเดชันสูงสุด โดยสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกมีค่าเท่ากับ 4.94±0.14 และ 37.39±0.99 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนพบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงสุด โดยสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกมีค่าเท่ากับ 2.39±0.08 และ 27.37±1.39 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์ พบว่ามีสมบัติการต้านอกซิเดชันสูงสุดเมื่อเทียบกับการทำแห้งทั้ง 2 วิธี โดยมีสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกมีค่าเท่ากับ 2.58±0.08 และ 27.58±0.73 มิลลิกรัมสมมูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งในสภาวะดังกล่าวสามารถที่จะรักษาสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คลอโรฟิลล์ เบต้าแคโรทีน และสารประกอบอื่นๆที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชันได้ดีกว่าสภาวะอื่นๆ และเมื่อเทียบกับตัวอย่างสดพบว่า ใบผักเหลียงอบแห้งจะมีสมบัติการต้านออกซิเดชันทั้ง 2 วิธี ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมีผลในการทำลายสารต่างๆที่มีสมบัติในการต้านออกซิเดชันนั่นเอง

4.4 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของขนมปังเสริมใบผักเหลียงอบแห้ง

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของขนมปังเสริมใบผักเหลียงอบแห้งที่ระดับ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแป้งสาลีปริมาตรของขนมปังเสริมใบผักเหลียงอบแห้งแสดงดังตารางที่ 4.4 และค่าสีแสดงดังตารางที่ 4.5

Table 4.4 Effect of dried Phak liang powder addition on specific volume of bread samples.

Dried Phak liang	Volume of bread (cm^3/g)
1 %	3.70 ± 0.15^{a}
2 %	3.57 ± 0.13^{a}
3 %	3.03 ± 0.28^{b}

$^{a-b}$ means within a column with the different letters are significantly different ($p\leq0.05$)

ปริมาตรของขนมปังหลังจากมีการเสริมใบผักเหลียงอบแห้งที่ผ่านการทำแห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสม พบว่าการเสริมใบผักเหลียงอบแห้ง 1 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาตรของขนมปังมากที่สุด คือ 3.70 ± 0.15 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเทียบกับการเสริมใบผักเหลียงอบแห้งที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์

ใบผักเหลียงมีใยอาหาร 0.35-1.04 กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง (เยาวดี, 2552) การแทรกตัวของใยอาหารในขนมปังจะทำให้ปริมาตรของขนมปังลดลง เนื่องจากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำจะขัดขวางการขยายตัวของโดระหว่างการหมัก และการแทนที่ขนมปังด้วยใยอาหารมีผลทำให้ความเข้มข้นของกลูเตนที่ทำหน้าที่โครงสร้างตาข่ายเพื่อกักเก็บแก๊สลดลง และอาจเกิดอัตรกิริยา (interaction) ระหว่างใยอาหารกับกลูเตน (Rosell และ Santos, 2010; Wanlapa และคณะ, 2010)

Table 4.5 Effect of dried Phak liang powder addition on color values of bread samples.

Dried Phak liang	L*	a*	b*
1%	70.87 ± 2.15^{a}	-7.85 ± 0.19^{c}	$+27.49\pm1.44^{c}$
2%	66.36 ± 2.12^{b}	-8.22 ± 0.18^{b}	$+32.02\pm0.60^{b}$
3%	65.06 ± 2.13^{b}	-8.22 ± 0.18^{b}	$+33.84\pm0.96^{a}$

$^{a-b}$ means within a column with the different letters are significantly different ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าของสีในระบบ CIE Lab scale พบว่า ค่า -a* ซึ่งแสดงความเป็นสีเขียว จะมีค่าสูงขึ้นตามระดับการเสริมของใบผักเหลียงอบแห้ง และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากผงใบผักเหลียงอบแห้งมีสีเขียว เมื่อเติมลงในส่วนผสมขนมปังมากขึ้น ก็จะส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีสีเขียวเข้มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้ง

จากการศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังเสริมใบผักเหลียงอบแห้งที่ระดับ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแป้งสาลี และใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ด้วยวิธี 9 point Hedonic scale ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6

Table 4.6 Sensory quality by 9 point Hedonic scale test of bread samples with dried Phak liang powder added.

Dried Phak liang	color	odor^{ns}	taste^{ns}	texture	Overall liking
1%	6.60±1.19^{a}	5.90±1.35	6.27±1.20	7.23±1.10^{a}	6.83±1.05^{a}
2%	6.83±1.34^{a}	5.57±1.52	5.97±1.25	6.37±1.33^{b}	6.53±1.20^{a}
3%	5.80±1.95^{b}	5.43±1.76	5.67±1.58	6.20±1.02^{b}	6.00±1.51^{b}

$^{a-b}$ means within a column with the different letters are significantly different ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าคะแนนความชอบของกลิ่น และรสชาติของขนมปังเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้งที่ระดับ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) และในด้านคะแนนของเนื้อสัมผัสจะเห็นได้ว่า ที่ระดับการเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้ง 1 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนของเนื้อสัมผัสมากที่สุด และมีความแต่งต่างทางสถิติ ($p\leq0.05$) ส่วนในด้านของสี และความชอบโดยรวมพบว่า ที่ระดับการเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้ง 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) จากการทดลองนี้เป็นการศึกษาปริมาณสูงสุดของการเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้งที่ผู้บริโภคยอมรับ ดังนั้นจึงเลือกระดับการเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้งที่ 2 เปอร์เซ็นต์ เพราะมีคะแนนในคุณลักษณะต่างๆที่ใกล้เคียงกับ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด

4.6 การศึกษาสมบัติทางเคมีของขนมปังเสริมผงผักเหลียงอบแห้งที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาลักษณะทางเคมีของขนมปังเสริมผงผักเหลียงอบแห้งที่ได้จากการทำแห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณเบต้าแคโรทีน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7

Table 4.7 Chemical properties of breads with 2% of dried Phak liang powder added.

Chemical properties	Values
Polyphenol content (mg gallic acid eq./100 g dry basis)	155.00±0.09
Chlorophyll content (mg/100 g dry basis)	33.55±0.06
β-carotene content (mg/100 g dry basis)	5.65±0.12

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าขนมปังเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้ง 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 155.00±0.09 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/100กรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 33.55±0.06, 5.65±0.12 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะเหมาะสมที่สุดของการทำแห้งใบผักเหลียง โดยเปรียบเทียบการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน และเตาไมโครเวฟ จากนั้นนำสภาวะดังกล่าวมาศึกษาระดับที่เหมาะสมในการเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้งในขนมปังแซนวิช โดยทดแทนแป้งสาลี มีข้อสรุปและเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คลอโรฟิลล์ และเบต้าแคโรทีนของใบผักเหลียงสดเท่ากับ 12.06±0.04 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง 3.24±0.22 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 3.67±0.01 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีสมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิธีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 4.94±0.14 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเท่ากับ 37.39±0.99 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งใบผักเหลียงด้วยตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟพบว่า การทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และการทำแห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 800 วัตต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีแนวโน้มที่จะคงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คลอโรฟิลล์ และเบต้าแคโรทีนไว้ได้มากที่สุด อีกทั้งยังมีสมบัติการต้านออกซิเดชันสูงสุดอีกด้วย ทั้งความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองวิธีพบว่า การทำแห้งด้วยเตาไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 800 วัตต์ เป็นสภาวะที่มีแนวโน้มเหมาะสมกว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะดังกล่าวสามารถที่จะคงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด คลอโรฟิลล์ และเบต้าแคโรทีนไว้ได้มาก และยังคงมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันที่ดีอีกด้วย โดยตัวอย่างผงใบผักเหลียงอบแห้งที่เตรียมโดยวิธีเตาไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์ มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเท่ากับ 11.53±0.07 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 3.01±0.15 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง และปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 2.25±0.02 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง และมีสมบัติการต้านออกซิเดชัน โดยวิธีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH และความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเท่ากับ 2.58±0.08 และ 27.58±0.73 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณผงใบผักเหลียงอบแห้งที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้เตาไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 800 วัตต์ โดยการเสริมในขนมปังแซนวิช 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าลักษณะทางกายภาพในด้านความเป็นสีเขียวของขนมปังจะแปรผันตามระดับการเพิ่มปริมาณของผงใบผักเหลียงอบแห้ง และขนมปังจะมีปริมาตรจำเพาะที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อการเสริมผงใบผักเหลียงอบแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ที่ระดับการเสริมผงใบผัก เหลียงอบแห้ง 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่สูงสุดที่ยังคงทำให้ตัวอย่างขนมปังแซนวิชที่ได้มีคะแนนความชอบของปัจจัยต่างๆสูง โดยมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 155.00±0.09 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/100กรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 33.55±0.06 และ 5.65±0.12 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเคมี และกายภาพในระหว่างการเก็บรักษาของผงใบผักเหลียงอบแห้งที่อุณหภูมิห้อง และ 4 องศาเซลเซียส

5.2.2 ควรศึกษาการประยุกต์ใช้ผงใบผักเหลียงอบแห้งในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2539. ผักและผลไม้. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 311 น.

กริญญา แกะประจักษ์, ตะวัน แสงสว่าง, วรรธนมณฑน์ ชาญจารุจิตร์. 2548. "ผลของการเติมใยอาหารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากเปลือกมะม่วงต่อคุณภาพของขนมปัง." ปัญหาพิเศษปริญญาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กูล จุลแก้ว. 2539. ผักเหมียง ราชินีแห่งผักพื้นบ้านภาคใต้. กรุงเทพมหานคร : พิมพ์ดี. 82 น.

ณรงค์พันธุ์ รัตนปนัดดา. 2550. "เทคนิคการอ่านค่าสีของเครื่องวัดสี Colorimeter." Lab Today. 42, 6: 28-31.

ธารีรัตน์ สายสะอาด. 2555. "ผลของการดองเค็มและการแช่อิ่มต่อการเปลี่ยนแปลงวิตามินซีสารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านออกซิเดชันของมะม่วง." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิธิยา รัตนาปนนท์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ผู้เรียบเรียง. 2555. "Bread ขนมปัง." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1143/bread-ขนมปัง

นิธิยา รัตนาปนนท์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ผู้เรียบเรียง. 2555. "drier เครื่องทำแห้ง." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/657/drier-เครื่องทำแห้ง

นิธิยา รัตนาปนนท์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ผู้เรียบเรียง. 2555. "drying rate อัตราการทำแห้ง." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/663/drying%20rate.

นิธิยา รัตนาปนนท์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ผู้เรียบเรียง. 2555. "microwave ไมโครเฟ." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/401

นิธิยา รัตนาปนนท์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ผู้เรียบเรียง. 2555. "phenolic compound." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/2585/phenolic%20compound

ปราณีต โอปณะโสภิต, วัลลภ วีชะรังสรรค. 2004. "ภาพรวมของอนุมูลอิสระและการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากพืชในหลอดทดลอง." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content9_1.11.47/SWU%20J%20Pharm%20Sci%20Vol%209%20No%201-Pg%2073-80.pdf

เยาวดี รุ่งเรือง. 2552. "ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดคลอโรฟิลล์และความคงตัวของสารสกัดคลอโรฟิลล์จากผักเหมียง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วิไล รังสาดทอง. 2552. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร Food processing technology. พิมพ์ครั้งที่ 5 . กรุงเทพ : เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น, 500 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วีระศักดิ์ สามี. 2005. "แคโรทีนอยด์: โครงสร้างทางเคมีและกลไกที่มีผลต่อการทำหน้าที่ของร่างกาย Carotenoids: Structuresand Potential Mechanisms in Biological Functions." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content10_1.5.48/vol_10_no_1_2005_pg058-066_Carotenoid.pdf

ศิริวรรณ สุทธจิตต์. 2550. ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : The Knowledge Center, 431 น.

"การอบแห้งแบบถาด (TrayDrying)." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.agro.cmu.ac.th/e_books/604303/.../Lab13-tray%20drying.doc

"ขนมปัง" [ออนไลน์] .เข้าถึงได้จาก : http://th.wikipedia.org/wiki/ขนมปัง

"คลอโรฟิลล์." [ออนไลน์] .เข้าถึงได้จาก : http://th.wikipedia.org/wiki/คลอโรฟิลล์

"บทที่ 8 สารประกอบฟีนอล." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/pt331/08.htm

"ผักเหมียง." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://natres.psu.ac.th/ProjectSite/webpage/8puk_meang-detail.htm

"ผักเหลียงชุมพร." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaifitway.com/education/ndata/n2db/question.asp?OID=4

"ผลิตภัณฑ์ผักเหลียง." [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.most.go.th/main/index.php/summary-technology/food-processing-technology/1373-2010-02-03-09-17-38.html

Araslan, D., Özcan, M., M. 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on the quality of onion slices. *LWT – Food Science and Technology*. 43: 1121-1127.

Arumugam, N. 2012. "Food Explainer: Why Is Cheese Yellow When Milk Is White?." [Online]. Available: http://www.slate.com/blogs/browbeat/2012/07/26/ why_is_cheese_yellow_or_orange_when_milk_is_white_.html

Choi, Y., Lee S., M., Chun, J., Lee, J. 2006. Influence of treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem*. 99: 381-387.

Cristina, M., R., Eva, S. 2010. Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *Journal of Food Engineering*. 98 (2010) 273–281

Divya, P., Puthusseri, B., Neelware, B. 2012. Caroteniod content, its stability during drying and the antioxidant activity of commercial coriander (*Coriandrum sativum* L.) varieties. *Food Research International*. 45: 342-350.

Erge, H., S., Karadenz, F., Koca, N., Soyer, Y. 2008. Effect of heat treatment on chlorophyll degradation and color loss in green peas. *GIDA*. 33: 225-233.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Guzman, G., R., Durantes, A., L., Hernandez, U., H., Hernandez, S., H., Ortiz, A., Mora, E., R., 2002. Effect of zinc and copper chloride on the color on avocado puree heated with microwave. *Inn. Food Sci. Emerg. Technol.* 3: 47-53.

Katsude, T. Tsurunaga, Y. Sugiyama, M. Furuno, T. Yamasaki, Y. 2009. Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food Chemistry*. 125 : 964-969.

Karabulut, I., Topeu, A., Duran, A., Turan, S., Ozturk, B. 2007. Effect of hot air drying and sun drying on color values and β-carotene content of apricot *(Prunus armenica* L.). *Food Science and Technology*. 40: 753-758.

Madrau, M., A., Piscopo, A., Sanguinetti, A., M., Caro, A., D., Poiana, M., Romeo, F., V., Piga, A. 2009. Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *Eur Food Res Technol*. 228:441–448.

Peleg, H., Naim, M., Rouself, R., L., Zehavi, U. 1991. Distribution of bound and free polyphenolic acids in oranges (*Citrus sinensis*) and grapefruit (*Citrus paradise*). *J. Sci. Food Agric*. 57: 417-426.

Rosell, C., M., Santos, E. Impact of fiber on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. 2010. *Journal of Food Engineering*. 98: 273-281.

Sárközi, Á., Szentmihályi, K., Then, M., Varga, I., S. 2003. Examination on antioxidant activity in the greater celandine (*Chelidonium majus* L.) extracts by FRAP method. *Acta Biologica Szegediensis*. 47: 115-117

Suvarnakuta, P. Chaweerugrat, C. Devahastin, S. 2011. Effect of drying methods on antioxidant activityof xanthones in mangosteen rind. *Food Chemistry*. 125 : 240-247.

Wanlapa, S., Wachirasiri, K., Sithisam-ang, D., Suwannathup, T. 2010. Effect of the incorporation of durian husk dietary fiber on quality of white bread. *Agricultural Sci.* 40: 205-208.

"ANALYTICAL METHODS." [Online]. Available: http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/1564/2/279542_app.pdf

"Cie Lab Color Space Picture." [Online]. Available: http://www.picstopin.com/300/cie-lab-color-space/http:%7C%7Cww*colorcodehex*com%7Ccie-lab*jpeg/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์หาความชื้น

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในตัวอย่างใบผักเหลียงสดจะใช้วิธีของ AOAC (2000) โดยมีหลักการคือ เป็นการหาน้ำหนักตัวอย่างที่หายไปจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในอาหารเป็นไอน้ำ ที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดหรือที่จุดเดือดของน้ำ

1. อุปกรณ์

1.1 ถ้วยอลูมิเนียม (aluminum can)

1.2 โถดูดความชื้น (desiccator)

1.3 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

1.4 คีม (tong)

1.5 เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (analytical balance)

1.6 เครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด

1.7 จานอลูมิเนียม (aluminum pan)

2. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของใบผักเหลียงสด

2.1 อบถ้วยอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

2.2 ชั่งตัวอย่างใบผักเหลียงสดที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่งละเอียดใส่ในถ้วยอลูมิเนียม

2.3 นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่

2.4 ทิ้งตัวอย่างให้เย็นในโถดูดความชื้น

2.5 ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักตัวอย่างใบผักเหลียงสดก่อนอบ และหลังอบ

ซ้ำ	น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
1	2.0038	0.3572
2	2.0045	0.3759
3	2.0053	0.3692
เฉลี่ย	2.0045	0.3674

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณปริมาณความชื้นในใบผักเหลียงสด

$$\%\ \text{ความชื้น (ฐานเปียก)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

$$= \frac{(2.0045 - 0.3674)}{2.0045} \times 100$$

$$= 81.67\ \%$$

4. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของใบผักเหลียงอบแห้ง โดยใช้เครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด

4.1 อบจานอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 130 ± 3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่

4.2 ตั้งโปรแกรมเครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส โปรแกรมอัตโนมัติ

4.3 วางจานอลูมิเนียมลงในเครื่อง แล้วปรับสเกลน้ำหนักให้เป็น 0

4.4 ชั่งตัวอย่าง**ใบผักเหลียงอบแห้งที่บดให้เป็นผง**จำนวน 2.50 กรัม ใส่ลงในจานอลูมิเนียม แล้วปิดฝาเครื่อง

4.5 อบตัวอย่างจนเปอร์เซ็นต์ความชื้นคงที่

ตารางที่ ก.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายของใบผักเหลียงหลังอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ระดับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้าย (ฐานเปียก)	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)
60	2.50	2.50
70	2.78	4.00
80	2.76	7.00

ตารางที่ ก.3 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายของใบผักเหลียงหลังอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ

ระดับพลังงาน (วัตต์)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้าย (ฐานเปียก)	เวลาที่ใช้ (นาที)
500	2.38	7.00
700	2.40	6.30
900	1.69	5.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenol content)

การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมดจะใช้วิธีที่รายงานโดย Singleton และ Lamuela-Raventos (1999) โดยสารโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ folinn-ciocalteu ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร และใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน

1. สารเคมี

1.1 Folinn-ciocalteu reagent

1.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate , $NaCO_3$)

1.3 กรดแกลลิก (Gallic acid)

1.4 เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์

1.5 เฮกเซน (Hexane)

1.6 เมธานอล (Methanol)

1.7 กรดฟอร์มิก (Formic acid)

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยการชั่งกรดแกลลิก 0.04 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมเป็น 100 มิลลิลิตร

2.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกในข้อ 1.1 ลงในหลอดทดลองหลอดละ 0 , 0.05 , 0.1 , 0.15 , 0.20 , 0.25 , 0.30 และ 0.35 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร (ปริมาณกรดแกลลิคในแต่ละหลอดมีค่าเท่ากับ 0 , 20 , 40 , 60 , 80 , 100 , 120 และ 140 ไมโครกรัมตามลำดับ)

2.3. เติมสารละลาย folin-ciocalteu reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้ววางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที

2.4 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้ววางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

2.5 วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกรดแกลลิกเป็น Blank

2.6 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัม

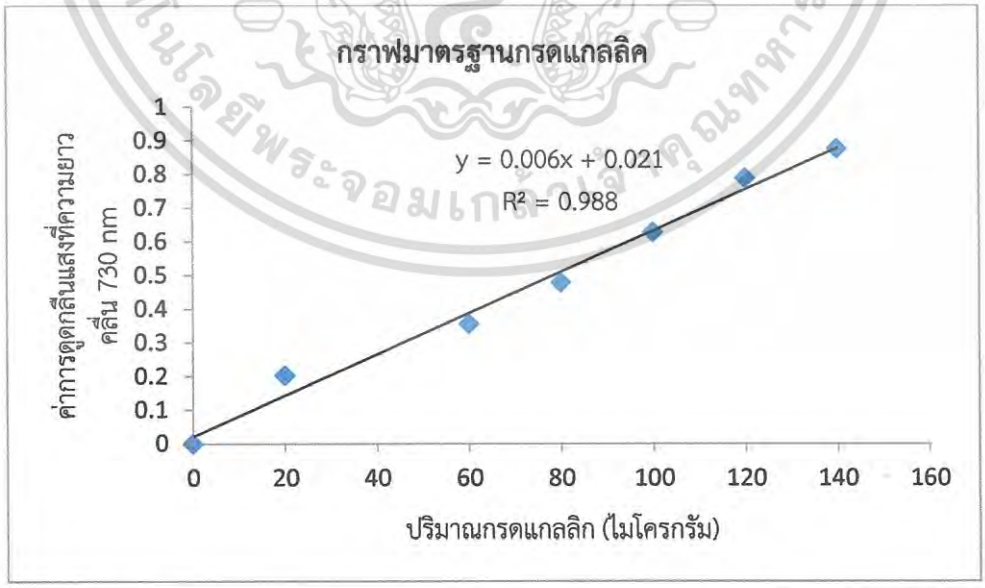
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

หลอดที่	ปริมาตรของสารละลายกรดแกลลิค (ไมโครลิตร)	ปริมาณกรดแกลลิก (ไมโครลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
1	0	0	10.00
2	50	20	9.95
3	100	40	9.90
4	150	60	9.85
5	200	80	9.80
6	250	100	9.75
7	300	120	9.70

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตรของสารละลายกรดแกลลิกมาตรฐาน

ปริมาณกรดแกลลิค (ไมโครกรัม)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0	0	0	0	0
20	0.221	0.224	0.165	0.203
40	0.370	0.370	0.328	0.356
60	0.488	0.490	0.458	0.479
80	0.638	0.634	0.612	0.628
100	0.870	0.749	0.747	0.789
120	0.891	0.906	0.931	0.909



ภาพที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแกลลิก และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมสารสกัดตัวอย่าง

3.1 การเตรียมสารสกัดตัวอย่างจากใบผักเหลียง

3.1.1 นำผักเหลียงปริมาณ 1 กรัม (สำหรับใบผักเหลียงอบแห้ง) หรือ 5 กรัม (สำหรับใบผักเหลียงสด) กรัม มาผสมกับเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 2 นาที

3.1.2 นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 3.1.1 ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ และกระจกนาฬิกาปิด คนทุก 10 นาที

3.1.3 เมื่อครบเวลาให้ความร้อนตามกำหนด ให้นำสารสกัดที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman NO. 4

3.1.4 นำสารสกัดที่กรองในข้อ 3.1.4 มาปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.2 การเตรียมสารสกัดตัวอย่างขนมปัง (Wang and Zhou, 2004)

3.2.1 นำตัวอย่างขนมปังมาอบเพื่อไล่ความชื้นออกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างขนมปังมีน้ำหนักคงที่และมีลักษณะแห้งกรอบ

3.2.2 ชั่งตัวอย่างขนมปังแห้งที่บดละเอียดปริมาณ 10 กรัม มาสกัดเอาไขมันออกโดยใช้สารละลายเฮกเซน 200 มิลลิลิตร และนำมาแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

3.2.3 นำตัวอย่างขนมปังมาระเหยเอาเฮกเซนออกจนหมด แล้วนำมาสกัดต่อโดยใช้สารละลายผสมของเมธานอล 70% น้ำกลั่น 29.7% และกรดฟอร์มิก 0.3 % (โดยปริมาตร) ปริมาตร 40 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที พร้อมทั้งเขย่าตลอดเวลา จากนั้นทิ้งให้เย็น

3.2.4 กรองเอากากออกโดยใช้กรวยบุชเนอร์ นำส่วนของสารสกัดที่กรองได้มาปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร สำหรับใช้ในการวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์ปริมาณสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัด

4.1 ปิเปตสารสกัดจากใบผักเหลียงที่เจือจางให้มีความเข้มที่เหมาะสมใส่ในหลอดทดลอง และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร

4.2 เติมสารละลาย folin-ciocalteu reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

4.3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้ววางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที

4.4 วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร สำหรับ Blank ให้ใช้น้ำกลั่นแทนสารสกัด

4.5 คำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้หมดในตัวอย่างสารสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

ตัวอย่าง ตัวอย่างปริมาตรสารสกัดใบผักเหลียง 0.5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร เท่ากับ 0.176

สมการกราฟมาตรฐานกรดแกลลิค

$$y = 0.006x + 0.021 \; ; \; R^2 = 0.988$$

เมื่อ y = ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

x = ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัม/0.5 มิลลิลิตรตัวอย่างผักเหลียง)

c = จุดตัดแกน y (0.021)

แทนค่าในสมการ $0.188 = 0.006x + 0.021$

$x = 27.83$ ไมโครกรัม/0.5 มิลลิลิตร

คำนวณความเข้มข้นของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างเริ่มต้น

ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด $= \frac{27.83 \times 2 \times 100}{0.5}$

$= 11,133.33$ ไมโครกรัม/100 มิลลิลิตร

หมายเหตุ Dilution factor = 2

ใบผักเหลียงสด 5 กรัม มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 11,133.33 ไมโครกรัม

ใบผักเหลียงสด 100 กรัม มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 222,049.37 ไมโครกรัม

คำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในหน่วย มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง

ใบผักเหลียงสดมีความชื้น 81.67 % แสดงว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด 18.33 %

ใบผักเหลียงสด 18.33 กรัม น้ำหนักแห้ง มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 222,049.37 ไมโครกรัม

ใบผักเหลียงสด 1 กรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 12,113.99 ไมโครกรัม สมมูลย์กรดแกลลิก

ดังนั้น ใบผักเหลียงสดมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 12.11 มิลลิกรัมสมมูลย์กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีที่รายงานโดย Murakami และคณะ (2004) หลักการของวิธีนี้คือ เมื่อสารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีสีม่วงแดงทำปฏิกิริยากับสารสกัดที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายจากสีม่วงแดงเป็นไม่มีสีหรือมีสีจางลง ถ้าสารสกัดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี สีม่วงแดงของ DPPH จะมีสีจางมากกว่าสารสกัดที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้น้อย ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงโดยการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

1. สารเคมี

1.1 2,2-diphynyl-1-picryhydrazyl radical (DPPH)

1.2 โทรลอกซ์ (Torlox)

1.3 เอธานอล 95% (Ethanol, C_2H_5OH)

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

2.1 เตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม แล้วทำการปรับปริมาตรรวมให้เป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยเอธานอล 95%

2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยชั่งโทรลอกซ์ 0.025 กรัม ปรับปริมาตรรวมให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเอธานอล 95%

2.3 ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ใส่ในหลอดทดลองแต่หลอดให้มีปริมาตร 0.02, 0.04 , 0.06 , 0.08 , 0.10 , 0.12 และ 0.14 มิลลิลิตร ตามลำดับ

2.4 ปรับปริมาตรด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.2 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้สารละลายโทรลอกซ์ที่มีความเข้มข้น 5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30 และ 35 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

2.5 ปรับปริมาตรสารละลายอีกครั้งด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 5.4 มิลลิลิตร

2.6 เติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน ตั้งสารละลายทิ้งไว้ 30 นาที ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด

2.7 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายผสมระหว่างเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ กับสารละลาย DPPH เป็นเป็นหลอดควบคุม และเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์เป็น Blank

2.8 คำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH} = \left\{1 - \left(\frac{A_{sample}}{A_{control}}\right)\right\} \times 100$$

เมื่อ A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดผักเหลียง

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH กับปริมาณโทรลอกซ์ในหน่วยไมโครกรัม

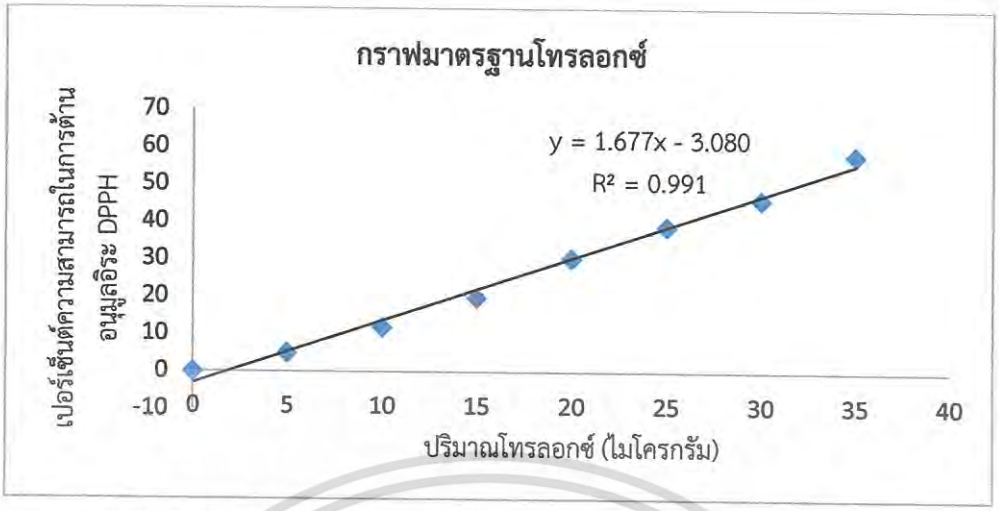
ตารางที่ ซ.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

หลอดที่	ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิลิตร)
1	0.00
2	0.02
3	0.04
4	0.06
5	0.08
6	0.10
7	0.12
8	0.14

ตารางที่ ซ.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ และเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ปริมาณโทรลอกซ์ (ไมโครกรัม)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	0	0	0	0	0
5	0.796	0.804	0.782	0.794	5.024
10	0.743	0.729	0.738	0.737	11.842
15	0.672	0.659	0.682	0.671	19.737
20	0.576	0.580	0.589	0.582	30.383
25	0.520	0.521	0.493	0.511	38.876
30	0.421	0.440	0.488	0.450	46.172
35	0.345	0.359	0.347	0.350	58.134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์กับเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH

3. การเตรียมสารสกัดตัวอย่างจากใบผักเหลียง

ทำตามวิธีในภาคผนวก ข ข้อ 3.1

4. การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ในใบผักเหลียง

4.1 ปิเปตสารสกัดที่เจือจางให้มีความเข้มข้นเหมาะสม (0.5 มิลลิลิตร) ปรับปริมาตรด้วยเอธานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ให้มีปริมาตรรวมเป็น 5.4 มิลลิลิตร

4.2 เติมสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที ในที่มืด

4.3 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายผสมระหว่างเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ กับสารละลาย DPPH เป็นหลอดควบคุม และเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ เป็น Blank

4.4 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างใบผักเหลียง แล้วทำการเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

5. การคำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ตัวอย่าง สารสกัดใบผักเหลียง 0.5 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ได้เท่ากับ 0.809 ส่วนตัวอย่างควบคุมวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.956

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH} = \left\{1 - \left(\frac{A_{sample}}{A_{control}}\right)\right\} \times 100$$

$$= \left\{1 - \left(\frac{0.809}{0.956}\right)\right\} \times 100$$

$$= 15.35 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

$$y = 1.677x - 3.080 \; ; R^2 = 0.991$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดผักเหลียงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

x = ค่าความเข้มข้นของสารละลายโทรลอกซ์ (ไมโครกรัม)

c = จุดตัดแกน y (– 3.080)

แทนค่าในสมการ 15.35 = 1.677x – 3.080

x = 10.99 ไมโครกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/มิลลิลิตร

คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างเริ่มต้น

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH = $\frac{10.99 \times 2 \times 100}{0.5}$

= 4,396.00 ไมโครกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/100 มิลลิลิตร

หมายเหตุ Dilution factor = 2

ใบผักเหลียงสด 5 กรัม **มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ** DPPH 4,396.00 ไมโครกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์

ใบผักเหลียงสด 100 กรัม **มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ** DPPH 109,900.00 ไมโครกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์

คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในหน่วย มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง

ใบผักเหลียงสดมีความชื้น 81.67 % แสดงว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด 18.33 %

ใบผักเหลียงสด 18.33 กรัมน้ำหนักแห้ง **มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ** DPPH 109,900.00 ไมโครกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์

ใบผักเหลียงสด 1 กรัมน้ำหนักแห้ง **มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ** DPPH 5,995.64 ไมโครกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์

ดังนั้น ใบผักเหลียงสด**มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ** DPPH 6.00 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP)

การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกจะใช้วิธีที่รายงานโดย Benzie และ Strain (1999) มีหลักการ คือ ดูความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Fe^{3+}) ให้เป็นเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TPTZ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 593 นาโนเมตร

1. สารเคมี

1.1 อะซิเตต บัฟเฟอร์ (Acetate buffer) pH 3.6 ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เตรียมโดยชั่งโซเดียมอะซิเตทไตรไฮเดรต 3.1 กรัม ผสมกับแกลเชียลอะซิติก 16 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

1.2 สารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris (2-pyridyl)-s-triazine) ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง TPTZ 0.156 กรัม ละลายในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.3 สารละลาย $FeCl_3 . 6H_2O$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ เตรียมโดยชั่ง $FeCl_3 . 6H_2O$ 0.27 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.4 FRAP reagent ผสมสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งหมดดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยให้มีอัตราส่วนของอะซิเตต บัฟเฟอร์ : สารละลาย TPTZ : สารละลาย $FeCl_3 . 6H_2O$ เป็น 10 : 1 : 1 โดยปริมาตรรวม ซึ่งจะต้องเตรียมใหม่ทุกวัน

1.5 สารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (ดูวิธีการเตรียมในภาคผนวก ข ข้อ 2.2)

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

2.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ใส่ในหลอดทดลองแต่หลอดให้มีปริมาตร 0.01 , 0.02 , 0.03 , 0.04 , 0.05 และ 0.06 มิลลิลิตร ตามลำดับ

2.2 ทำการปรับปริมาตรด้วยเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ให้มีปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 0.1 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้สารละลายโทรลอกซ์ที่มีความเข้มข้น 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

2.3 เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน แล้วจึงตั้งสารละลายทิ้งไว้ 8 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

2.4 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายผสมระหว่างเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ กับ FRAP reagent เป็น Blank

2.5 นำค่าที่วัดได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของโทรลอกซ์

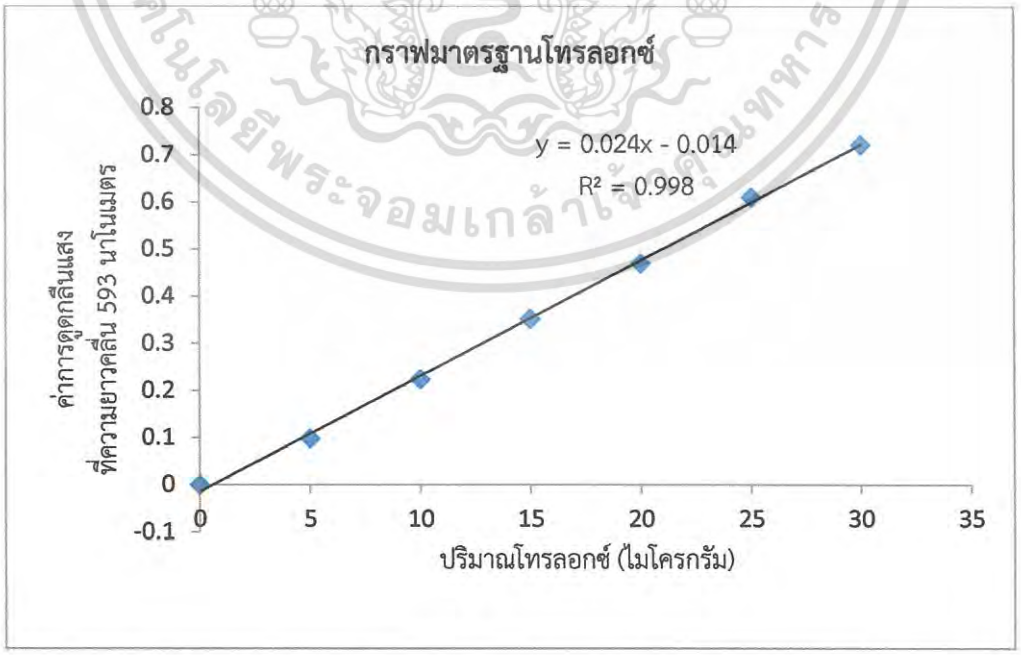
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 การเตรียมหลอดทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก (FRAP)

หลอดที่	ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (มิลลิลิตร)	เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ (มิลลิลิตร)
1	0.01	0.09
2	0.02	0.08
3	0.03	0.07
4	0.04	0.06
5	0.05	0.05
6	0.06	0.04

ตารางที่ ค.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์

ปริมาณโทรลอกซ์ (ไมโครกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
5	0.079	0.114	0.100	0.098
10	0.220	0.231	0.222	0.224
15	0.350	0.359	0.348	0.352
20	0.471	0.466	0.473	0.470
25	0.590	0.609	0.631	0.610
30	0.724	0.740	0.703	0.722



ภาพที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโทรลอกซ์กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมสารสกัดตัวอย่างจากใบผักเหลียง

ทำตามวิธีในภาคผนวก ข ข้อ 3.1

4. การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกในใบผักเหลียง

4.1 ปิเปตสารสกัดจากใบผักเหลียงที่เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมใส่ในหลอดทดลอง 0.1 มิลลิลิตร

4.2 เติมสารละลาย FRAP reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน แล้วจึงตั้งสารละลายทิ้งไว้ 8 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

4.3 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายผสมระหว่างเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ กับ FRAP reagent เป็น Blank

4.4 คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกตามตัวอย่าง

5. คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก

ตัวอย่าง ปิเปตสารสกัดของใบผักเหลียงสดที่เจือจาง 2 เท่า มา 0.1 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตรได้ 0.386

สมการกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์

$$y = 0.024x - 0.014 \; ; \; R^2 = 0.998$$

เมื่อ y = ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

x = ปริมาณโทรลอกซ์ (ไมโครกรัม)

c = จุดตัดแกน y (- 0.014)

แทนค่าในสมการ $0.386 = 0.024x - 0.014$

$$x = 16.67 \text{ ไมโครกรัม/0.1 มิลลิลิตร}$$

คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกในตัวอย่างเริ่มต้น

ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก $= \frac{16.67 \times 2 \times 100}{0.1}$

$= 33,333.33$ ไมโครกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/100 มิลลิลิตร

หมายเหตุ Dilution factor = 2

ใบผักเหลียงสด 5 กรัม มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก 33,333.33 ไมโครกรัมสมมูลย์โทร-ลอกซ์

ใบผักเหลียงสด 100 กรัม มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก 66,666,613.34 ไมโครกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกเป็นมิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง

ใบผักเหลียงสดมีความชื้น 81.67 % แสดงว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด 18.33 %

ใบผักเหลียงสด 18.33 กรัม น้ำหนักแห้ง มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก 66,666,613.34 ไมโครกรัม

ใบผักเหลียงสด 1 กรัม น้ำหนักแห้ง มีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก 36,367.34 ไมโครกรัม

ดังนั้น ใบผักเหลียงสดมีความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริก 36.37 มิลลิกรัมสมมูลย์โทรลอกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฅ
การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Total chloropyll content)

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจะใช้วิธีของ AOAC (1990) โดยมีหลักการคือ สารสกัดคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอะซิโตน ไดเอททิลอีเทอร์ และแอนไฮดรัสโซเดียมไดซัลไฟต์ มีความสามารถดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร (คลอโรฟิลล์ เอ) และ 642.5 นาโนเมตร (คลอโรฟิลล์ บี)

1. สารเคมี

1.1 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbornate, $CaCO_3$)

1.2 อะซิโตน (Acetone)

1.3 ไดเอททิลอีเทอร์ (Diethyl ether)

1.4 แอนไฮดรัสโซเดียมไดซัลไฟต์ (Anhydrus sodium disulfite)

2. การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

2.1 นำตัวอย่างปริมาณ 1 กรัม มาผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 0.1 กรัม และอะซิโตนความเข้มข้น 85 % ปริมาณ 30 มิลลิลิตร ในเครื่องปั่นความเร็วสูง เป็นเวลา 3 นาที

2.2 นำสารผสมที่ได้มากรองตะกอนออกด้วยกระดาษกรอง Whatman NO. 4

2.3 สารละลายที่ได้จากการกรองตะกอนมาริน่ใส่กรวยแยกที่มีสารละลายแอนไฮดรัสโซเดียมไดซัลไฟต์ ความเข้มข้น 5 % ปริมาณ 50 มิลลิลิตร และไดเอททิลอีเทอร์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร

2.4 ทำการเขย่าสารละลายให้เข้ากัน พร้อมกับไล่ไอระเหยภายในกรวยแยกออกเป็นระยะ

2.5 ตั้งสารละลายทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้น ในขั้นตอนนี้จะได้สารละลายแยกเป็น 2 ชั้น

2.6 ทิ้งสารละลายที่อยู่ชั้นล่าง และเก็บสารละลายที่อยู่ชั้นบนไว้

2.7 รินสารละลายที่อยู่ชั้นบนจนหมด แล้วนำสารละลายที่ได้มาปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ด้วยไดเอททิลอีเทอร์

2.8 นำสารสกัดที่ได้ในจากข้อ 2.7 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 660 และ 642.5 นาโนเมตร โดยใช้ได-เอททิลอีเทอร์เป็น Blank

2.9 คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)} = (7.12 \times A_{660}) + (16.8 \times A_{642.5})$$

เมื่อ A_{660} = ค่าการดูดกลืนแสงสารสกัดที่ 660 นาโนเมตร

$A_{642.5}$ = ค่าการดูดกลืนแสงสารสกัดที่ 642.5 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด

ตัวอย่าง สารสกัดใบผักเหลียงสด 1.0025 กรัม ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 และ 642.5 นาโนเมตร เท่ากับ 0.445 และ 0.164 ตามลำดับ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร) = $(7.12 \times A_{660}) + (16.8 \times A_{642.5})$

= $(7.12 \times 0.445) + (16.8 \times 0.164)$

= 5.9236 มิลลิกรัม/ลิตร

คำนวณจาก มิลลิกรัม/ลิตร เป็น มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

สารสกัดใบผักเหลียงสด 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 5.9236 มิลลิกรัม

สารสกัดใบผักเหลียงสด 100 มิลลิลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 0.5924 มิลลิกรัม

คำนวณจาก มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร เป็น มิลลิกรัม/100 กรัม

ใบผักเหลียงสด 1.0025 กรัม มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 0.5924 มิลลิกรัม

ใบผักเหลียงสด 100 กรัม มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 59.0883 มิลลิกรัม

คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเป็น มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง

ใบผักเหลียงสดมีความชื้น 81.67 % แสดงว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด 18.33 %

ใบผักเหลียงสด 18.33 กรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 59.0883 มิลลิกรัม

ใบผักเหลียงสด 1 กรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 3.22 มิลลิกรัม

ดังนั้น ใบผักเหลียงสดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 3.22 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฆ
การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน (β-carotene)

การวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนจะใช้วิธีของ AOAC (1990 โดยมีหลักการ คือ สารสกัดเบต้า-แคโรทีนที่ได้จากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน และอะซิโตน มีความสามารถดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 436 นาโนเมตร

1. สารเคมี

1.1 แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium carbornate, $MgCO_3$)

1.2 เฮกเซน (Hexane)

1.3 อะซิโตน (Acetone)

1.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1 โมลาร์

2. การวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน

2.1 นำตัวอย่าง 1 กรัม (สำหรับใบผักเหลียงอบแห้ง) หรือ 5 กรัม (สำหรับใบผักเหลียงสด) มาผสมกับอะซิโตนและเฮกเซน (ในอัตราส่วน 40:60 โดยปริมาตร) 100 มิลลิลิตร และแมกนีเซียมคาร์บอเนต 0.1 กรัม ในเครื่องปั่นด้วยความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 5 นาที

2.2 นำสารผสมที่ได้จากข้อ 2.1 มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman NO.4 แล้วล้างตะกอนด้วยอะซิโตน 25 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง และเฮกเซน 50 มิลลิลิตร จำนวน 1 ครั้ง

2.3 นำสารละลายจากการกรองมารินใส่ในกรวยแยก

2.4 เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงไปในกรวยแยก แล้วเขย่าเพื่อสกัด โดยไล่ไอระเหยเป็นระยะ

2.5 ตั้งสารละลายทิ้งไว้จนแยกชั้นระหว่างเฮกเซนและชั้นน้ำ โดยชั้นน้ำจะอยู่ชั้นล่างสุด

2.6 ไขส่วนชั้นน้ำออกทิ้งไป

2.7 ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.4 – 2.6 จนครบ 5 ครั้ง หากสารละลายไม่สามารถแยกชั้นได้อย่างชัดเจนให้เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ลงไปทีละน้อยพร้อมกับแกว่งกรวยแยก จนได้สารละลายแยกเป็น 2 ชั้น อย่างชัดเจน

2.8 ไขส่วนของเฮกเซนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีอะซิโตนอยู่ 9 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนจนถึงขีด

2.9 นำสารละลายไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 436 นาโนเมตร โดยใช้เฮกเซนเป็น Blank

2.10 การคำนวณปริมาณเบต้าแคโรทีนจากสมการมาตรฐานของเบต้าแคโรทีนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = (A \times 454) / (196 \times L \times W \times d)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีน (มิลลิกรัม/ปอนด์)

A = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ความยาวคลื่น 436 นาโนเมตร

L = ความยาวเซลล์ (กำหนดให้มีค่า = 1 เซนติเมตร)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม) / ปริมาตรสารละลาย (มิลลิลิตร)

d = Dilution factor

3. การคำนวณปริมาณเบต้าแคโรทีน

ตัวอย่าง น้ำหนักตัวอย่างใบผักเหลียง 5.0074 กรัม ในสารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 436 นาโนเมตร เท่ากับ 0.660

$C = (A \times 454) / (196 \times L \times W \times d)$

= 3.0623 มิลลิกรัมต่อปอนด์

ใบผักเหลียงสด 453.6 กรัม (1 ปอนด์) มีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 3.0623 มิลลิกรัม

ใบผักเหลียงสด 100 กรัม มีปริมาณเบต้าแคโรทีนเท่ากับ 0.6751 มิลลิกรัม

คำนวณปริมาณเบต้าแคโรทีนเป็น มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง

ใบผักเหลียงสดมีความชื้น 81.67 % แสดงว่ามีปริมาณของแข็งทั้งหมด 18.33 %

ใบผักเหลียงสด 18.33 กรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 0.6751 มิลลิกรัม

ใบผักเหลียงสด 100 กรัมน้ำหนักแห้ง มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 3.68 มิลลิกรัม

ดังนั้น ใบผักเหลียงสดมีปริมาณมีปริมาณเบต้าแคโรทีนทั้งหมด 3.68 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
การหาปริมาตรจำเพาะขนมปังโดยวิธี rapeseed displacement

การหาค่าปริมาตรจำเพาะขนมปังโดยวิธี Rapeseed displacement โดยจะใช้วิธีที่รายงานโดย กริญญา และคณะ (2008) มีหลักการ คือ ใช้เมล็ดงาแทนที่ขนมปังในภาชนะที่ทราบปริมาตร

1. วัตถุดิบ

1.1 เมล็ดงา

2. อุปกรณ์

2.1 กะละมังสแตนเลส

2.2 กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร

3. การหาปริมาตรจำเพาะขนมปัง

3.1 นำเมล็ดงาที่แห้งและสะอาด ใส่กะละมังจนเต็มโดยไม่ต้องกดหรือเขย่ากล่อง จากน้ำปาดส่วนที่เกินออก นำเมล็ดงาทั้งหมดที่บรรจุอยู่ในกะละมังไปหาปริมาตรโดยใช้กระบอกตวง ในตอนนี้จะได้ปริมาตรของกะละมัง

3.2 นำก้อนขนมปังที่ต้องการทราบปริมาตรวางในกะละมังใบเดิม และใช้เมล็ดงาที่แห้งและสะอาดที่ใช้หาปริมาตรภาชนะ เทลงไปในกะละมังที่มีขนมปังทีละเล็กน้อยๆ เพื่อแทนที่ปริมาตรที่เหลือในภาชนะจนเต็ม และปาดออกโดยไม่ต้องเขย่าหรือกดทับ

3.3 นำเมล็ดงาที่อยู่ในกะละมังมาตวงโดยกระบอกตวง

3.4 คำนวณปริมาตรของขนมปังดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาตรจำเพาะขนมปัง (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)} = \frac{(\text{ปริมาตรของกะละมัง} - \text{ปริมาตรของเมล็ดงาที่ใช้})}{\text{น้ำหนักขนมปัง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบ
ขนมปังเสริมใบเหลียงอบแห้ง

ชื่อ.....วันที่.....ชุดที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย

7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

และกรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

คุณลักษณะ	รหัส		
สี			
กลิ่น			
รสชาติ			
เนื้อสัมผัส			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้