

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และรงควัตถุจาก
ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ANTIOXIDANT AND PIGMENTS PROPERTIES OF
FREEZE DYRIED PRODUCTS



T143485

ธันนพัชร

เจริญสัมฤทธิ์

สุกัญญา

ภูเอี่ยม

สุภัทรา

ธรรมสัจจร

๒/๗.

ค 213 1

2557

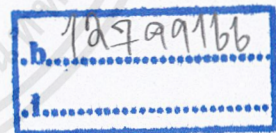
เลขหมู่

เลขทะเบียน

143485

วัน,เดือนปี

10 มี.ค. 2559



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557



ปัญหาพิเศษ

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และรงควัตถุจากผลิตภัณฑ์ที่
ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Antioxidant and Pigments properties of
freeze dried products

นางสาวณัณพัชร์ เจริญสัมฤทธิ์

นางสาวสุกัญญา ภู่อี่ยม

นางสาวสุภัทรา ธรรมสัจจร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

Faculty of Agro-industry

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษ

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และรงควัตถุจากผลิตภัณฑ์
ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Antioxidant and Pigments properties of
freeze dried products

จัดทำโดย

นางสาวธนันท์พัชร	เจริญสัมฤทธิ์	รหัสนักศึกษา 53080187
นางสาวสุกัญญา	ภูเอี่ยม	รหัสนักศึกษา 53080199
นางสาวสุภัทรา	ธรรมสัจจร	รหัสนักศึกษา 53080205

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ

หลักสูตรวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และรงควัตถุจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน
การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
Antioxidant and Pigments properties of freeze dried products

จัดทำโดย

นางสาวธันนพัชร	เจริญสัมฤทธิ์	รหัสนักศึกษา	53080187
นางสาวสุกัญญา	ภู่อี่ยม	รหัสนักศึกษา	53080199
นางสาวสุภัทรา	ธรรมสัจจร	รหัสนักศึกษา	53080205

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....

(รศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

28 / 12 / 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่องปัญหาพิเศษ	การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และรงควัตถุจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง		
ชื่อและรหัสนักศึกษา	1. นางสาวณันพัชร์ เจริญสัมฤทธิ์	รหัสนักศึกษา	53080187
	2. นางสาวสุกัญญา ภู่อี่ยม	รหัสนักศึกษา	53080199
	3. นางสาวสุภัทรา ธรรมสัจจร	รหัสนักศึกษา	53080205
หลักสูตร	วิศวกรรมแปรรูปอาหาร		
พ.ศ.	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ	รศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ		

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาหาปริมาณสารโพลีฟีนอล (TSPCs) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ(AOA) และลักษณะทางกายภาพ ของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ใบเตย ดอกอัญชัน และกระเจี๊ยบแดง โดยนำตัวอย่างมาผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในตัวอย่างทั้งสามชนิด พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง เช่น สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสได้ดี และในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบเตยอัญชัน และกระเจี๊ยบทั้งตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยการสกัดเย็นด้วยเอทานอล 95% พบว่าหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบแดง มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดได้แก่ 2.91, 6.08 , และ 8.17 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับที่พบใน 1 กรัมของตัวอย่างสด และมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระคือ 37.85%, 68.3% และ 59.6% ตามลำดับ โดยในตัวอย่างกระเจี๊ยบแดงมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงจาก 63.2% เป็น 59.6%

คำสำคัญ : การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง, สารต้านอนุมูลอิสระ

Special problem title Antioxidant and Pigments properties of freeze dried products

Students	1. Thananpat	Jarernsamrit	53080187
	2.Sukanya	Pooiam	53080199
	3.Suphatra	Thammasonjorn	53080205

Programme Food Process Engineering

Year 2014

Special problem Advisor Assoc.Prof.Dr. RuchiraTaprap

ABSTRACT

This experiment was to evaluate quantity of total phenolic compound (TSPCs), antioxidant activity (AOA) and physical properties of 3 plants samples; pandanus plam, butterfly pea and roselle. The samples were freeze-dried to compare quality of all 3 freeze-dried products. The results indicated that freeze-drying can preserve physical properties of samples such as color, smell and texture quite well. The total phenolic compound and the percentage of antioxidant activity of both fresh and dried, i.e. pandanus plam, butterfly pea and roselle samples being cold-extracted with 95% ethanol, were evaluated. The results show that the freeze-drying products, pandanus plam, butterfly pea and roselle, have the total phenolic compound as 2.91, 6.08 and 8.17 mg of gallic acid per 1 gram of sample, respectively. The quantities of those compounds in dried products were higher than in the fresh samples. The percentages of antioxidant activity of dried products were 37.85%, 68.3% and 59.6%, respectively. Decreasing of antioxidant activity was found in dried roselle samples from 63.2% to 59.6%.

Keywords : Freeze dry, Antioxidant

กิตติกรรมประกาศ

การนำเสนอปัญหาพิเศษเรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และรงควัตถุจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่คณะผู้จัดทำใคร่ขอกราบพระคุณคือ รศ.ดร.รุจิรา ตาปราบ ผู้คอยให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งคณะอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหารและนักวิทยาศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่คอยให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำปัญหาพิเศษ

ขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่คอยให้คำแนะนำ และคอยให้กำลังใจเสมอมา กระทั่งการนำเสนอสัมมนาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีคณะผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านที่ได้กล่าวมาและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ธนันพัชร เจริญสัมฤทธิ์
 สุกัญญา ภู่อี่ยม
 สุกัทธา ธรรมสัจจร
 8 เมษายน 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IV
สารบัญภาพ.....	IV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วัตถุดิบ.....	3
2.1.1 กระเจี๊ยบ.....	3
2.1.2 เตยหอม.....	3
2.1.3 อัญชัน.....	3
2.2 การบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	4
2.2.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	4
2.2.2 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	5
2.2.3 การประยุกต์การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในอาหาร.....	8
2.3 อนุมูลิสรและสารต้านอนุมูลิสร.....	10
2.3.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลิสร.....	10
2.3.2 กลไกในการทำงานของสารแอนต็อกซิแดนต์.....	11
2.3.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลิสร.....	11
2.3.4 ชนิดของสารต้านอนุมูลิสร.....	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 รังควัตถุ (Pigment).....	20
2.4.1 สารแอนโทไซยานิน.....	21
2.4.2 คลอโรฟิลล์.....	23
2.5 ระบบค่าสี.....	26
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	30
3.1 วัสดุดิบ.....	30
3.2 อุปกรณ์.....	30
3.3 สารเคมี.....	31
3.4 วิธีการทดลอง.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	35
4.1 การศึกษาทางกายภาพ.....	35
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง ทั้งสามชนิดในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	35
4.1.2 การตรวจสอบสีในระบบ Hunter Lab.....	37
4.1.3 การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วย เครื่องวัดคลอโรฟิลล์.....	39
4.2 ผลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ.....	41
4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ทั้งหมดของสารสกัดจากตัวอย่าง.....	41
4.2.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านปฏิกิริยา ออกซิเดชันของสารสกัดจากตัวอย่าง.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	45
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
บรรณานุกรม.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

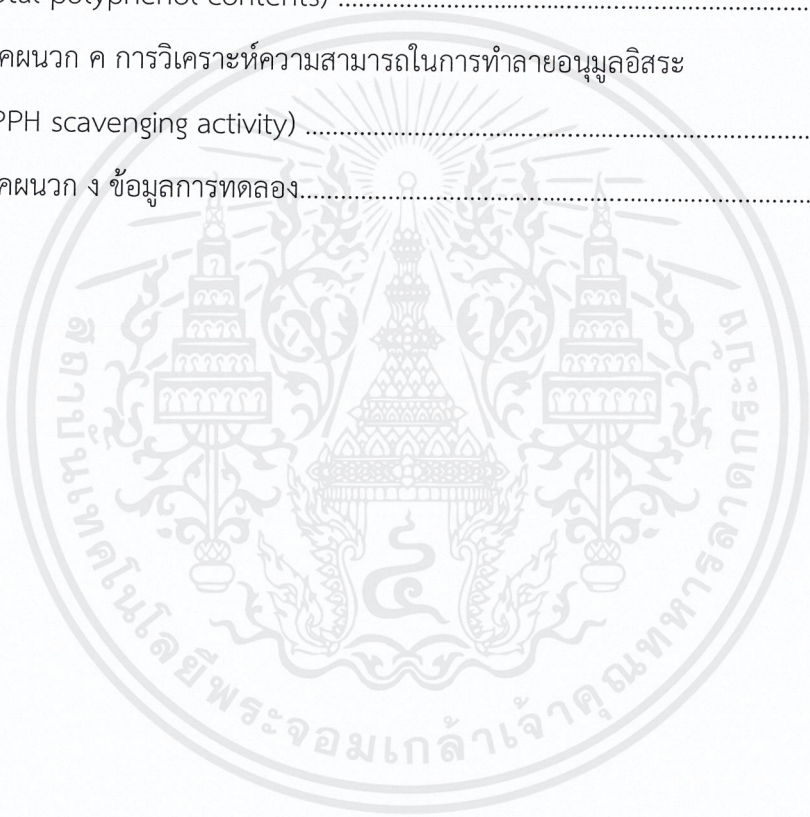
ภาคผนวก..... 50

 ภาคผนวก ก การหาความชื้น (Moisture content)..... 51

 ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด
(Total polyphenol contents) 53

 ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ
(DPPH scavenging activity) 57

 ภาคผนวก ง ข้อมูลการทดลอง..... 59



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณแอนโทไซยานินในผักผลไม้บางชนิด.....	22
2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี,และแคโรทีนอยด์ ในใบอ่อนของผักพื้นบ้าน.....	26
3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 0-120 ไมโครกรัม.....	32



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ผลิตกัณฑ์อาหารที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	9
2.2 ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลที่พบตามธรรมชาติในพืช.....	18
2.3 ปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง 29 พันธุ์.....	19
2.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในกระเจี๊ยบแดง 29 พันธุ์.....	19
2.5 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์.....	24
2.6 ระบบการวัดสีโดยใช้ค่า L, a และ b.....	26
2.7 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ	28
4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบ ระหว่างตัวอย่างสดกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	35
4.2 กราฟแสดงค่า L a b เปรียบเทียบของใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบระหว่าง ตัวอย่างสดกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	37
4.3 กราฟแสดงค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD-value) ในใบเตยก่อนและหลัง กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	39
4.4 กราฟแสดงค่า SPAD-value และระดับสีเขียวของใบไม้.....	40
4.5 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด.....	41
4.6 กราฟแสดงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างสด และตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	42
4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของ สารสกัดจากตัวอย่างระหว่างก่อนและหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อนุมูลอิสระ คืออะตอมหรือโมเลกุล ที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวทำให้โมเลกุลมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาแบบลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายุติปฏิกิริยาลูกโซ่ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการถูกออกซิไดซ์ สารต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิด คือสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ และสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ซึ่งในปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติได้รับความสนใจ เนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติ ทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้ากันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีประโยชน์อย่างมากทั้งสามารถลดความเสี่ยง และช่วยป้องกันโรคเมเร็งได้หลายชนิด เช่น โรคเมเร็งลำไส้ มะเร็งกระเพาะอาหาร มะเร็งเต้านม มะเร็งปอด เป็นต้น โดยพืชผักและผลไม้มีสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่น วิตามินซี วิตามินอี สารประกอบโพลีฟีนอล สารรงควัตถุ (แอนโทไซยานิน, แคโรทีนอยด์) เป็นต้น

กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) หรือการทำแห้งแบบระเหิด (Sublimation Drying) มีชื่อเรียกเฉพาะว่า “Lyophilization” เป็นกระบวนการทำแห้งภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำจึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงคุณค่าทางโภชนาการเนื้อสัมผัสโครงสร้างสี กลิ่นและรสชาติได้ใกล้เคียงกับของสดและยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ให้นานยิ่งขึ้น

จากคุณสมบัติของกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและประโยชน์ของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ทำให้คณะผู้จัดทำเกิดความสนใจศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายและนิยมนำมาใช้ประกอบอาหารทั้งสามชนิด คือ ใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบ ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) แล้ว โดยมีการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ เช่น ความชื้น สี ปริมาณคลอโรฟิลล์ ในใบเตย และวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งสารประกอบโพลีฟีนอล โดยวิธี Folin-Ciocalteu และสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant activity) โดยวิธี DPPH assay

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การส่งเสริมจาก

ประโยชน์ของพืชผักและผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ และสามารถนำไปพัฒนาต่อไปในอุตสาหกรรมเพิ่มทางเลือกใหม่ๆ กับผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่าง ได้แก่ ใบเตย ดอกอัญชัน กระเจี๊ยบแดง

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dry) ต่อสารต้านอนุมูลอิสระและคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เพื่อทราบปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในใบเตย ดอกอัญชันและดอกกระเจี๊ยบแดง ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

1.3.2 เพื่อทราบปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเตยและคุณสมบัติทางกายภาพของใบเตย, ดอกอัญชันและดอกกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุดิบ

2.1.1 กระเจี๊ยบ

กระเจี๊ยบแดง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffavar. sabdariffa* Linn. เป็นพืชในวงศ์ Malvaceae มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Roselle, Rosella หรือ Red sorrel, Jamaica sorrel เป็นพืชสมุนไพรที่ใช้ทำเครื่องดื่ม สีส้มอาหารและยารักษาโรค กระเจี๊ยบแดงเป็นสมุนไพรที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศต่างๆ มีสรรพคุณเพื่อช่วยลดไขมันในเส้นเลือด ลดความดันโลหิต ด้านเชื้อแบคทีเรีย ด้านเชื้อราขับปัสสาวะ แก้ไอ ขับเสมหะ และป้องกันการเกิดนิ่วในกระเพาะปัสสาวะเป็นต้น ในกลีบกระเจี๊ยบแดงมีสารประกอบฟีนอลิก สารanthocyanin และมีกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น ascorbic acid, citric acid, malic acid และ tartaric acid กรดเหล่านี้ทำให้กระเจี๊ยบมีรสเปรี้ยว นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งรวมสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกายหลายชนิดโดยเฉพาะแคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก และวิตามินเป็นต้น สารประกอบฟีนอลิก สารแอนโทไซยานิน และวิตามินซี จะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ

2.1.2 เตยหอม

เตยหอม (*Pandanus palm*) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Pandanusamaryllifolius* Roxb. เป็นพืชวงศ์ Pandaceae เตยหอม ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย และมีสีเขียวของคลอโรฟิลล์ ใบเตยหอมใช้แต่งสีและกลิ่นเครื่องดื่ม ขนมหวาน และอาหารหลายชนิดใบเตยสด มีน้ำมันหอมระเหย รสหวาน หอม มัน และมีสีเขียวที่นิยมใช้แต่งสีอาหาร เป็นสารคอโรฟิลด์ ใช้เป็นยา ใบสดต้มกับน้ำดื่มลดอาการกระหายน้ำ บำรุงหัวใจ ลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดความดันโลหิต ทำให้ชุ่มชื้น ตันและรากเป็นยาขับปัสสาวะ รักษาโรคเบาหวาน และแก้กระษัยน้ำเบาพิการ(นพพล เกตุประสาท, ม.ป.ป.)

2.1.3 อัญชัน

อัญชัน (Butterfly Pea, Blue Pea) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Clitoria tematea* L. วงศ์ LEGUMINOSE-PAPILIONOIDEAE ดอกอัญชันมีสารสำคัญ คือ Genistein มีบทบาทเป็น Antioxidant Antiinflammatory และ Antispasmodic และมีสารสำคัญอื่น เช่น Gernatins Preternatins สีจากดอกอัญชันอยู่ในกลุ่ม แอนโทไซยานิน (anthocyanin) ประกอบด้วยส่วนของ Aglycone เรียกว่า delphinidin และส่วนของน้ำตาลที่เป็นน้ำตาล D-glucose มีคุณสมบัติเพิ่มการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลเวียนของเลือดในหลอดเลือดๆ ทำให้เลือดไปเลี้ยงรากผมและนัยน์ตามากขึ้น สารแอนโทไซยานินนี้จะพบในผลไม้และดอกไม้ที่มีสีน้ำเงิน สีแดง หรือสีม่วง น้ำดอกอัญชันใช้เป็น indicator แทน litmus มีคุณสมบัติล้างพิษ ของเสียต่างๆ ออกจากร่างกายและช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ โรคกระเร็ง ช่วยชะลอความแก่ บำรุงสมอง และต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดน้ำตาลในเลือด ของผู้ป่วยโรคเบาหวานและช่วยทำลายพิษจากอนุมูลอิสระ(อัญชันดอกไม้ที่มากไปด้วยสรรพคุณ, ม.ป.ป.), นอกจากนั้นใน ดอก เมล็ด ใบ และรากของอัญชันยังมีสารต่างๆที่สำคัญอีก เช่น สารอดิโนซีน (adenosine) มีคุณสมบัติช่วยกระตุ้นการเต้นของหัวใจ, สารแอสตรากาลิน (astragalin) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ ลดภาวะการแข็งตัวของหลอดเลือดแดง, สารเคอร์เซติน (quercetin) เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการป้องกันโรคหลอดเลือดและโรคหัวใจ

2.2 การบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dehydration หรือ Lyophilization) หมายถึงการทำแห้ง (dehydration) ด้วยการการแช่เยือกแข็ง (freezing) ให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งก่อนแล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิด (sublimation) เป็นไอ ด้วยการลด ความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศขณะควบคุมให้อุณหภูมิต่ำ (ที่ อุณหภูมิ เท่ากับหรือ ต่ำกว่า $^{\circ}\text{C}$ น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า)

2.2.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับการผลิตอาหารด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ก็เหมือนกับการผลิตอาหารแห้งโดยทั่วไป คือเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เช่น การล้าง การปอกเปลือก การลดขนาดจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการหลักซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

2.2.1.1. การแช่เยือกแข็ง (FREEZING) เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) เพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (ice crystal formation) อัตราเร็วของการแช่เยือกแข็ง (freezing rate) ควรเป็นการแช่แข็งแบบเร็ว เพื่อให้เกิดผลึกที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว ที่นิยมใช้กันมีหลายวิธี เช่น การแช่เยือกแข็งแบบลมเย็นเป่า (air blast freezing) การแช่เยือกแข็งแบบไครโอเจน (cryogenic freezing) และการแช่เยือกแข็งแบบจุ่มในของเหลวเย็นจัด (immersion freezing) เป็นต้น

2.2.1.2 การทำแห้งขั้นต้น (Primary Drying) เป็นการลดปริมาณน้ำ(dehydration)

โดยการระเหิด น้ำแข็งให้เป็นไอโดยการลดความดันบรรยากาศ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งที่อยู่ภายในเกิดการเอกสารถือเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหิดเป็นไอออกไปจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระดับของสุญญากาศ (vacuum) ควรอยู่ต่ำกว่า 132 Pa และ 132 mPa ตามลำดับ การระเหิดของผลึกน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์การระเหิดของชั้นน้ำแข็ง (Ice Layer) จะเริ่มจากชั้นน้ำแข็งบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระเหิดไปเป็นไอทำให้บริเวณนี้กลายเป็นชั้นแห้ง (Dry Layer) จากนั้นเป็นการระเหิดของชั้นน้ำแข็งที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์ ระเหิดผ่านชั้นแห้ง ออกไปสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการระเหิดขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

2.2.1.3 การทำแห้งขั้นที่สอง (Secondary Drying) เมื่อการทำแห้งขั้นต้น เสร็จสมบูรณ์ น้ำแข็งจะละลายไปหมด จะมีความชื้นหลงเหลืออยู่ จึงต้องมีการทำแห้งด้วยการเพ้ออุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อดึงเอาความชื้นที่เหลืออยู่ออกถึงระดับความชื้นที่ปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา

2.2.2 เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

วิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Lyophilization หรือ Freeze Drying) มีการทำงานของเครื่องแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือการแช่แข็งการทำแห้งช่วงที่ 1 และการทำแห้งช่วงที่ 2 โดยมีอุปกรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง คือเครื่องแช่แข็ง (Freezer) ห้องทำแห้ง (Drying Chamber) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum Pump) เครื่องควบแน่น (Condensing Unit) แหล่งกำเนิดความร้อน (Heat Source) และระบบควบคุมทางไฟฟ้า (Control System)

2.2.2.1 เครื่องแช่เยือกแข็ง (Freezer)

เครื่องแช่เยือกแข็ง (Freezer) ที่ใช้กับการทำแห้งแบบเยือกแข็งสามารถแยกประเภทได้ตามลักษณะของวัตถุที่ใช้คือ ผลิตภัณฑ์ของแข็งและของเหลว ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นชิ้นบางชิ้นรูปเป็นเม็ดเป็นของชิ้นหนึ่ง หรือของเหลวบรรจุขวดได้ ดังต่อไปนี้

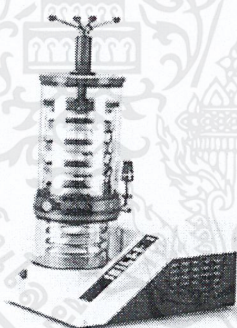
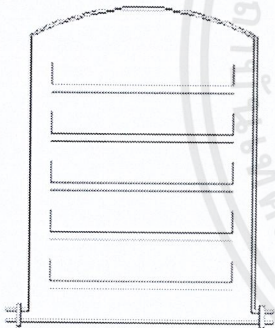
- เครื่องแช่แข็งแบบสัมผัส (Contact Freezer) เป็นการแช่แข็งด้วยการนำความร้อนใช้กับวัตถุดิบที่มีรูปร่างแน่นอนเป็นชิ้นหรือเป็นแผ่นบาง
- เครื่องแช่แข็งแบบลมเป่า (Air-Blast Freezer) เป็นการแช่แข็งด้วยการพาความร้อนใช้กับวัตถุดิบที่มีรูปร่างไม่แน่นอนหรือวัสดุปริมาณมวล (Bulk Solid)
- เครื่องแช่แข็งแบบใบมีดขูดผิว (Scrap Surface Freezer) เป็นการแช่แข็งวัตถุดิบที่มีลักษณะของเหลวชิ้นหนึ่งด้วยวิธีการปาดวัสดุเป็นชิ้นบางให้เคลื่อนที่ผ่านผิวเย็นจัดและสร้างผลึกน้ำแข็งขึ้นอย่างรวดเร็วจากนั้นจึงขูดผลึกออกในช่วงท้าย

- เครื่องแช่แข็งแบบจุ่ม (Immersion Freezer) เป็นการแช่แข็งด้วยการจุ่มวัตถุดิบของแข็งหรือหยดของเหลว (Droplet) ลงในของเหลวเย็นจัดหรือใช้การบรรจุลงขวดนำไปหมุน (Rotate) หรือแกว่ง (Spin) ในของเหลวเย็นจัด
- เครื่องแช่แข็งแบบไคโอเจนิค (Cryogenic Freezer) เป็นการแช่แข็งด้วยสารทำความเย็นเหลวเช่น LN_2 (Liquid Nitrogen) LCO_2 (Liquid Carbon dioxide) หรือ Freon ระบบการป้อนหรือฉีดสารไคโอเจนิคมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเช่นฉีดโดยตรงบนผิวหน้าวัสดุ หรือการฉีดในสภาวะของแข็งไหล (Fluidization)

2.2.2.2 ห้องทำแห้ง

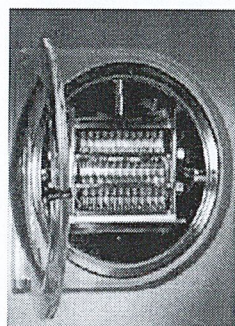
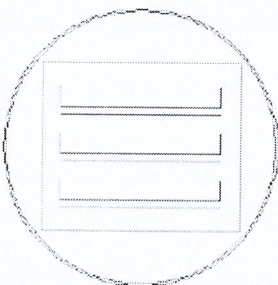
ภายในห้องทำแห้งมีถาด (Trays) บรรจุผลิตภัณฑ์ของแข็งพร้อมชั้นวางหรืออาจเป็นขวด (Vials) บรรจุผลิตภัณฑ์ของเหลววางบนถาด โดยทั่วไปห้องทำแห้ง (Drying Chamber) สำหรับการทำแห้งแบบเยือกแข็งมีอยู่ 3 แบบคือ

- แบบฝาครอบ



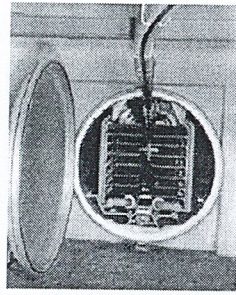
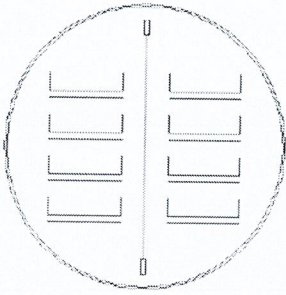
ใช้กับเครื่องระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) มีลักษณะเป็นฝาครอบปิดลงบนถาดและชั้นวางให้แรงดูดจากสุญญากาศช่วยให้ฝาครอบปิดได้อย่างแน่นสนิทการใช้งานเหมาะสำหรับการทดสอบหาเงื่อนไขหรือพฤติกรรมของการทำแห้งผลิตภัณฑ์

- แบบตู้สี่เหลี่ยมหรือทรงกระบอก



ใช้กับเครื่องระดับการค้า (Commercial Scale) ซึ่งมีปริมาณการผลิตปานกลางมีลักษณะเป็นภาชนะทนความดัน (Pressure Vessel) ที่มีถาดและชั้นวางอยู่ภายในการใช้งานเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์เฉพาะด้านซึ่งมีปริมาณไม่มากแต่มีมูลค่าสูงเช่น พืชสมุนไพรวัคซีน

- แบบอุโมงค์



ใช้กับเครื่องระดับอุตสาหกรรม (Industrial Scale) ซึ่งมีปริมาณการผลิตมากมีลักษณะเป็นถาดและชั้นวางเรียงกันหลายๆชุดพร้อมระบบลำเลียงเข้า-ออกอุโมงค์ซึ่งเป็นภาชนะทนความดันเพื่อการผลิตได้อย่างต่อเนื่องการใช้งานเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีอัตราการบริโภคสูง

2.2.2.3 ปัมสุญญากาศ

ปัมสุญญากาศ ทำหน้าที่ลดความดันในระบบให้ต่ำ (ยิ่งต่ำยิ่งดี) เพื่อให้เกิดการระเหิดของน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นตัวกำหนดทิศทางการดูดเอาไอน้ำที่ระเหิดออกมาจากตัวอย่างให้เข้ามายัง Condenser อีกด้วย ปัมสุญญากาศส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กันเป็นแบบที่ใช้น้ำมันได้แก่ ปัมแบบลูกสูบแบบโรตารีแบบรูปแบบสกรูเมื่อนำไปใช้กับการทำแห้งซึ่งไอน้ำระเหิดอยู่ตลอดเวลาจึงต้องมีระบบกำจัดไอน้ำถึง 2 จุดคือเครื่องควบแน่นและระบบกำจัดไอน้ำในตัวปัมสุญญากาศ

ระบบกำจัดไอน้ำ (Gas Ballast) เป็นวิธีกำจัดไอน้ำหรือไอของเหลวที่ละลายอยู่ในน้ำมันปัมสุญญากาศด้วยการเปิดวาล์วให้อากาศภายนอกไหลเข้าไปผสมกับน้ำมันในช่วงอัดของปัมเมื่อไอน้ำถูกอัดตัวรวมกับอากาศความดันย่อยของไอน้ำจะลดลงต่ำกว่าความดันรวมไอน้ำจึงไม่ควบแน่นในน้ำมันและถูกขับออกไปพร้อมกับอากาศวิธีการนี้ช่วยขจัดไอน้ำที่หลงเหลือจากเครื่องควบแน่นได้แต่เกิดความสิ้นเปลืองพลังงานและทำให้ระดับความดันสุญญากาศเพิ่มสูงขึ้นเกินระดับที่เหมาะสมต่อการทำแห้งระบบกำจัดไอน้ำจึงควรเปิดใช้งานบางช่วงเวลาเท่านั้น

2.2.2.4 เครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่นไอน้ำ (Condensing Unit) หมายถึง ระบบดักจับไอระเหิดของน้ำแข็งด้วยวิธีการควบแน่น หรือกลั่นตัวบนพื้นผิวการทำความเย็น ให้เกิดเป็นน้ำแข็งหรือน้ำค้างแข็ง เนื่องจากอุณหภูมิของไอน้ำที่ระเหิดออกจากผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิเท่ากับจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์นั้นๆ การควบแน่นไอระเหิดหรือการดักจับไอน้ำจึงต้องอาศัยตัวกลาง ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าไอระเหิด (อย่างน้อย 20 องศาเซลเซียส)

2.2.2.5 แหล่งความร้อน

การให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ในการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ใช้วิธีการเพิ่มระดับอุณหภูมิขึ้นอย่างช้าๆ ให้สัมพันธ์กับอัตราการทำแห้ง และข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำได้สมบูรณ์ขึ้น ส่วนมากแหล่งความร้อน (Heat Source) ที่ใช้มักเป็นการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน

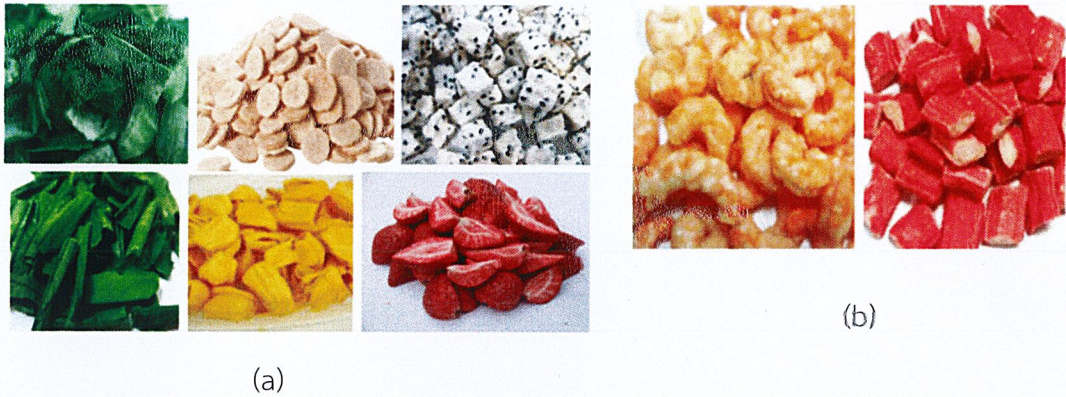
การนำความร้อนจะให้ความร้อนบริเวณก้นภาชนะด้วยขดลวดความร้อน (Electrical Heater) หรือน้ำมันร้อน (Hot Oil) ซึ่งให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอ และเกิดเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ส่งผลให้อัตราการทำแห้งต่ำ ส่วนการแผ่รังสีให้ความร้อนบริเวณผิวหน้าผลิตภัณฑ์ด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared) หรือไมโครเวฟ (Microwave) ซึ่งสามารถให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ได้อย่างทั่วถึงและมีอัตราการทำแห้งสูงกว่าการให้ความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อน

2.2.3 การประยุกต์การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในอุตสาหกรรม

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เหมาะกับอาหารที่ไวต่อการสูญเสียคุณภาพและคุณค่าอาหารด้วยความร้อน เช่น ผัก ผลไม้ สมุนไพร อาหารทะเล อาหารที่ต้องการรักษา และมีคุณสมบัติในการคืนสภาพได้ดี นอกจากนั้นยังมีการนำไปประยุกต์ใช้กับงานหลากหลายประเภทไม่ว่าจะเป็นด้านการเกษตร เครื่องสำอาง เกษษกรรมหรือการแพทย์ โดยส่วนมากเน้นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงหรือมีความจำเป็นต่อการผลิตในเชิงเทคนิคซึ่งมีรายละเอียดของการประยุกต์ใช้วิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งกับงานประเภทต่างๆดังต่อไปนี้

- ผลิตภัณฑ์อาหาร

การผลิตอาหารสำหรับนักบินอวกาศเป็นจุดเริ่มต้นของการทำแห้งอาหารแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ด้วยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา มีการคั่นตัวที่รวดเร็วสามารถรักษารูปร่างกลิ่นรสและสารอาหารได้ใกล้เคียงกับของสด ปัจจุบันการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแทบทุกชนิด ผักผลไม้ สมุนไพร เมล็ดพืช เนื้อสัตว์ อาหารทะเล ฯลฯ ถูกนำมาทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในหลากหลายรูปแบบทั้งอาหารสด อาหารปรุงสำเร็จพร้อมบริโภคและผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการบริโภคในชั่วโมงเร่งด่วนหรือการเดินทางไกลโดยได้รับกลิ่นรสทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับการบริโภคอาหารสดอาหารทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้จึงสะดวกต่อการจัดเก็บการขนส่งหรือสามารถขยายตลาดการค้าไปยังประเทศที่ห่างไกลได้



ที่มา : http://www.arisupproducts.com/?page_id=2169

ภาพที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

- (a) ผักผลไม้ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
- (b) กุ้งและปูดที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ข้อดีของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นการทำให้แห้งขณะที่อาหารมีอุณหภูมิต่ำจึงลดการสูญเสียของอาหารเนื่องจากความร้อน ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทำให้ได้อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูง มีการคืนตัว (rehydration) ที่ดี รักษาคุณภาพอาหารเช่น สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของอาหารได้ดีเมื่อเทียบกับวิธีการทำแห้ง แบบอื่น เช่น การทำแห้งแบบพ่นละออง (spray drier) การทำแห้งด้วยลมร้อน เช่น ตู้อบลมร้อน (Tray drier, carbinet drier) แต่มีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่ใช้ลมร้อนทั่วไป

• ผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรม

ผลิตภัณฑ์ด้านเภสัชกรรมและผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ส่วนมากเกี่ยวข้องกับโครงสร้างระดับโมเลกุล ซึ่งจำเป็นต้องรักษาองค์ประกอบและการเกิดปฏิกิริยาของสารซึ่งค่อนข้างไวต่อการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน ดังนั้นการทำแห้งแบบเยือกแข็งจึงถูกนำมาใช้กับการเตรียมตัวอย่างและผลิตด้วยทางเภสัชกรรม และการแพทย์จำพวกโปรตีน ฮอร์โมน เอมไซม์ วัคซีน แบคทีเรีย ยีสต์ สารปฏิชีวนะรวมไปถึงการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

• ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางนิยมใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติดังนั้นการทำแห้งแบบเยือกแข็งจึงถูกนำมาใช้เพื่อช่วยรักษาคุณค่าของสารชีวภาพจากธรรมชาติ ซึ่งนอกจากการระเหิดน้ำแล้วยังสามารถระเหิดสารทำลายอินทรีย์ในกรณีของการสกัดสารได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (free radical) คือ โมเลกุล หรืออนุภาคที่ไม่เสถียร เนื่องจากการสูญเสีย หรือรับอิเล็กตรอน(electron) มาอีกหนึ่งตัว ปกติธาตุต่างๆ ที่อยู่โมเลกุลที่เสถียรต้องมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนคู่ อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี อนุมูลอิสระนี้สามารถผลิตขึ้นเองในร่างกายจากกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายในการฆ่าเชื้อโรคของเม็ดเลือดขาว และระบบส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ (single transduction) นอกจากนี้อนุมูลอิสระยังเกิดจากการได้รับสารเคมี สารพิษจากสิ่งแวดล้อม รังสี ยาบางชนิด อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่ไม่คงตัว จึงมีความไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ เช่น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิก และสารพันธุกรรม ผลจากการทำปฏิกิริยาทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์เสียหาย และเซลล์อาจถูกทำลายได้ในที่สุด หากเป็นการทำลายหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดีเอ็นเอทำให้มีการสร้างยีนที่ผิดปกติจนอาจกลายเป็นเซลล์มะเร็ง หรือส่งผลให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้

สารต้านอนุมูลอิสระ(antioxidant) อิสระคือสารที่มีหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในที่นี้รวมถึงสารที่สามารถยับยั้งและควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์

2.3.1 ประเภทของสารต้านอนุมูลอิสระ

- Primary antioxidant สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ได้แก่สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึงสารโทโคฟีรอลธรรมชาติและสังเคราะห์ (Natural and synthetic tocopherol) alkylgallate, BHA, BHT, TBHQ และอื่นๆซึ่งสารในกลุ่มดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน
- Oxygen scavenger สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้
- Secondary antioxidant สารในกลุ่มนี้ได้แก่ dilaurylthiopropionate และ thiopropionic acid ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ lipid hydroperoxide ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

- Enzymic antioxidant สารในกลุ่มนี้ได้แก่เอนไซม์ต่างๆซึ่งแบ่งเป็น primary antioxidant enzyme และ auxiliary antioxidant enzyme สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจน หรืออนุพันธ์ของออกซิเจน โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
- Chelating agent หรือ sequestrant สารในกลุ่มนี้เช่นกรดซิตริกกรดอะมิโนเป็นต้นสารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะเช่นเหล็กและทองแดงซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริมและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร

2.3.2 กลไกในการทำงานของสารแอนติออกซิแดนต์

2.3.2.1. เข้าจับกับ oxygen-derived species โดยใช้เอนไซม์หรือเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอนุมูลอิสระ

2.3.2.2. ลดการเกิดของ oxygen-derived species

2.3.2.3. เข้าจับไอออนโลหะ เพื่อทำให้ปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแปลง reactive species ลดลง เช่น O^{2-} และ H_2O_2 ส่งผลให้เกิด OH ได้น้อยลง

2.3.2.4. ช่วยซ่อมแซมส่วนที่ถูกทำลาย

2.3.2.5. ทำลายโมเลกุลที่ถูกทำลายและเติมโมเลกุลใหม่เข้าไปแทนที่ ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นกลไกในการป้องกันและควบคุมอนุมูลอิสระโดยการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) และช่วยซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระ

2.3.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity determination)

วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ ในแต่ละประเภทจะมีหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีมีความจำเพาะแตกต่างกัน โดยปกติมักใช้หลายวิธีร่วมกันในการตรวจสอบและสรุปผล

2.3.3.1 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงคุณภาพเป็นการทดสอบเพื่อหาชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่างโดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่น การทำให้เกิดสีการทำให้เกิดตะกอนความสามารถของการละลายในตัวทำละลาย และการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่นิยมได้แก่ การตรวจวัดสารโพลีฟีนอลชนิดต่างๆ (เช่น Shinoda test และ Pew test) โครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง (thin layer chromatography, TLC) และการตรวจหาสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆโดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC)

2.3.3.1.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารโพลีฟีนอลชนิดต่างโดยการทำให้เกิดสี (colorimetric assay) เป็นวิธีการนำสารเคมีชนิดต่างๆมาทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างและดูสีที่เกิดขึ้นหลังจากการเกิดปฏิกิริยาตัวอย่างของวิธีนี้ได้แก่

- วิธี Shinoda test เป็นการทดสอบปฏิกิริยากับไซยานิดินส์ (cyanidins reaction) โดยการทำปฏิกิริยาของสารตัวอย่างกับผงแมกนีเซียมหรือวงแหวนแมกนีเซียม (magnesium ribbon) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นและออกทิลแอลกอฮอล์ (octyl alcohol) ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกชั้นถ้าเกิดสีแดงแสดงว่ามีสารจำพวก ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาโวนอน (flavanone) ฟลาโวนอล (flavanonol) หรือแซนโทน (xanthone) หรือถ้าเกิดสีแดงแสดงว่ามีสารจำพวกฟลาโวน (flavones) ชาลโคน (chalcone) หรือออโรน (ourone)

- วิธี Pew test เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับผงสังกะสี (zinc dust) และกรดไฮโดรคลอริกถ้าเกิดสีแดงเข้มภายใน 2-5 นาทีแสดงว่ามีสารฟลาโวนอล (flavanonol) และฟลาโวนอล-3-ไกลโคไซด์ (flavonol-3-glycoside) แต่ถ้าเป็นสีจางๆแสดงว่ามีสารฟลาโวนอน (flavanone) และฟลาโวนอล (flavonol)

วิธีการทั้งสองมีข้อดีคือทำได้หลายตัวอย่างพร้อมกันขั้นตอนไม่ยุ่งยากไม่ซับซ้อนและใช้ต้นทุนต่ำในการวิเคราะห์สารตัวอย่างแต่มีข้อเสียคือมีความไว (sensitivity) และความแม่นยำ (precision) ต่ำและเหมาะสมสำหรับวิเคราะห์สารตัวอย่างที่บริสุทธิ์เพราะสารหลายๆชนิดอยู่ด้วยกันสีที่เกิดขึ้นสามารถรบกวนกันได้

2.3.3.1.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารโพลีฟีนอลด้วยวิธีโครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง (thin layer chromatography, TLC) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารและวิเคราะห์สารโพลีฟีนอลในเชิงคุณภาพ (qualitative analysis) โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของสารด้วยตัวทำละลายหรือตัวพา (mobile phase) กับการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ (adsorbent หรือ stationary phase) ข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อยวิเคราะห์สารหลายชนิดได้พร้อมกัน ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น ขั้นตอนไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้ต้นทุนต่ำในการวิเคราะห์ตัวอย่างสามารถแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่างได้ทั้งที่มีสีและไม่มีสี แต่มีข้อเสียคือมีความไวและความแม่นยำต่ำ

2.3.3.1.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆโดยใช้เครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) ใช้หลักการคล้ายกับเทคนิคของ TLC โดยเครื่อง HPLC มีส่วนของปั๊มมาช่วยให้ตัวทำละลายหรือเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) และตัวดูดซับหรือเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) บรรจุเป็นทรงกลมเล็กๆหรือเรียกว่าคอลัมน์ (column) โดยสารเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 12

ตัวอย่างแต่ละชนิดจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ หรือ stationary phase ได้แตกต่างกันคอลัมน์ต่างชนิดกันแยกสารได้แตกต่างกัน ซึ่งสารที่ถูกดูดซับได้น้อยจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาก่อนส่วนสารที่ถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาทีหลัง ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์สารหลายชนิดได้พร้อมกันและวิเคราะห์สารได้ในปริมาณต่ำๆ แต่มีข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากเครื่อง HPLC มีราคาค่อนข้างแพง

2.3.3.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ในรูปกรดแกลลิก) เป็นการทดสอบสารฟีนอลทั้งหมดโดยใช้สาร folin-ciocalteu reagent ทำปฏิกิริยากับตัวอย่างสารละลายและทำการเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

2.3.3.2 วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างประเภทต่างๆ วิธีที่นิยมได้แก่ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอช (DPPH) วิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS) และการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP assay)

2.3.3.2.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอช (diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay)เป็นการทดสอบด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระ ในที่นี้ก็คืออนุมูลอิสระดีฟิฟิเอช (DPPH, diphenylpicrylhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัวและมีสีม่วงสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรเมื่อ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายด้วยเอทานอล (สารที่ให้อิเล็กทรอนิกส์) จะทำให้สีม่วงจางลงๆ จนเป็นสีเหลืองซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องตั้งทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทำให้สามารถหาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้ สูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ
$$DPPH = \left(1 - \left(\frac{A_{sample}}{A_{control}}\right)\right) \times 100 \text{ — (2.1)}$$

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระคือ โทรล็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid)แสดงค่าเป็น TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) มีหน่วยเป็น mM/mg หรือ μM/mg ข้อดีของวิธีนี้คือ ง่ายสะดวกและ

รวดเร็ว ส่วนข้อเสียคือ DPPH ค่อนข้างเสถียรไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายจริงจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้าทำให้ค่าการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง

2.3.3.2.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS radical cation decolorization assay) เป็นวิธีการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical) เป็นสารสังเคราะห์ที่มีสีเขียวปนน้ำเงิน สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 734 นาโน ซึ่งวิธีการคำนวณและการเทียบกับสารมาตรฐาน trolox กระทำเช่นเดียวกับวิธี DPPH ข้อดีของวิธีการนี้คือ ABTS ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ จึงทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH กว้าง ส่วนข้อเสียคือ ABTS ไม่เป็นสารธรรมชาติที่พบในร่างกายหรือในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และต้องมีการทำปฏิกิริยากับสารอื่นก่อนถึงจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระ

2.3.3.2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay) วิธีการนี้อาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Fe(III)(TPTZ)}]^{3+}$ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็น $[\text{Fe(II)(TPTZ)}]^{2+}$ ซึ่ง $[\text{Fe(II)(TPTZ)}]^{2+}$ มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตรปริมาณของ $[\text{Fe(II)(TPTZ)}]^{2+}$ ที่เกิดขึ้นสามารถประมาณความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ในรูป FRAP value เทียบกับกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต (FeSO_4) วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่ายใช้เวลาไม่นานไม่แพงและสามารถทำซ้ำแล้วให้ผลเหมือนเดิม แต่ข้อเสียคือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะร่างกายและสารละลายที่ใช้อ้างอิงต้องใช้น้ำปราศจากไอออน (deionized water)

2.3.4 ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากพืช ผัก เครื่องเทศ ฝรั่งและสมุนไพร ได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างกว้างขวางเนื่องจากกระแสเรื่องความปลอดภัยของสารสกัดจากธรรมชาติโดยสารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดได้แก่

2.3.4.1 สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ (Synthetic antioxidants) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอันเป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่นสีและรสชาติที่เปลี่ยนไป สารสังเคราะห์เหล่านี้มีประสิทธิภาพและความคงตัวสูงกว่าสารสกัดจากธรรมชาติแต่มีข้อจำกัดของการใช้เนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค เช่น

- Butylatedhydroxyanisole เรียกว่า BHA เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ป้องกันการหืน ของไขมันและน้ำมัน จากปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด
- Butylatedhydroxytoluene หรือเรียกว่า BHT เป็นสารประกอบฟีนอล (phenolic compound) ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ใช้เป็นสารต้านออกซิเดชัน ป้องกันการหืน ของไขมันและน้ำมันจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด เช่นเดียวกับBHA มักผสมรวมกับวัตถุกันหืนชนิดอื่น เพื่อเสริมให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นใช้กับ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์สัตว์ น้ำมันหอมระเหย เป็นต้น
- Tertiary Butyl Hydro Quinone เรียกว่า TBHQ เป็นวัตถุเจือปนอาหาร มี E-number คือ E319 เป็น phenolic compounds ใช้เพื่อเป็นสารกันหืน ป้องกันการหืน ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด

2.3.4.2 สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ (Natural antioxidants) สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้พบได้ทั้งในจุลินทรีย์และพืช เช่น

- วิตามินอี(Vitamin E) เป็นวิตามินชนิดที่ละลายในไขมัน วิตามินอียังมีอีกชื่อเรียกอีกอย่างว่า โทโคฟีรอล(tocopherol) วิตามินอี จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กได้ต้องอาศัยพวกเกลือน้ำดี และไขมันช่วยในการดูดซึม วิตามินอีในร่างกายมักสะสมตามกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อไขมันส่วนเนื้อเยื่ออื่นๆจะมีวิตามินอีอยู่เพียงเล็กน้อย ประโยชน์ของวิตามินอีคือ ทำให้เม็ดเลือดแดงแข็งแรง ไม่เป็นหมัน ป้องกันแท้ง และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการหืน แหล่งที่พบ เช่น ผักใบเขียว เมล็ดธัญพืช จมูกข้าวข้าวสาลี ข้าวกล้อง ข้าวเหนียว น้ำมันพืชโดยเฉพาะน้ำมันปาล์ม และถั่วเมล็ดแห้ง ไข่แดง ไขมันนม
- กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือวิตามินซี (VitaminC) แหล่งที่พบมาก ได้แก่ ในผักและผลไม้สด เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม (citrus), ฝรั่ง, เชอร์รี่, มะขามป้อม, ผักบุ้งจีน การผลิตเพื่อการค้าผลิตได้จากการหมักน้ำตาลกลูโคสด้วยแบคทีเรีย ตามด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันวิตามินซี เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ยังช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายได้อย่างดีวิตามินซี และวิตามินซียังเป็นตัวเสริมพลังให้กับวิตามินอีในการต่อสู้กับอนุมูลอิสระอีกด้วย

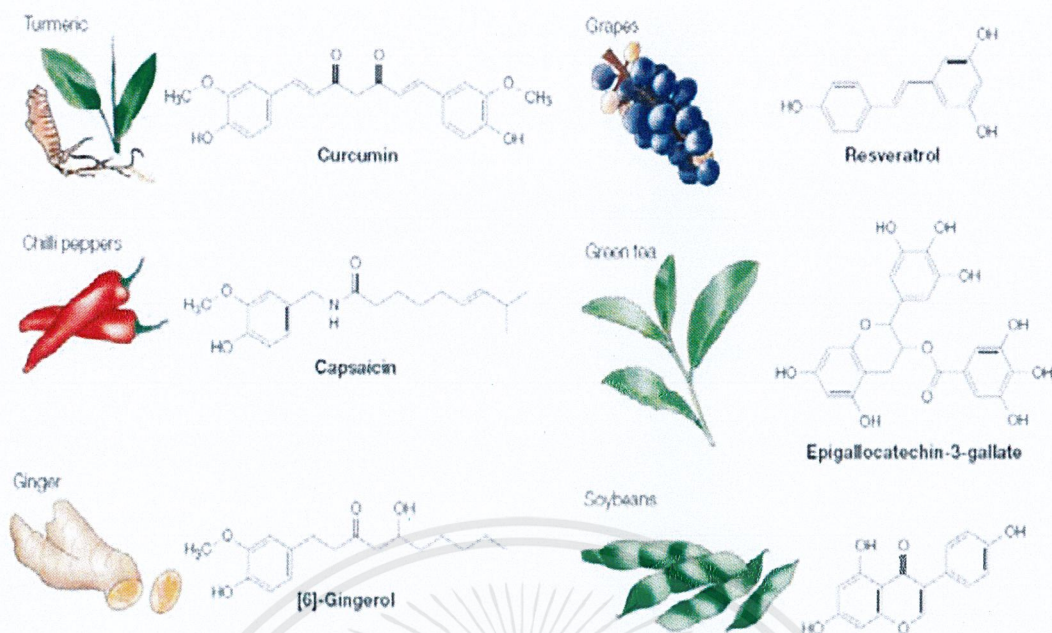
- จินเจอร์อล(gingerol) มีองค์ประกอบสำคัญซึ่งแสดงสมบัติต้านออกซิเดชันที่พบมากในขิง (ginger) สารประกอบในกลุ่ม gingerol ประกอบด้วย 4,6,8 และ 10- ingerol โดยสารที่มีปริมาณมากที่สุดคือ 6-gingerol ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ทำให้กลิ่นฉุน รสเผ็ด สามารถยับยั้งอาการปวดและป้องกันการอักเสบได้
- ยูจินอล(eugenol) พบในกานพลู, ตะไคร้, ใบกระเพรา ยูจินอลมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ทำลายเชื้อราและแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสีย รวมทั้งจุลินทรีย์ก่อโรค หลายชนิด
- ไอโซฟลาโวน(isoflavone) เช่น เจนิสทิน(genistein) ช่วยยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง โดยการป้องกันการเติบโตของเส้นเลือดใหม่ที่ไปหล่อเลี้ยงเซลล์มะเร็งและอาจช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งเต้านม และมะเร็งต่อมลูกหมาก พบตามธรรมชาติในอาหาร เช่น ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง เช่น เต้าหู้ เต้าเจี้ยว ถั่วเน่า น้ำเต้าหู้ นอกจากนี้ยังพบในถั่วเมล็ดแห้ง (legume) ชนิดอื่น เช่น ถั่วเขียว ถั่วลันเตา
- แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นรงควัตถุสีเหลือง ส้ม แดง และส้ม-แดง พบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ทำงานร่วมกับคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเขียว ทำหน้าที่ดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อการสังเคราะห์แสงและช่วยการเจริญเติบโตของพืช และป้องกันอันตรายจากแสง ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติ เป็นกลุ่มสารที่มีมีประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกาย ช่วยต้านอนุมูลอิสระ แคโรทีนอยด์ในอาหารธรรมชาติมีประมาณ 600 ชนิด ที่พบมากมี 6 ชนิด คือแอลฟา-แคโรทีน (alpha-carotene), บีตา-แคโรทีน(beta-carotene), บีตา-คริปโตแซนทิน(beta-cryptoxanthin), ไลโคพีน (lycopene), ลูทีน(lutein), ซีแซนทิน (zeaxanthin)
- สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ซึ่งถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลที่พบตามธรรมชาติในพืช
 - โพลีฟีนอล (Polyphenol) เป็นสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) สารที่อยู่ในกลุ่มของโพลีฟีนอล (Polyphenol) เช่น
 - ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในกระแสเลือดช่วยให้เม็ดเลือดไม่จับตัวเป็นก้อนจนอุดตัน ป้องกันการเกิดมะเร็งเป็นสารต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังเป็นสารต้านอาการแพ้ ด้านไวรัสด้านการอักเสบ แต่สิ่งที่น่าสนใจมากที่สุดคือคุณสมบัติในการเป็นสารแอนติออกซิเดนท์ โดยสารฟลาโวนอยด์ (flavonoid) มีความสามารถในการลดการเกิดอนุมูลอิสระ หรือหากเกิดมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นแล้วฟลาโวนอยด์ก็สามารถกำจัดได้ พบมากในไวน์และชาซึ่งมี แคทีชิน (catechin) เป็นสารประเภทโพลีฟีนอล (polyphenol) ในกลุ่มสารฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระประเภทหนึ่ง

- แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุหรือสารสี ที่ให้สีแดง ม่วง และน้ำเงิน ใช้เป็นสีธรรมชาติในอาหาร สารสกัดแอนโทไซยานิน มีสมบัติเป็นโภชนเภสัช (nutraceutical) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจและเส้นเลือดอุดตันในสมองด้วยการยับยั้งไม่ให้เลือดจับตัวเป็นก้อน ชะลอความเสื่อมของดวงตา ช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค อีโคไล (*Escherichiacoli*) ในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคท้องร่วงและอาหารเป็นพิษ ด้วยแหล่งของแอนโทไซยานิน ได้แก่ มันเทศสีม่วง, ชมพู่มะเหมียว, ชมพู่แดง, ลูกหว่า, ข้าวแดง, ข้าวนิล, ข้าวเหนียวดำ, ถั่วแดง, ถั่วดำหอมแดง, เผือก, หอมหัวใหญ่สีม่วง, มะเขือม่วง, พริกแดง, องุ่นแดง-ม่วง, แอปเปิลแดง, บลูเบอร์รี่, เชอร์รี่, แบล็กเบอร์รี่, ราสเบอร์รี่, สตรอเบอร์รี่, ดอกไม้ เช่น กระเจี๊ยบแดงและดอกอัญชัน เป็นต้น
- สารแซนโทน (xanthone) พบมากในเนื้อมังคุดและเปลือกของมังคุดโดยพบว่าในธรรมชาตินั้นมีสาร xanthone แตกต่างกันไปถึง 200 ชนิดที่ถูกรับพบในผลไม้และสมุนไพรอื่นๆ ซึ่งมีสารแซนโทนอยู่บ้าง แต่ก็ไม่มากเหมือนที่ถูกรับพบในมังคุดอย่างเดียว ที่มีสารแซนโทนมากกว่า 40 ชนิด สารดังกล่าวมีคุณค่ามากมายซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย สามารถรักษาอาการติดเชื้อจากแบคทีเรีย, ออกฤทธิ์ฆ่าเซลล์มะเร็งและหยุดยั้งการเจริญเติบโตของเนื้องอกรวมทั้งสามารถต้านเชื้อไวรัสได้

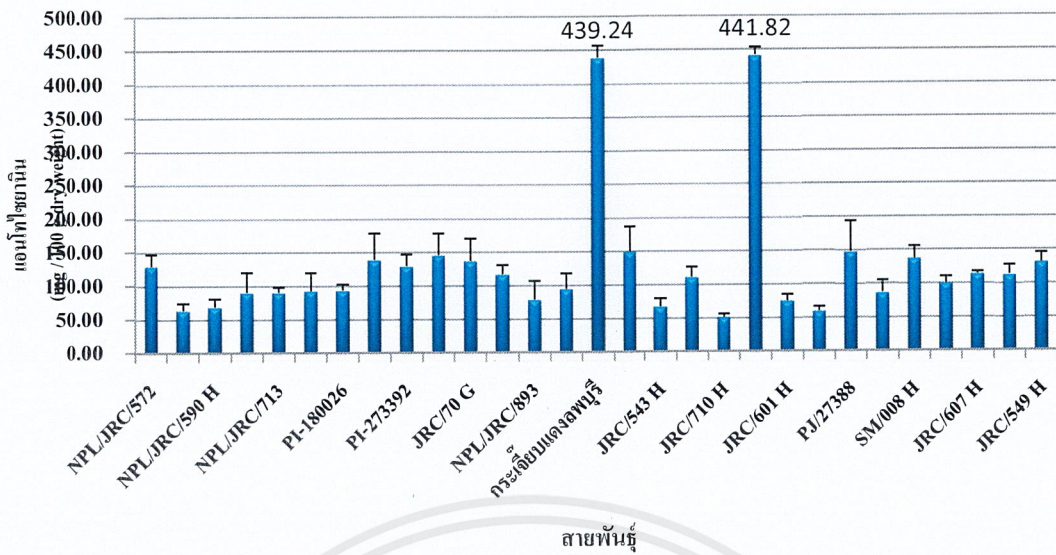
143485



ที่มา http://isnff.org/files/ISNFF_Newsletter_March_2011-1.pdf

ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างของสารประกอบฟีนอลที่พบตามธรรมชาติในพืช

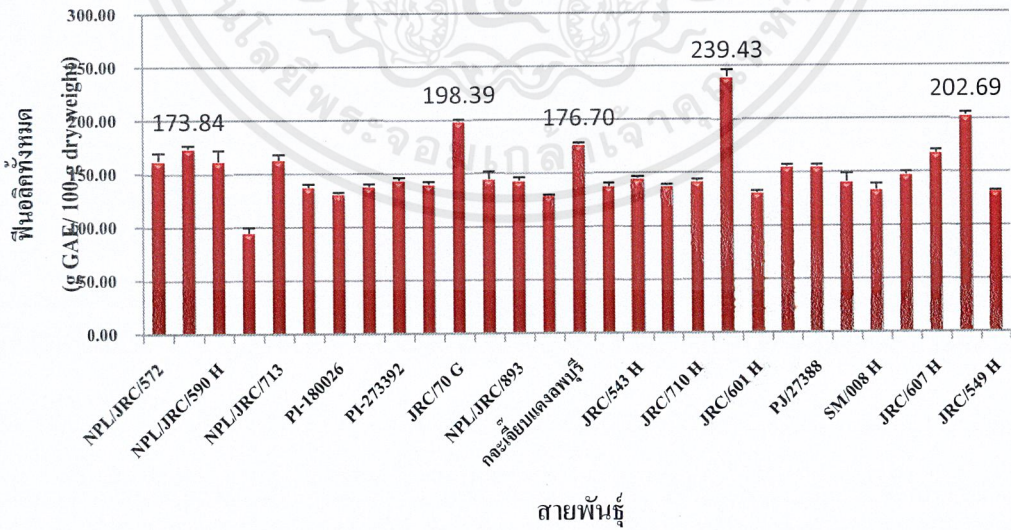
สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคจึงมีการศึกษาค้นคว้า ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ในกระเจี๊ยบแดง ซึ่งเป็นพืชที่มีสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น สารแอนโทไซยานินสารประกอบฟีนอลิก และวิตามินซีในปริมาณมาก แคล้มและคณะ(2553) จึงได้ศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกลีบกระเจี๊ยบแดงแห้ง ได้แก่ สารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกของกระเจี๊ยบแดง 29 พันธุ์/สายพันธุ์ พบว่าปริมาณสารแอนโทไซยานินของกระเจี๊ยบแดงทั้ง 29 พันธุ์มีค่าอยู่ระหว่าง 51 - 442 mg/100g น้ำหนักแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 127 mg/100g น้ำหนักแห้ง



ที่มา : แฉล้มและคณะ.2553

ภาพที่ 2.3 ปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจียบแดง 29 พันธุ์

ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลิกอยู่ระหว่าง 94-239 GAE (gallic acid equivalent) mg/100g น้ำหนักแห้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 152 GAE mg/g น้ำหนักแห้ง



ที่มา : แฉล้ม และคณะ.2553

ภาพที่ 2.4 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในกระเจียบแดง29 พันธุ์

ซึ่งจะเห็นว่าจากการศึกษาของแฉล้มและคณะ(2553) กระเจี๊ยบแต่ละพันธุ์จะมีปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกแตกต่างกันพันธุ์กระเจี๊ยบแดงที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกสูง จะมีลักษณะกลีบหนา มีน้ำหนักรากมาก สีแดงเข้ม ส่วนพันธุ์ที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกน้อย จะมีลักษณะกลีบบาง น้ำหนักเบา สีแดงบางพันธุ์/สายพันธุ์มีจุดประบนกลีบเป็นสีเขียว ความแตกต่างของปริมาณสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลิกของพันธุ์ต่างๆ ส่วนหนึ่งอาจจะเกิดจากความไม่สม่ำเสมอ/แก่อ่อนต่างกันของอายุเก็บเกี่ยวของกลีบกระเจี๊ยบนอกจากนี้ พีเอชของหมูมิแสงและเวลายังมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินอีกด้วย โดย Mason *et al.* (2007) รายงานปริมาณสารฟีนอลิกในผลบลูเบอร์รี่ 4 พันธุ์จากนิวซีแลนด์ว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 230-297 mg GAE/100 g และ Prior *et al.* (1998) รายงานปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลบลูเบอร์รี่ (Bliberryหรือ European blue berry)ว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 300-698 mg/100 g จึงสามารถสรุปได้ว่า กระเจี๊ยบแดงบางพันธุ์ มีสารต้านอนุมูลอิสระ ใกล้เคียงกับผลบลูเบอร์รี่

นอกจากมีการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบเตยสามารถนำมาใช้ในการเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidative properties) ป้องกันการเหม็นหืนของน้ำมันปาล์มคือนำใบเตยมาสกัดด้วย ethanol ด้วยอัตราส่วน 1:10 ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงจากนั้นนำมาเติมในน้ำมันปาล์ม (ที่ 0.1 %, 0.2 %, 0.3 % และ 0.4 %) ทำการให้ความร้อนน้ำมันที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 0, 8, 16, 24 และ 32 ชั่วโมงจากนั้นนำมาตรวจหา antioxidant activity ในรูปของ DPPH radicals ผลการทดลองพบว่า การเติมสารสกัดจากใบเตยที่ 0.2 % สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเหม็นหืนได้ดีที่สุดและการที่สารสกัดใบเตยสามารถยับยั้งการเกิดการเหม็นหืนก็เนื่องจากในสารสกัดใบเตยมีสาร polyphenol อยู่ประมาณ 102 mg/g ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระได้

2.4 รงควัตถุ (Pigment)

สีอาหารมีความสำคัญเพราะเป็นสิ่งที่ชวนให้อยากรับประทานหรือปฏิเสธอาหารนั้น เพราะสีของอาหารบ่งบอกถึงคุณภาพต่าง ๆ เช่น บอกความสด ความเก่าแก่ หรือการเน่าเสีย เป็นต้น สารสีธรรมชาติเกิดจากการสังเคราะห์ในเซลล์พืชหรือสัตว์พบในไซโทพลาซึมบางครั้งกระบวนการถนอมและแปรรูปอาหารทำให้สารสีธรรมชาติเสื่อมเสียไปจึงทำให้สีจางลง หรือสีเปลี่ยนไป จึงทำให้มีการสังเคราะห์สารเคมีบางชนิดใช้เป็นสีผสมอาหาร สารสีธรรมชาติแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้คือ

- สารสีที่มีโครงสร้างของวงไพโรล 4 วง (tetrapyrrole) ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ซีเอ็มและเม็ดสีในน้ำดี
- สารสีที่มีโครงสร้างแบบไอโซพรีนเช่นเช่นสารแคโรทีนอยด์
- สารสีที่มีโครงสร้างแบบเบนโซไฟรอนคือแอนโทไซยานินและฟลาโวนอยด์
- สารสีกลุ่มปีตาไซยานินหรือปีตาเลน

รงควัตถุเหล่านี้ใช้เป็นสารให้สี (coloring agent) ในอาหารได้ เช่น สกัดสีเขียวจากใบเตย หรือสีม่วงจากดอกอัญชัน เป็นต้น

2.4.1 สารแอนโทไซยานิน

แอนโทไซยานิน (anthocyanins) เป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ (water-soluble pigments) จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่างโดยมีสีน้ำเงินเข้มในสภาวะที่เป็นด่าง (pH มากกว่า 7) มีสีม่วงเมื่อเป็นกลาง (pH 7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงส้มในสภาวะที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 7) สามารถพบแอนโทไซยานินได้ทั่วไปในแควคิวโอลและเซลล์เนื้อเยื่อชั้นนอกของดอกผลและใบของพืชดอก (angiosperms) ยกเว้นในพืชพวกตะบองเพชร ผักกาด หัวผักขม และพืชพวกสาหร่าย บางครั้งปรากฏในส่วนเนื้อเยื่อพืช (plant tissue) ได้แก่รากหัวใต้ดินของพืช (tuber) ลำต้นหน่ออ่อน (bulbil) และพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperms) ต่างๆ เช่นเฟิร์นและไบโอไฟต์ (bryophytes) นอกจากแอนโทไซยานินจะทำให้ดอกไม้มีสีสันสวยงามแล้วยังช่วยป้องกันพืชไม่ได้รับอันตรายจากสิ่งแวดล้อมและแมลงต่างๆ แอนโทไซยานินจากธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้หลายชนิด แต่ที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันคือ คุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) จึงมีแนวโน้มนำมาประยุกต์ใช้ในด้านสุขภาพและความงามโดยช่วยลดการเกิดริ้วรอยของผิวจากรังสียูวีและมลภาวะอีกทั้งช่วยป้องกันเซลล์เส้นผมไม่ให้อ่อนแอและทำให้เส้นผมเงางามแข็งแรง (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2556)

จากตารางที่ 2.1 ปริมาณแอนโทไซยานินในผักผลไม้บางชนิด (นิสรารัตน์, (2011)) พบว่าในข้าวโพดสีม่วงมีปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดถึง 1642 กรัม/น้ำหนัก 100 กรัม รองลงมาเป็นเมล็ดทับทิมคั้นน้ำสด มีปริมาณแอนโทไซยานิน 600-765 กรัม/น้ำหนัก 100 กรัม และจากการศึกษาปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงแห้งของแฉล้มและคณะ (2553) มาเปรียบเทียบกับปริมาณ

แอนโทไซยานินในผักผลไม้บางชนิด พบว่าปริมาณแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงแห้งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 127 mg/100g น้ำหนักแห้งซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณปริมาณแอนโทไซยานินในบลูเบอร์รี่และแบล็กเบอร์รี่

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแอนโทไซยานินในผักผลไม้บางชนิด

ชนิดของผักผลไม้	ชื่อภาษาอังกฤษ	ปริมาณแอนโทไซยานิน (กรัม) ต่อน้ำหนัก 100 กรัม
แอปเปิ้ลแดง	Apple, Red Delicious	1.3 - 12
ถั่วดำ	Black Bean	24.1 - 44.5
แบล็กเคอร์เร้นท์	Black Currant	130 - 476
แบล็กโอลีฟ	Black Olives	42 - 228
ข้าวเหนียวดำ	Black Rice	10 - 493
แบล็กเบอร์รี่	Blackberry	82.5 - 325.9
บลูเบอร์รี่	Blueberry	25 - 495
เชอร์รี่	Cherry	2 - 450
มะเขือยาว	Eggplant	8 - 85
ผักกาด	Lettuce	2.2 - 5.2
ลูกพีช	Peach	4.2
ลูกแพร์	Pear	5 - 10
ลูกพลัม	Plum	2 - 25
เมล็ดทับทิม (น้ำคั้นสด)	Pomegranate juice	600 - 765
ข้าวโพดสีม่วง	Purple Corn	1642
ราสเบอร์รี่	Raspberry	20 - 687
กะหล่ำแดง	Red Cabbage	322
องุ่นแดง	Red Grape	30 - 750
หอมหัวใหญ่สีแดง	Red Onion	23.3 - 48.5
สตรอเบอร์รี่	Strawberry	19 - 55

ที่มา : นิสารัตน์(2011)

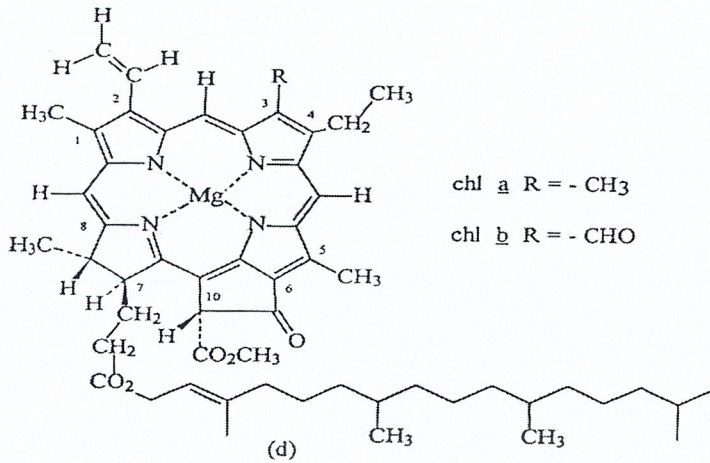
2.4.2 คลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์(Chlorophyll) เป็นสารประกอบที่พบได้ในส่วนที่มีสีเขียวของพืช โดยพบมากที่ใบ นอกจากนี้ยังพบได้ที่ลำต้น ดอก ผลและรากที่มีสีเขียว และยังพบได้ในสาหร่ายทุกชนิด นอกจากนี้ยังพบได้ในแบคทีเรียบางชนิด คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่เป็นโมเลกุลรับพลังงานจากแสง และนำพลังงานดังกล่าวไปใช้ในการสร้างพลังงานเคมีโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อสร้างสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล และนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิตคลอโรฟิลล์ อยู่ในโครงสร้างที่เรียกว่าเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (Thylakoid membrane) ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์(Chloroplast) คลอโรฟิลล์เป็นสารที่ละลายได้ดีในอะซิโตนและแอลกอฮอล์ โครงสร้างอาจแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนหัว และส่วนหาง โดยที่ส่วนหัวของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นวงแหวนไพโรล (pyrole ring) ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 วง และมีธาตุแมกนีเซียมอยู่ตรงกลางโดยทำพันธะกับไนโตรเจน ส่วนหัวนี้มีขนาดประมาณ 1.5x1.5อังสตรอม ส่วนหางของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม มีความยาวประมาณ 2 อังสตรอม คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงคลื่นของแสงสีฟ้าและสีแดง แต่ดูดกลืนช่วงแสงสีเหลืองและเขียวได้น้อย ดังนั้นเมื่อได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีฟ้าและสีแดงไว้ ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ได้ดูดกลืนจึงสะท้อนออกมา ทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2556)

โดยคลอโรฟิลล์ยังสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ชนิดด้วยกัน ดังนี้

- คลอโรฟิลล์ a มีสีเขียวแกมน้ำเงินโดยสามารถพบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิดที่สังเคราะห์แสงได้
- คลอโรฟิลล์ b มีสีเขียวแกมเหลืองพบได้ในพืชชั้นสูง และสาหร่ายสีเขียว
- คลอโรฟิลล์ c ไม่พบในพืชชั้นสูง แต่จะพบได้ในสาหร่ายชนิดต่างๆ เช่นสาหร่ายสีน้ำตาลและสีทอง
- คลอโรฟิลล์ d ก็ไม่พบในพืชชั้นสูงเช่นกัน แต่จะพบได้ในสาหร่ายสีแดงรวมทั้งแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ (cyanobacteria)

แต่คลอโรฟิลล์ที่เกี่ยวข้องกับอาหารมีอยู่ 2 ชนิดคือคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีดังรูปที่ 2.4



ที่มา : Von Elbe and Schwartz (1996)

ภาพที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์อาจเกิดได้หลายทางแต่ในการประกอบอาหารการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดคือ ฟิโอฟิตินเซชัน (pheophytinization) ซึ่งเป็นการแทนที่แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจนซึ่งเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดและทำให้เกิดสีเขียวของฟิโอฟิติน (Pheophytin) นอกจากนี้ยังมีการแตกออกของหมู่ไฟทอลซึ่งจะเกิดคลอโรฟิลไลด์ (chlorophyllides) เนื่องจากเอนไซม์คลอโรฟิลเลสและเกิดได้ดีที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงคืออุณหภูมิในช่วง 60-82 องศาเซลเซียส คลอโรฟิลไลด์มีสีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์ แต่ละลายน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ถ้าแมกนีเซียมในคลอโรฟิลไลด์ถูกแทนที่ด้วยไฮโดรเจนจะได้ฟิโอฟอร์ไบด์ (pheophorbides) ซึ่งมีสีน้ำตาล(Von Elbe and Schwartz (1996)) โดยวิธีการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ที่รวดเร็วและไม่ทำลายใบพืชคือการใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีการใช้ประเมินค่าความเขียวของสีใบประสบผลสำเร็จและแพร่หลายในข้าว ข้าวสาลีข้าวโพดและฝ้าย เป็นต้น

วาริชย์ และคณะ(2010) ได้ศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี,และแคโรทีนอยด์ ในใบอ่อนของผักพื้นบ้าน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือสรุปได้ว่าผักที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์สูง คือ เพี้ยฟาน เพกา และขี้เหล็กหวาน

ตารางที่ 2.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ, คลอโรฟิลล์บีและแคโรทีนอยด์ในใบอ่อนของผักพื้นบ้านภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Table 1 Chlorophyll a, b, total chlorophyll and carotenoids contents in young leaves of local vegetables				
local vegetables	Chlorophyll a (mg/g DW)	Chlorophyll b (mg/g DW)	Total chlorophyll (mg/g DW)	Carotenoids (mg/g DW)
Tembusu	133.40	117.60	251.00	59.08
Jack fruit	136.70	79.60d	216.30	38.06
Scrambled Eggs	182.50	93.30	275.80	68.15
Cucumber Tree	125.30	68.40	193.70	51.67
Pak-siew	56.50	52.90	109.40	26.32
Indian Trumpet Flower	175.50	103.00	278.50	66.94
Pea-fan	199.20	146.80	346.00	114.14
Tamarind	123.90	73.30d	197.20	20.10
Star fruit	81.90	43.60	125.50	31.08

ที่มา :วาริชัย และคณะ(2010)

ซึ่งปริมาณของคลอโรฟิลล์นั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าสี L,a,bโดยค่า a (ค่าความเขียว) มีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุด โดยใบเฟี้ยฟาน เพกา มีค่า a ต่ำ(เขียวมากๆ)มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงตามไปด้วย ในขณะที่ค่า b (ค่าความเหลือง) ไม่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ เช่นมะเฟืองมีค่า b สูง แต่ปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำ

นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัย สนับสนุนประโยชน์ของคลอโรฟิลล์ไว้มากมาย เช่น

- รักษาอาการท้องผูก (Constipation) ในอดีตพบว่ามีการใช้ chlorophyll ในผู้ป่วยที่มีปัญหาเกี่ยวกับทางเดินอาหาร เช่น อาการท้องผูกทำให้ระบบขับถ่ายดีขึ้นด้วย โดยการศึกษาในผู้ป่วยสูงอายุ 62 คนที่อยู่ในสถานพักฟื้นพบว่า chlorophyllin มีประสิทธิภาพในการช่วยควบคุมกลั่นอุจจาระและระบบขับถ่ายของร่างกายให้ดีขึ้น ในภาวะท้องผูกเรื้อรังและยังช่วยลดอาการแน่นท้องได้ด้วยซึ่งในการศึกษานี้ไม่พบความเป็นพิษหรือภาวะความเจ็บป่วยอื่นใด
- รักษาภาวะนิ่วชนิด calcium oxalate stone ได้ (Treatment of calcium oxalate stone disease) มีการศึกษาใน in vitro เกี่ยวกับ chlorophyllin ในรูปสารละลายความเข้มข้น 20 mcg/ml ใน normal urine จะยับยั้งการเกิดผลึกและยับยั้งการโตของผลึก calcium oxalate

dehydrate ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลก่อนการทดลองข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าอาหารและยาที่มีส่วนประกอบของ chlorophyllinอาจช่วยในการรักษา calcium oxalate stone disease ได้

จะเห็นได้ว่าจากงานวิจัยต่างๆ คลอโรฟิลล์ถือเป็นสารที่มีคุณค่าและมีประโยชน์มากมาย ทำให้ปัจจุบันมีการนำคลอโรฟิลล์ ไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมอาหารเครื่องดื่ม รวมถึงอาหารเสริมอีกด้วย

2.5 ระบบค่าสี

- การวัดสีระบบHunter Lab

การวัดสีด้วยเครื่องวัดสีMinolta Camera ในระบบHunter Lab จะให้ค่าสี L เป็นค่าความสว่าง (Lightness) ค่าสีa เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (Redness/Greenness) และค่าสีb เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) โดยที่

ค่าสี L คือค่าแสดงความสว่างของสีมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

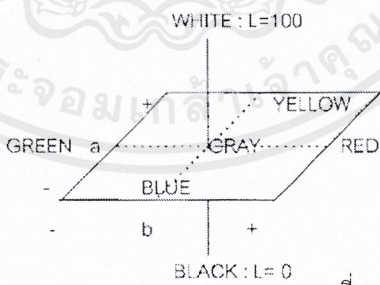
กรณีถ้า L มีค่าเป็น 0 หมายถึง มืด(darkness) แต่ถ้ามีค่าเป็น 100 หมายถึง สว่าง(lightness)

ค่าสีaคือแสดงความเป็นสีแดงและเขียว(redness/greenness)

กรณีถ้า a มีค่าเป็นบวก หมายถึง สีแดง และกรณีถ้า a มีค่าเป็น ลบ หมายถึง สีเขียว

ค่าสี b คือ แสดงความเป็น สีเหลือง และน้ำเงิน(yellowness/blueness)

กรณีถ้า b มีค่าเป็น บวก หมายถึง สีเหลือง และกรณีถ้า b มีค่าเป็น ลบ หมายถึง สีน้ำเงิน



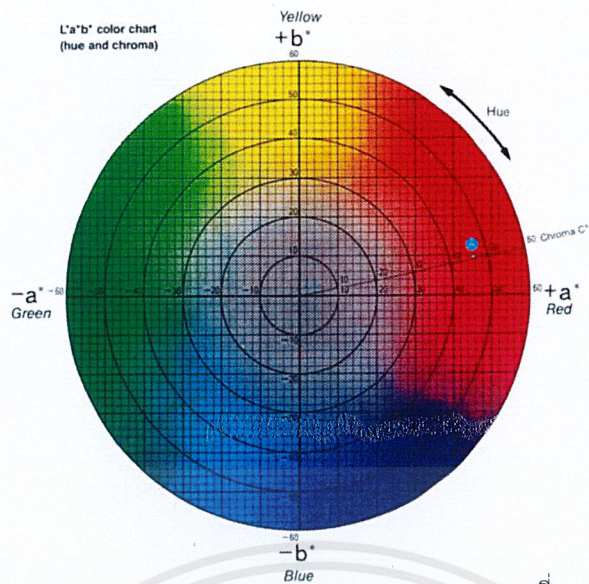
ที่มา: Pomeranz and Meloan, 1971

ภาพที่ 2.6 ระบบการวัดสีโดยใช้ค่า L, a และ b

- Commission International de l'Eclairage (CIE)

CIE หรือในชื่ออังกฤษว่า International Commission on Illumination เป็นมาตรฐานด้านสีที่มีสำนักงานใหญ่อยู่ในประเทศฝรั่งเศสองค์กรนี้ได้กำหนดมาตรฐานการวัดสีซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงการวิชาการและการวิจัยคือระบบ CIE Lab scale ในระยะเริ่มแรก CIE ได้กำหนดสเกลการวัดสีเป็น X-Y-Z ซึ่งใช้บรรยายสีแดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) แต่เนื่องจากระบบสีดังกล่าวไม่สามารถบรรยายถึงลักษณะความมืด-สว่างของสีได้ CIE ได้พัฒนาต่อมาเป็นระบบ X-Y-L ซึ่งบรรยายถึงค่าสีแดง เขียว และความสว่าง (lightness) ตามลำดับอย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวก็ยังขาดส่วนที่บรรยายถึงค่าสีน้ำเงิน CIE จึงได้พัฒนาระบบสีต่อมาจนเป็นระบบที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือระบบ $L^*a^*b^*$ ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติโดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาวจนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำแกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE แสดงได้ดังภาพที่ 2.7

นอกจากนี้บริษัท Hunter lab ในอเมริกาก็เป็นอีกองค์กรหนึ่งซึ่งทำการวิจัยและพัฒนาระบบการวัดสีจนในที่สุดได้ระบบของ Hunter lab เองซึ่งเรียกว่าการวัดสีระบบ Hunter lab scale ซึ่งบรรยายแกนใน 3 มิติเช่นเดียวกับระบบ CIE โดยที่ Hunter lab จะใช้สเกล L-a-b บรรยายลักษณะสีเช่นเดียวกับ $L^*a^*b^*$ ของ CIE ข้อแตกต่างระหว่างระบบสีของ CIE และ Hunter lab คือสูตรการคำนวณค่าสีซึ่งทั้ง L-a-b และ $L^*a^*b^*$ ล้วนมีพื้นฐานการคำนวณมาจากค่าจากระบบ X-Y-Z ทั้งสิ้น



ที่มา: <http://www.cie.co.at/cie/>

ภาพที่ 2.7 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ:

Hue บรรยายถึงเฉดสีและ Chroma บรรยายถึง ความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี.

- CIE L*C*h Color Space

อย่างไรก็ตามในระบบ CIE Lab นั้นไม่มีค่าในส่วนที่แสดงค่าของ Tristimulus Value หรือ Chromaticity Coordinate ตามที่ CIE ได้ตั้งไว้ในปี 1931 ดังนั้นทาง CIE จึงได้แปลงระบบ CIE Lab ให้เป็นระบบ Cylindrical Coordinate อันจะทำให้การอธิบายสีเหมือนกับระบบดั้งเดิมโดย L* จะแสดงค่า Lightness, C* แสดงค่า Chroma, และ h แสดงค่า Hue angle โดยค่า L* นั้นเหมือนกับ L* ในระบบ L*a*b* Color Space

สำหรับค่า C* เริ่มจาก 0 ซึ่งเป็นค่าที่ศูนย์กลางและเพิ่มมากขึ้นตามระยะที่ห่างจากศูนย์กลางมากขึ้นสำหรับ h เป็นค่ามุมที่ทำกับแกน +a* โดยค่า 0 เท่ากับ +a* (Red), ค่า 90 เท่ากับ +b* (Yellow), ค่า 180 เท่ากับ -a* (Green) และค่า 270 เท่ากับ -b* (Blue) ซึ่งค่า C* และ h สามารถคำนวณได้จากสมการ(2.2-2.3)

$$\text{สมการแสดงค่าที่แสดงความบริสุทธิ์ของสีคือ Chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (2.2)$$

$$\text{สมการแสดงค่ามุมของสีหลักคือ Hue angle} = \tan^{-1} (b/a) \quad (2.3)$$

- Hunter System

เป็น Trichromatic System โดยมี Tristimulus Values คือค่า L (Lightness), a, b โดยค่า Hunter Values และค่าสีทั้ง 3 ใน CIE System สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ช่วยคำนวณซึ่ง L เป็นค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 – 100 ถ้าค่า L เท่ากับ 0 จะเป็นสีที่มืดที่สุดค่า L เท่ากับ 100 จะเป็นสีสว่างมากที่สุดเปรียบได้กับค่า Y ในระบบ CIE หรือค่า Value ในระบบ Munsella เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียวโดยที่ค่า a เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดงค่า a เป็นลบแสดงความเป็นสีเขียวค่า a เทียบได้กับค่า x, y ในระบบ CIE b เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินค่า b เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลืองค่า b เป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงินค่า b เทียบได้กับค่า z, y ในระบบ CIE การที่ค่า a และ b มีทั้งค่าบวกและลบทำให้โครงสร้างของระบบถูกแบ่งเป็น 4 ส่วน (Quadrant) ได้แก่

Quadrant 1: yellow – green -a, +b

Quadrant 2: yellow – red +a, +b

Quadrant 3: red – blue +a, -b Quadrant 4: blue – green -a, -b

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

ดอกกระเจี๊ยบแดง ตลาดสำโรง ต.สำโรงเหนือ อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ
ดอกอัญชัน ตลาดสำโรง ต.สำโรงเหนือ อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ
เตยหอม ตลาดสำโรง ต.สำโรงเหนือ อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ

3.2 อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องแก้ววิเคราะห์ทางเคมี
2. อะลูมิเนียมฟลอยด์
3. คิวเวทแก้ว
4. เครื่อง Spectrophotometer รุ่น Genesys 10vis
5. เครื่องบด (Blender, Moulinex)
6. เครื่องกรองสุญญากาศ
7. Micropipette ขนาด 200 – 1000 µl
8. กระดาษกรอง Whatman No.4
9. เครื่องเขย่า (Rotary shaker)
10. เครื่องแช่เยือกแข็ง (Ultra Cold Freezer-60 C)
11. เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary evaporator)
12. Vortex mixer
13. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Dry)
14. เครื่องตรวจคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll meter, SPAD-502Plus)
15. เครื่องวัดสี Minalta CR-300

3.3 สารเคมี

1. 95% Ethanol
2. Sodium carbonate (Na_2CO_3)
3. Folin-Ciocalteu
4. Gallic acid
5. 1,1-diphenyl-2 picrylhydrazyl (DPPH)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.4.1.1 ตัวอย่างสด: นำเตยหอม อัญชัน กระเจี๊ยบ มาทำความสะอาด แล้วนำไปตัดให้มีขนาดเท่าๆ ผึ่งลมให้แห้ง และนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด

3.4.1.2 ตัวอย่างแห้ง: นำเตยหอม อัญชัน กระเจี๊ยบ มาทำความสะอาด แล้วนำไปตัดให้มีขนาดเท่าๆ ผึ่งลมให้แห้ง นำตัวอย่างใส่ในภาชนะเพื่อนำไปใส่เครื่องแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำไปเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลาประมาณ 27 ชั่วโมง และนำไปบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด

3.4.2 การตรวจลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง

3.4.2.1 สังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทั้งสามชนิดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

3.4.2.2 การตรวจวัดสีการตรวจวัดสีอัญชัน ใบเตย และกระเจี๊ยบทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้วยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-300 และบันทึกผลการตรวจวัด L a b

3.4.2.3 การตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบเตยการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบเตยจะตรวจวัดด้วยเครื่อง Chlorophyll meter รุ่น SPAD-502Plus และบันทึกผลเป็นค่า SPAD-value

3.4.3 ขั้นตอนการสกัด โดยการสกัดเย็น (อุณหภูมิต่ำ)

นำตัวอย่างที่บด 10 กรัม มาปั่นผสมกับ 95% เอทานอล100 มิลลิลิตร (ตัวอย่างแห้งไม่ต้องปั่น) เป็นเวลา 1 นาที นำสารที่ได้ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (shaker) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายออกโดยระบบสุญญากาศโดยใช้เครื่อง evaporator ที่อุณหภูมิ 30°c จนได้สารละลายเข้มข้น แล้วปรับปริมาตรของสารให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารสกัดที่ได้ไว้ในขวดสีชา

3.4.4การวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด

สารประกอบโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับFolin-Ciocalteuได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร ใช้กรดแกลลิกเป็นสารประกอบโพลีฟีนอลมาตรฐาน

3.4.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นที่ได้เท่ากับ 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยละลายกรดแกลลิก 0.02 กรัม ด้วยแอลกอฮอล์ (95%) ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร บีบอัดสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกลงในหลอดทดลองโดยให้มีปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกและน้ำกลั่น ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 0-120 ไมโครกรัม

หลอด	สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
1	0	0	10.00
2	0.05	20	9.95
3	0.15	60	9.85
4	0.2	80	9.80
5	0.25	100	9.75
6	0.3	120	9.70
7	0.35	140	9.65

เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu หลอดละ 0.5 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Na_2CO_3 (10% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) หลอดละ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายหลอดที่ 1 เป็น Blank

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตรกับปริมาณกรดแกลลิกเป็นไมโครกรัม

3.4.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในสารสกัด

ปิเปตสารสกัดที่ได้จากข้อ 3.4.3 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองเติมน้ำกลั่น 9.5 มิลลิลิตร และสารละลาย Folin-Ciocalteu หลอดละ 0.5 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Na_2CO_3 (10% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) หลอดละ 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตรแทนตัวอย่างสารสกัดสำหรับเตรียม blank และคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดโดยใช้กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

3.4.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำละลายอนุมูลอิสระ

การทดสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากตัวอย่างจะใช้วิธี DPPH assay วิธีนี้จะอาศัยการติดตามความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2 picrylhydrazyl หรือ DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่ทำให้สารละลายมีสีม่วงและสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าตัวอย่างมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของสารดังกล่าวได้ดีจะทำให้สีม่วงจางลงมาก

ปิเปตสารตัวอย่าง 0.4 มิลลิลิตรผสมกับ 70% เอทานอล 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.6 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DHHP ตามสมการต่อไปนี้

% ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH = $\left(1 - \frac{A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}}\right) \times 100$ ——— (3.1)

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายปฏิกิริยาของตัวอย่างสารสกัด

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายปฏิกิริยาของตัวอย่างควบคุม



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวอย่าง

ในการศึกษาการลักษณะทางกายภาพและวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งครั้งนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่นิยมใช้ในการประกอบและให้อาหาร 3 ชนิดคือใบเตยพันธุ์เตยหอม อัญชันพันธุ์ดอกซ้อน และกระเจี๊ยบแดงพันธุ์ชูดานโดยตัวอย่างทั้งสามชนิดที่นำวิเคราะห์นี้มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ กระเจี๊ยบมีความชื้น 90.3583 ,อัญชัน มีความชื้น 87.7256 เตยหอม มีความชื้น 81.6686 % โดยน้ำหนักฐานเปียก ตามลำดับจากนั้นได้ศึกษาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทั้งสามชนิดหลังจากผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและเปรียบเทียบกับตัวอย่างสด ตามหัวข้อดังนี้

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทั้งสามชนิดในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างทั้งสามชนิด ได้แก่ ใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างที่กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกเยือกแข็ง โดยการเปรียบเทียบตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.1



ใบเตยสด

ใบเตยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

(b)

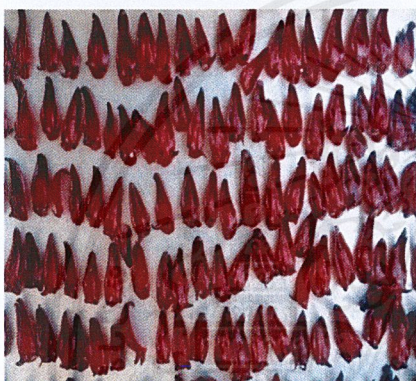


อัญชันสด



อัญชันที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

(c)



กระเจี๊ยบสด



กระเจี๊ยบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

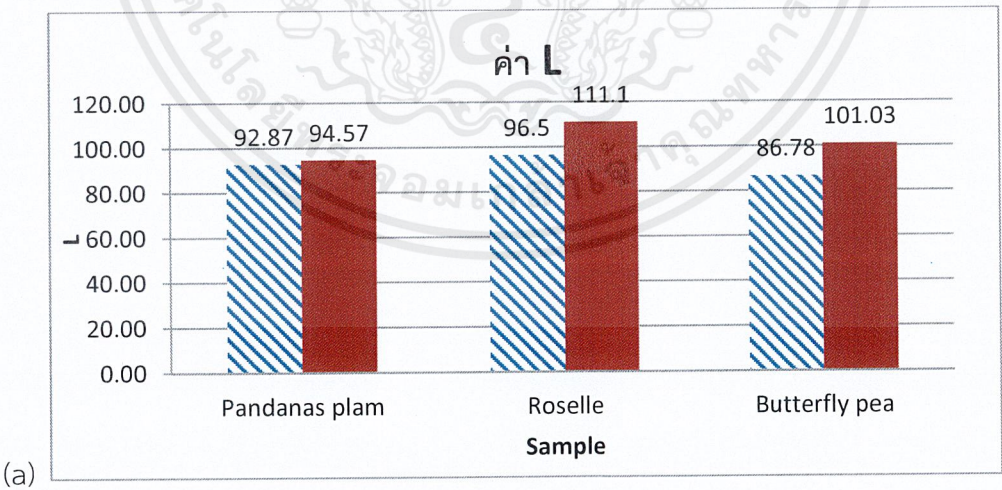
ภาพที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบระหว่างตัวอย่างสดกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดย

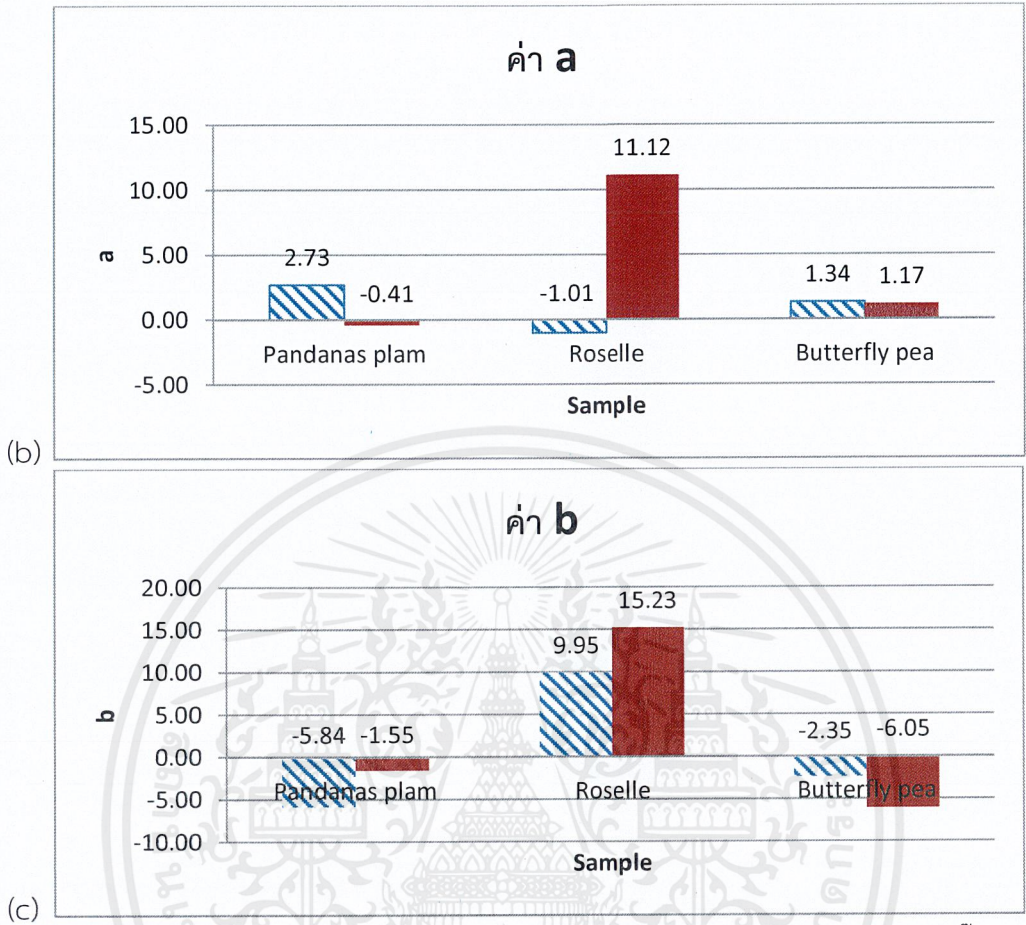
- (a)แสดงลักษณะของ ใบเตยสดและใบเตยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
- (b) แสดงลักษณะของ อัญชันสดและอัญชันที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง
- (c) แสดงลักษณะของกระเจี๊ยบสดและกระเจี๊ยบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ซึ่งจากภาพที่ 4.1(a) ลักษณะของใบเตยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยังคงรักษากลิ่นและรูปเดิมได้ดี แต่มีลักษณะแห้งกรอบกว่าตัวอย่างสด มีสีซีดลงเมื่อเทียบกับใบเตยสด (b) แสดงลักษณะของ อัญชันสดและอัญชันที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าในตัวอย่าง อัญชันที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีสีใกล้เคียงกับอัญชันสด และยังคงลักษณะเดิมได้เป็นอย่างดี (c)แสดงลักษณะของกระเจี๊ยบสดและกระเจี๊ยบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าในกระเจี๊ยบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่ม และมีสีแดงเข้มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างสดเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง สามารถรักษาลักษณะคุณภาพของตัวอย่าง เช่น สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสได้ดี เนื่องจากการทำแห้งที่มีอุณหภูมิต่ำจึง ลดการทำลายเนื้อเยื่อและโครงสร้างอาหาร ทำให้ได้อาหารแห้งที่ได้มีคุณภาพสูงเมื่อเทียบกับวิธีการทำแห้งแบบอื่นๆ

4.1.2 การตรวจสีในระบบ Hunter Lab

จากการทดสอบวิเคราะห์สีของตัวอย่างทั้งสามได้แก่ ใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบทั้งที่เป็นตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในระบบ Hunter lab โดยเครื่อง Chroma meter รุ่น CR-300 ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.2





ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่า L a b เปรียบเทียบของใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบ ระหว่างตัวอย่างสดกับตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดย

(a) แสดงค่า L ในตัวอย่างใบเตย กระเจี๊ยบและอัญชัน

(b) แสดงค่า a ในตัวอย่างใบเตย กระเจี๊ยบและอัญชัน

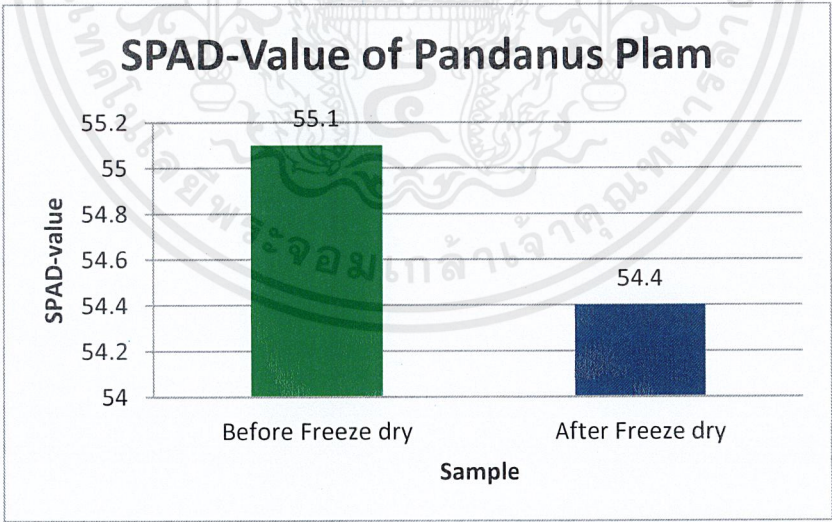
(c) แสดงค่า b ในตัวอย่างใบเตย กระเจี๊ยบและอัญชัน

จากภาพที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสีของใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบ เนื่องจากใบเตยมีสีเขียว การสังเกตความเปลี่ยนแปลงสของใบเตยจึงต้องดูผลของค่า L และค่า a พบว่าใบเตยแห้งมีค่าความสว่างมากขึ้นจาก 92.87 เป็น 94.57 และมีสีเขียวเพิ่มขึ้นจากค่า a ที่ลดลงจาก 2.73

เป็น -0.41 การสังเกตความเปลี่ยนแปลงสีของอัญชันที่มีสีน้ำเงินดูจากค่า L และค่า b พบว่า อัญชัน
แห้งมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 86.78 เป็น 101.03 และมีสีน้ำเงินเข้มขึ้นจากค่า b ที่ลดลงจาก
-2.35 เป็น -6.05 และกระเจี๊ยบสังเกตความเปลี่ยนแปลงของสีจากค่า L และค่า a พบว่า กระเจี๊ยบ
แห้งมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นจาก 96.5 เป็น 111.1 และมีสีแดงเข้มขึ้นดูจากค่า a ที่เพิ่มขึ้นจาก -1.01
เป็น 11.12การเปลี่ยนแปลงสีของใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่
เยือกแข็งแล้วพบว่าสีของตัวอย่างสว่างขึ้นและสีชัดขึ้นจากตัวอย่างสด

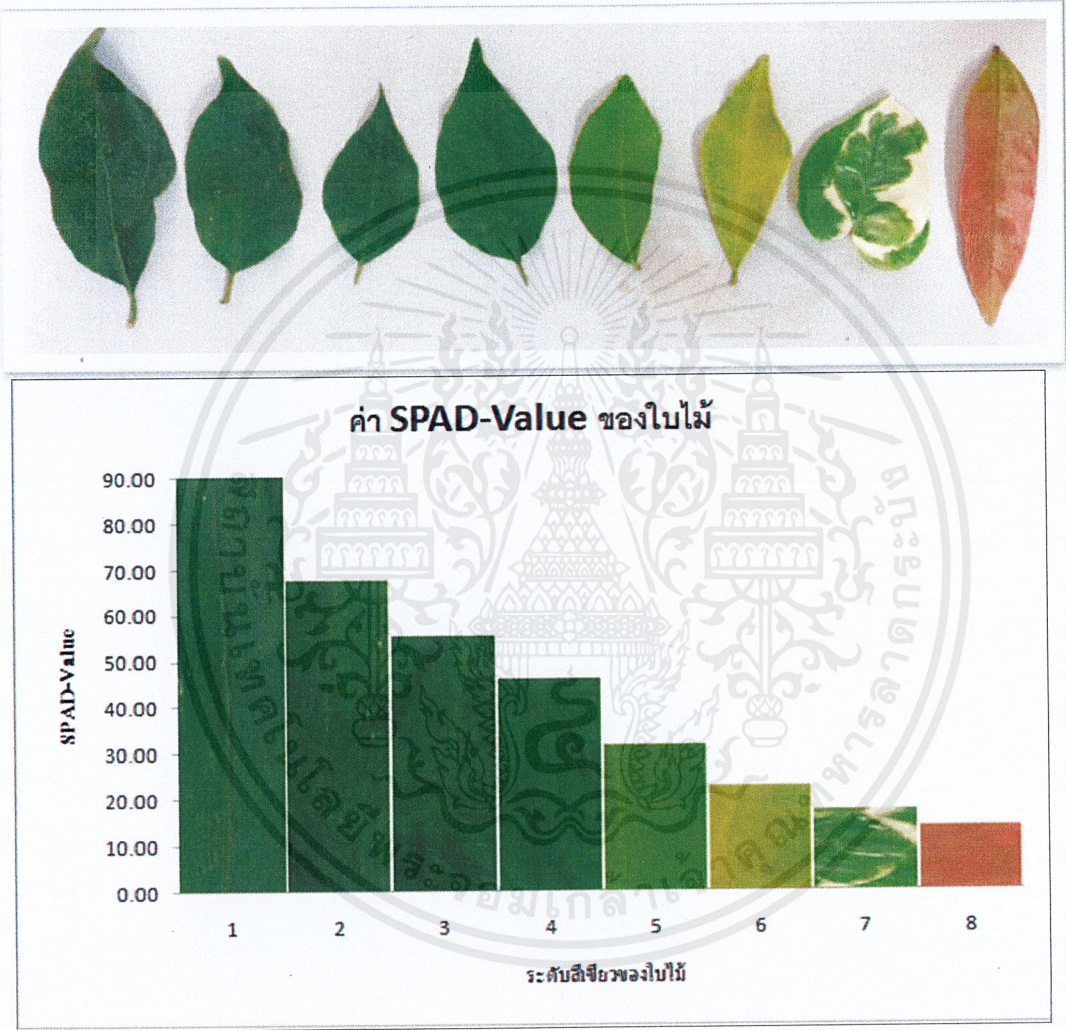
อนึ่งค่าความสว่างที่วัดได้จากอัญชันแห้งและกระเจี๊ยบแห้งมีค่าความสว่างที่ 101.033 และ
111.1 ซึ่งตามหลักทฤษฎีนั้นค่าความสว่างจะอยู่ในช่วง 0-100 เท่านั้น ทั้งนี้อาจเกินจากความ
ผิดพลาดของอุปกรณ์หรือขั้นตอนในการวัดสีทำให้ค่าความสว่างที่ออกมาเกิน 100

4.1.3 การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่องวัดคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll meter, SPAD-
502Plus) จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเตยทั้งใบเตยสดและใบเตยที่ผ่าน
กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยเครื่องวัดคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll meter, SPAD-
502Plus) แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าปริมาณคลอโรฟิลล์(SPAD-value) ในใบเตยก่อนและหลัง
กระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD-value) ของใบเตยทั้งก่อนและหลังการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะเห็นว่าใบเตยที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเล็กน้อยจาก 55.1 เป็น 54.4 และได้นำค่า SPAD-Value ของใบเตยมาเปรียบเทียบกับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบไม้ที่ระดับสีต่างๆ โดยได้ทำการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไม้ที่มีสีแตกต่างกันทั้งทั้งแปดระดับ แสดงในภาพที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า SPAD-value และระดับสีเขียวของใบไม้

จากภาพที่ 4.4 แสดงระดับสีเขียวของใบไม้ที่แตกต่างกันทั้งแปดระดับ จากระดับความเข้มของสีเขียวมากไปยังความเข้มของสีเขียวน้อย โดยระดับที่ 1 มีความเข้มสีเขียวมากที่สุดวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ 76.43 SPAD-Value ระดับที่ 2 วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ 67.93 SPAD-Value ระดับที่ 3 วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ 55.50 SPAD-Value ระดับที่ 4 วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ 46.30

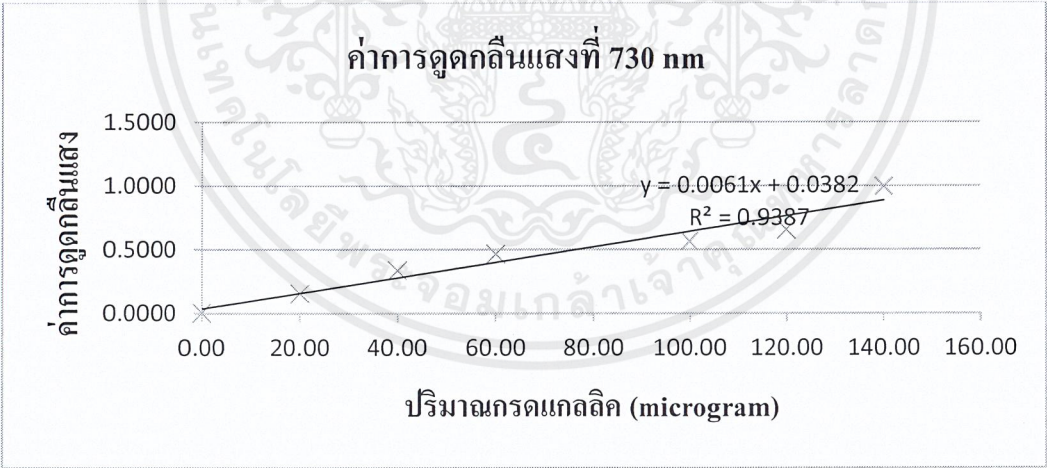
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPAD-Value ระดับที่ 5 6 7 และ 8 วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ 31.97 SPAD-Value, 23.00 SPAD-Value, 17.73 SPAD-Value และ 13.83 SPAD-Value ตามลำดับและเมื่อนำค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบเตยทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในรูปที่ 4.3 ซึ่งมีค่า 55.1 SPAD-value และ 54.4 SPAD-value ตามลำดับ มาเปรียบเทียบกับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบไม้ในรูปที่ 4.4 พบว่าค่า SPAD-value ของใบเตยมีค่าใกล้เคียงกับระดับสีเขียวของใบไม้ระดับที่ 3 ที่มีค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ 55.50 SPAD-value ทั้งนี้ในการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไม้ที่ระดับสีเขียวต่างๆและนำใบเตยมาเปรียบเทียบกับนั้น เพื่อให้เห็นถึงสีเขียวของใบเตยได้อย่างชัดเจนขึ้น

4.2 ผลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากตัวอย่าง

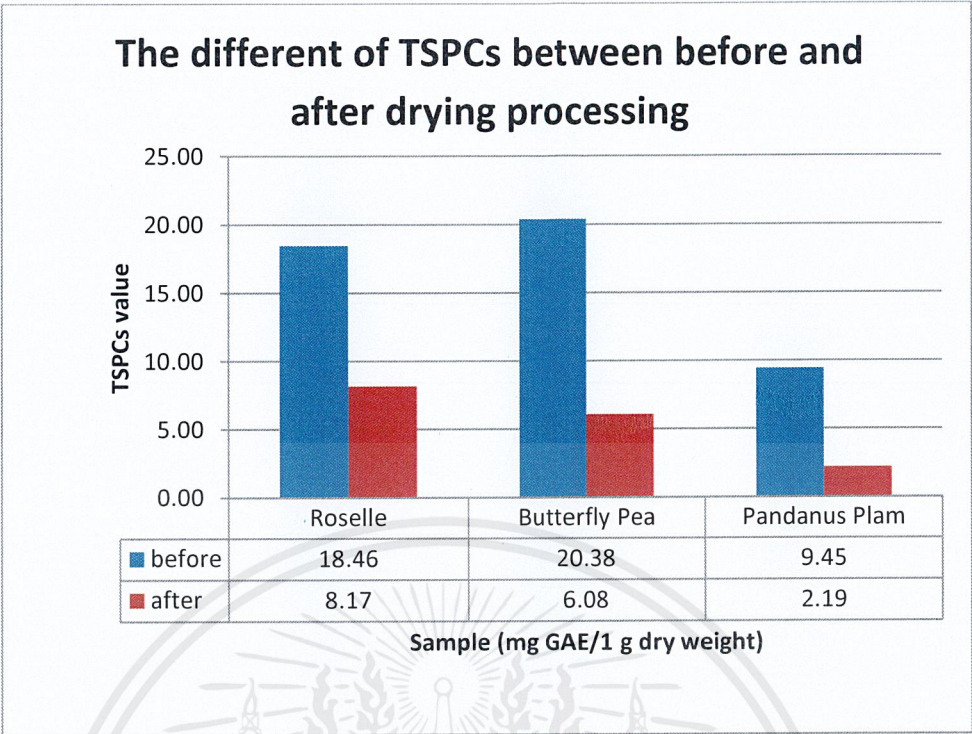
จากการทดลองเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกซึ่งใช้เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในการสกัดที่ได้จากตัวอย่างก่อนและหลังกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งได้เป็นกราฟเส้นตรงที่มีสมการเส้นตรงคือ $y = 0.0061x + 0.0382$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9387$ ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

จากการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งได้จากการสกัดเย็น พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในกระเจี๊ยบ อัญชัน และใบเตยที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอย่างสดที่น้ำหนัก 1 กรัมตัวอย่าง ภาพที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 41อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

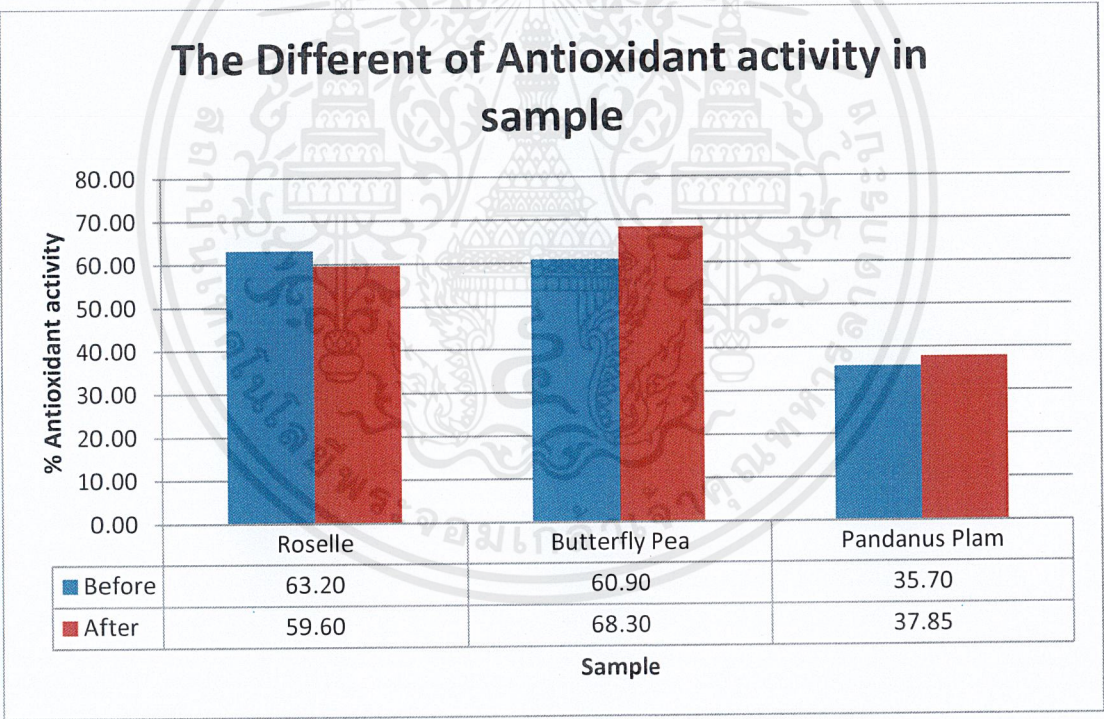
จากภาพที่ 4.6 พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลของใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบแห้งมีปริมาณน้อยกว่าของสดเมื่อเทียบกับที่ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง โดยใบเตยมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลงจาก 9.45 เป็น 2.19 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง อัญชันแห้งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลงจาก 20.38 เป็น 6.08 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง และกระเจี๊ยบแห้งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลงจาก 18.46 เป็น 8.17 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง

โดยในจากการศึกษาของแฉล้ม และคณะ(2553) ได้ทำการศึกษปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในกระเจี๊ยบแดงแห้ง 29 สายพันธุ์พบว่ากระเจี๊ยบแดงแห้งมีปริมาณโพลีฟีนอลอยู่ 94-239 mgGAE/100g น้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับกระเจี๊ยบแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งซึ่งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลอยู่ถึง 817 mgGAE/100gทั้งนี้กระเจี๊ยบแห้งที่ผ่านกระบวนการแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณโพลีฟีนอลที่มากกว่ากระเจี๊ยบแห้งที่ผ่านความร้อนมา เพราะความร้อนเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระถูกทำลาย กระเจี๊ยบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบ

แช่เยือกแข็งจึงรักษาสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่ากระเจียบแห้งที่อบแห้งแบบใช้ความร้อนทั้งนี้ กระเจียบและอัญชันมีสารประกอบโพลีฟีนอลอยู่มาก โดยสารกลุ่มโพลีฟีนอลที่พบมากในกระเจียบและอัญชัน คือแอนโทไซยานิน

4.2.2 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตัวอย่าง

จากการทดสอบสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดจากตัวอย่างทั้งตัวอย่างสดและตัวอย่างแห้งโดยวิธี DPPH assay วิธีนี้จะอาศัยการติดตามความสามารถของตัวอย่างสารสกัดในการทำลายอนุมูลอิสระของ 1,1-diphenyl-2 piaryhydrazyl หรือ DPPH ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่ทำให้สารละลายมีสีม่วงและสามารถดูดกลืนแสงได้ที่ 517 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าสารตัวอย่างมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของสารดังกล่าวได้ดีจะทำให้สีม่วงจางลงมาก และนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากสูตร 3.1 ผลการทดลองดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตัวอย่างระหว่างก่อนและหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

จากภาพที่ 4.7 พบว่ากระเจี๊ยบแห้งมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงจาก 63.2 % เป็น 59.6 % อัญชันและใบเตยแห้งมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 60.90 % เป็น 68.30% และ 35.70 % เป็น 37.85% ตามลำดับ

ซึ่งจากการทดลองพบว่าสารสกัดจากตัวอย่างแห้งจะมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากตัวอย่างสด โดยจากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าอัญชันมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับปริมาณโพลีฟีนอลในภาพที่ 4.6 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอัญชันมีองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่สารประกอบโพลีฟีนอล เช่น สารแอสตรากาลิน (astragalin) ซึ่งเป็นสารที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และสารแอสตรากาลินนี้อาจไม่ถูกทำลายโดยกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ทำให้อัญชันแห้งมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นจากเดิม เมื่อเทียบกับปริมาณโพลีฟีนอลในภาพที่ 4.6



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งพบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาคุณภาพของตัวอย่าง เช่น สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสได้ดีใกล้เคียงกับของสด สังเกตจากค่าสีที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง Chromameter รุ่น CR-300 มีค่า L a b ต่างจากตัวอย่างสดเพียงเล็กน้อยและการตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเตยด้วยเครื่อง Chrolophyll meter (SPAD-502 Plus) พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบเตยที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งลดลงเล็กน้อย จาก 55.1 เป็น 54.4

จากวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu ของสารสกัดจากใบเตย อัญชัน และกระเจี๊ยบทั้งตัวอย่างสดและตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยการสกัดเย็นด้วยเอทานอล 95% พบว่าตัวอย่างแห้งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างสดที่ 1 กรัมตัวอย่าง โดยในอัญชันแห้งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลงมากที่สุดจาก 20.38 เป็น 6.08 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ส่วนกระเจี๊ยบแห้งและใบเตยแห้งมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลงจาก 18.46 เป็น 8.17 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง และ 9.45 เป็น 2.19 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และในการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าอัญชันแห้ง และใบเตยแห้งมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น จาก 60.90% เป็น 68.30 % และ 35.70 % เป็น 37.85% ตามลำดับ ส่วนในกระเจี๊ยบมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเล็กน้อยจาก 63.2 % เป็น 59.6 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อเตรียมสารสกัดโดยการสกัดเย็นเสร็จแล้วควรตรวจหาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและเปอร์เซ็นความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันเลยเนื่องจากสารประกอบโพลีฟีนอลจะสลายตัวถ้าเก็บไว้เป็นเวลานาน
2. ควรทำการทดลองศึกษาสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธีการตรวจแบบอื่นๆ เช่น Hydroxyl radical assay , ABTS assay เป็นต้น เนื่องจากการตรวจวัดด้วยวิธีที่ต่างกันอาจให้ผลการทดลองที่ต่างกัน ซึ่งทำให้ผลการทดลองมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

- กระเจียบแดง สรรพคุณและประโยชน์ของกระเจียบแดง 45 ข้อ. (29 ตุลาคม 2556). [online],
สืบค้นจาก : <http://www.greenalld.com/กระเจียบแดง>. (16 พฤศจิกายน 2556)
- คลอโรฟิลล์.(2556). วิถีพีเดีย สารานุกรมเสรี. [online], สืบค้นจาก :<http://th.wikipedia.org/wiki/อัญชัน>.(16 พฤศจิกายน2556)
- แฉล้ม มาศวรรณา ศุจิรัตน์ สงวนรังศิริกุล เพียงเพ็ญ ศรวัต พีรเดช ชูยกระเดื่อง และสุวัชชัย มิสุ
นา.2553. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกลีบกระเจียบแดง 29 พันธุ์. ศูนย์วิจัยพืชไร่
ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชพลังงานทดแทน.[ออนไลน์]. สืบค้นจาก :
http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.kkfrcr.org%2Fimages%2Fkrajeab29.doc&ei=cABYU7q1H8L58QWNs4DQDA&usg=AFQjCNHU7y9_EVik0LyfQie9P9kVpJSvRQ&bvm=bv.65177938,d.dGc. [10 มกราคม 2557]
- ปิ่นณ ธรภัทรสถาพรกุล. 2548. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (ตอนที่ 2).มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคล.[ออนไลน์].สืบค้นจาก :
http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/lyophilization%20technology%202.pdf. [15 ธันวาคม 2556]
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนปนนท์, (ม.ป.ป.), กระเจียบแดง, [ออนไลน์], สืบค้นจาก :
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1676/roselle-กระเจียบแดง>, [14
ธันวาคม 2556]
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนปนนท์. (ม.ป.ป.).การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง. [online],
สืบค้นจาก :<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3133/freeze-drying-การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง>. [15 ธันวาคม 2556]

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนพานนท์, (ม.ป.ป.), รังควัตถุหรือสารสี,[ออนไลน์], สืบค้น

จาก:<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/437/pigment-รงควัตถุ>, [15 ธันวาคม 2556]

นพพล เกตุประสาท(ม.ป.ป.). เตยหอม. หน่วยอนุรักษ์และใช้ประโยชน์พืชพรรณ ฝ่ายปฏิบัติการ วิจัย และเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.. [online].สืบค้นจาก :<http://clgc.rdi.ku.ac.th/index.php/rs/f-product2/314-pandanus>. [16 พฤศจิกายน 2556]

นันทน์ภัส เต็มวงศ์. 2551. ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกส์ และวิตามิน ซีในผักและสมุนไพร. คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.

นิสารัตน์ศิริวัฒนเมธานนท์.2554.อาหารหลากสีมีประโยชน์หลากหลาย (ตอนที่ 3):

สารเคมีที่มีประโยชน์จากผักผลไม้ที่มีสีม่วงและสีน้ำเงิน. ภาควิชาเภสัชพิษวิทยาและเภสัช ศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล.

ยุพาพร ผลาจรศักดิ์. 2547. การสกัดและความคงตัวของแอนโทไซยานินที่สกัดจากเปลือกมังคุด.

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารมหาวิทยาลัยศิลปากร.สืบค้นจาก :

http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Yupaporn_Palakajornsak/Abstract.pdf [15 ธันวาคม 2556]

วาริชัย พิมพ์บุตร์, วรัญญ์ แก้วดวงตา, สมศักดิ์ นวลแก้ว, สุจิต ส่วนไพโรจน์ และ มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย. 2554. ปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ ในใบอ่อนของผักพื้นบ้านในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สืบค้นจาก

http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CC8QFjAB&url=http%3A%2F%2Fteacher.skw.ac.th%2Ftawee%2Fwebgifted_skew%2Fproject%2FAbstract_2556.pdf&ei=_gJYUO8Dor28QWYwFo&usq=AFQjCNHs0jt4ioJ_GbrRkDnc1T5mB2F3tw&bvm=bv.65177938,d.dGc. [15 ธันวาคม 2556]

วิทยาศาสตร์บริการ. กรม.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กระทรวง. (2553). แอนโทไซยานิน.

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. [18 กันยายน 2556]

อรุษา เชาวนลิขิต. สารรงควัตถุแอนโทไซยานิน สารฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูล

อิสระในผลไม้บลูอันนี้ชักเกล. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สืบค้นจาก :

www.scisoc.or.th/stt/30/sec_c/paper/stt30_C0213.pdf . [19 มกราคม2557]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 48 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮัมตันมะเซ็ง.2556.”หลักการทำงานและการบำรุงรักษาเครื่อง Freeze Dryer”. [ออนไลน์].สืบค้น
จาก :<http://share.psu.ac.th/blog/scifile-service/27766>

MarjaKahkonen, AnuHopia, HeikkiVuorela, Jussi-PekkaRauha, KaleviPihlaja, and Marina
Heinonen.1999.Antioxidant Activity of Plant Extracts Containing Phenolic
Compounds.Journal of Food Chemical.47,3954-3962

Mason S, Bekhit A, and Sun Bo. 2007. Nutritional Value and Antioxidants in Four
Blueberry Varities.สืบค้นจาก : foodscience.wikispaces.com/Blueberries
[7 มกราคม 2557]

Prior, R. L. Cao, G. Martin, A. Sofic, E. McEwen, J. O'Brien, C. Lischner, N. Ehlenfeldt, M.
Kalt, W. Krewer, G. and Mainland, C. M. 1998. Antioxidant capacity as influenced
by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium*
species. J. Agric. Food Chem. 46: 2686-2693.

Von Elbe,J.H.and Schwartz.1996. Colorants. In Food Chemistry. 3rd.ed.
(Fennema,O.R.ed.).Marcel Dekker, Inc., NewYork



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 50 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาความชื้น (Moisture content)

ความชื้น คือ สารที่สูญเสียไปจากอาหารเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่อาหารนั้น ความร้อนที่ต้องมีอุณหภูมิไม่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำ หรือปล่อยให้อาหารตั้งทิ้งไว้ในสารดูดความชื้น (dehydrating agent) หรือให้ความร้อนในสภาพสุญญากาศ น้ำหนักที่หายไปจากอาหาร ซึ่งเดิมเข้าใจว่าเป็นน้ำนั้น ความจริงคือสารที่ระเหยได้ทั้งหมด หรือ total volatile matter ที่หายไป ณ อุณหภูมินั้น ส่วนกากหรือของแข็งแห้งที่เหลืออยู่หลังจากน้ำระเหยออกไปหมดแล้วเรียกว่า “ของแข็งทั้งหมด” (Total solids)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหรือความชื้นมีหลายวิธี วิธีการที่นิยมใช้คือ Drying method ซึ่งมี 3 แบบคือ

- Hot air oven method
- Vacuum oven method
- การใช้สารดูดความชื้น

วิธีการที่ใช้ในบทปฏิบัติการนี้คือ Hot air oven method โดยมีหลักการคือหาน้ำหนักตัวอย่างที่หายไป เนื่องจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในอาหารเป็นไอน้ำ ที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดหรือที่จุดเดือดของน้ำ แต่ในกรณีนี้อาจมีพวกน้ำมันระเหยที่ประกอบอยู่ในตัวอย่างสูญเสียไปด้วย

1). อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. ภาชนะอลูมิเนียม (Moisture can) พร้อมฝาปิด
3. ตู้อบไฟฟ้าที่ควบคุมอุณหภูมิได้
4. โถดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้น

2). วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 3.0000 ± 0.05 กรัมที่เหมาะสมให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมโดยเปิดฝาเล็กน้อย ซึ่งผ่านการอบ 30 นาทีและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
3. อบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง
4. จากนั้นนำภาชนะออกจากตู้อบไฟฟ้าพร้อมปิดฝาลูมิเนียม
5. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
6. ชั่งน้ำหนัก และนำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นดังนี้

$$\text{วิธีคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นน้ำหนักเปียก} = \frac{(\text{มวลวัตถุเริ่มต้น} - \text{มวลวัตถุแห้ง})}{\text{มวลวัตถุเริ่มต้น}} \times 100$$

7. รายงานผล

3). ตัวอย่างการคำนวณ

การหาความชื้นจากเตยหอม อัญชัน กระเจี๊ยบ

กระเจี๊ยบสดมีน้ำหนักเริ่มต้น 3.0889 กรัม เมื่อทำการอบไล่ความชื้นมีน้ำหนักของแห้ง 0.3001 กรัม

$$\begin{aligned} \% \text{ความชื้นน้ำหนักเปียก} &= \frac{3.0889 - 0.3001}{3.0889} \times 100 \\ &= 90.2846 \% \text{ ความชื้นฐานเปียก} \end{aligned}$$

ดังนั้นกระเจี๊ยบสดมีความชื้น 90.2846 % ฐานเปียก

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (Total polyphenol contents)

การตรวจวัดปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu มีหลักการคือ วัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล และไม่คำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบโพลีฟีนอลนั้นๆ ดังนั้นการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้ จึงไม่มีการระบุชนิดของสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งวิธีการวิเคราะห์เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชัน โดยที่สารประกอบโพลีฟีนอลถูกออกซิไดซ์ในสภาวะที่เป็นด่าง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะไปรีดิวซ์สารประกอบเบงโซนทั้งสติก-ฟอสโฟโมลิบดิก ได้ผลิตภัณฑ์เชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินและสามารถวัดค่าดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

1. สารเคมี

1.1. Folin-ciocalteu

1.2. โซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

1.3. สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

2.1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นเริ่มต้น 400 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

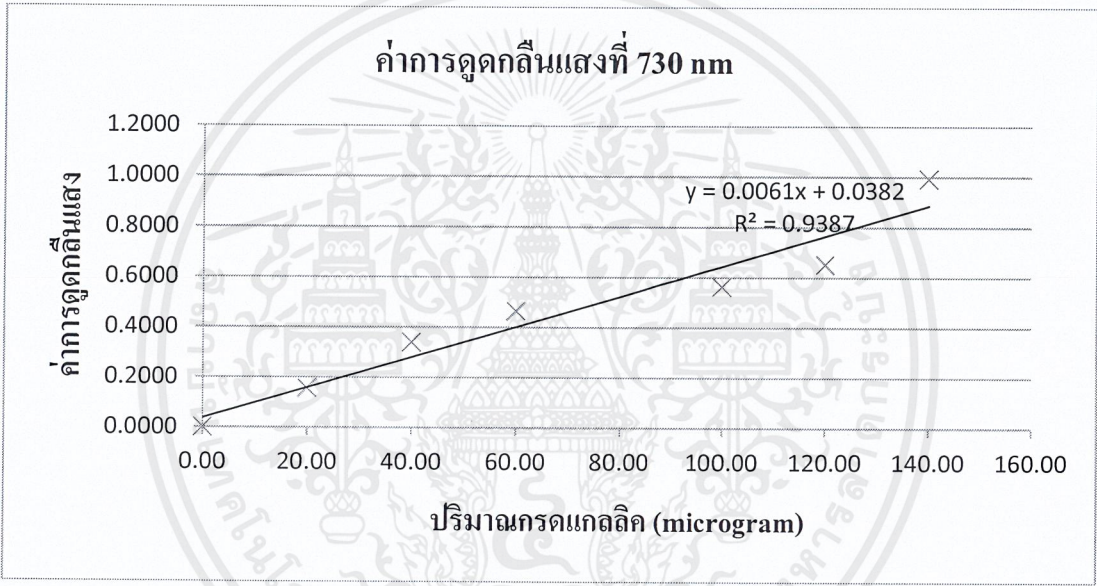
2.2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานดังกล่าวใส่หลอดทดลอง ปริมาตร 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 และ 0.35 มิลลิลิตร

2.3 เติมสารละลาย Folin-ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Vortex mixer) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที

2.4 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม(Vortex mixer)ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 10 นาที

2.5 วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

2.6 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดแกลลิกในหน่วย ไมโครกรัม



ภาพภาคผนวก ข 1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่างสารสกัด

3.1 ปิเปตตัวอย่าง ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรรวมในแต่ละหลอดเป็น 10 มิลลิลิตร

3.2 เติมสารละลาย Folin-ciocalteu ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม

(Vortex mixer)ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที

3.3 เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม(Vortex mixer)ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 10 นาที

3.4 วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

4. การคำนวณ

การคำนวณปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

สมการจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

$$Y = 0.0061x + 0.0382$$

เมื่อ Y = ค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร

X = ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด(ไมโครกรัม/0.5 มิลลิลิตรสารสกัดตัวอย่าง)

ตัวอย่างการคำนวณกระเจียบสด

สารสกัดจากตัวอย่าง

ปริมาณสารสกัดตัวอย่างกระเจียบสด 0.5มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730นาโนเมตร เท่ากับ 0.581 แทนค่าในสมการจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

จากสมการ $Y = 0.0061x + 0.0382$

จะได้ $0.581 = 0.0061x + 0.0382$

$$X = 88.9836 \text{ ไมโครกรัม/0.5 มิลลิลิตรสารสกัดกระเจียบสด}$$

สารสกัดกระเจี๊ยบสดมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 88.9836 ไมโครกรัม/0.5 มิลลิลิตรสารสกัดกระเจี๊ยบ

สารสกัดกระเจี๊ยบสดมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด = 17796.72 ไมโครกรัม/100 มิลลิลิตรสารสกัดกระเจี๊ยบ

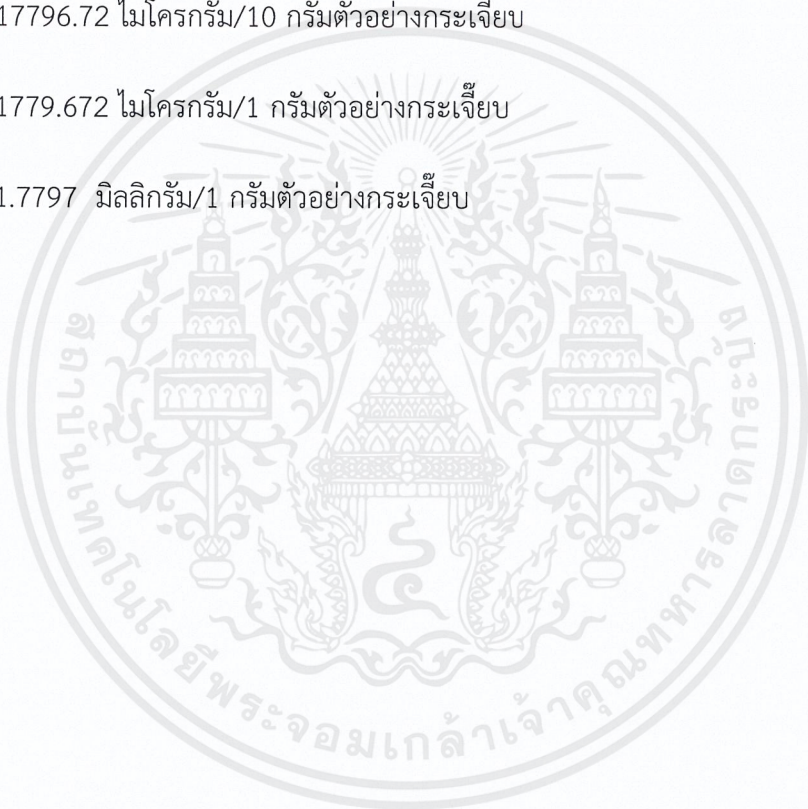
ในสารสกัดกระเจี๊ยบ 100 มิลลิลิตรมีปริมาณตัวอย่างกระเจี๊ยบสดอยู่ 10 กรัม

ดังนั้น สารสกัดกระเจี๊ยบมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด

$$= 17796.72 \text{ ไมโครกรัม} / 10 \text{ กรัมตัวอย่างกระเจี๊ยบ}$$

$$= 1779.672 \text{ ไมโครกรัม} / 1 \text{ กรัมตัวอย่างกระเจี๊ยบ}$$

$$= 1.7797 \text{ มิลลิกรัม} / 1 \text{ กรัมตัวอย่างกระเจี๊ยบ}$$



ภาคผนวก

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH scavenging activity)

การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยมีหลักการคือเมื่อสารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งมีสีม่วงแดงทำปฏิกิริยากับสารสกัดที่มีสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายจากสีม่วงแดงเป็นไม่มีสีหรือมีสีจางลง ซึ่งในกรณีที่สารสกัดมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี จะทำให้สีม่วงแดงของสารละลาย DPPH จางลงได้มากกว่าสารสกัดที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้น้อย สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงโดยการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

1). สารเคมี

1.1 สารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ เตรียมโดยชั่ง DPPH 0.0158 กรัม ละลายในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 50 มิลลิลิตร

1.2 เอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์

2). วิธีวิเคราะห์

3.1 ปิเปตตัวอย่างสารสกัดและเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ลงในหลอดทดลอง โดยให้ปริมาตรรวมของตัวอย่างสารสกัดและเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ในหลอดเป็น 5.4 มิลลิลิตร

3.2 ปิเปตสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์ 0.6 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ซึ่งปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยารวมทั้งหมดในหลอดทดลองเป็น 6 มิลลิลิตร

3.3 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีในที่มืด

3.4 ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์เป็น blank และในหลอดควบคุมจะใช้ตัวทำละลายแทนตัวอย่างสารสกัดในข้อ

3.1 ในปริมาณที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 57 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 คำนวณความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยแทนค่าในสมการดังนี้

$$\{ 1 - (\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} / \text{ค่าการดูดกลืนแสงของหลอดควบคุม}) \} \times 100$$

และนำไปเทียบกับกราฟมาตรฐานโทรลอคซ์

4). การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างใบเตย, กระจับปี่, กล้วยชันก่อนกระบวนทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งและใบเตย, กระจับปี่, กล้วยชัน ที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้ว

วิธีการวิเคราะห์ทำโดยดูดสารสกัดที่เจือจางให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมมาปรับปริมาตรด้วยเอธานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ให้ปริมาตรรวมเป็น 5.4 มิลลิลิตร เติมนสารละลาย DPPH 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (vortex mixer) วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีในที่มืด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหาความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่าง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของโทรลอคซ์

5). การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างสารสกัดสมมูลโทรลอคซ์ โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ตามสมการต่อไปนี้

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

6). ตัวอย่างการคำนวณกระจับปี่สด

สารสกัดจากตัวอย่าง

ปริมาณสารสกัดตัวอย่างกระจับปี่สด 0.4 มิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เท่ากับ 0.279 และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ของตัวอย่างควบคุมเท่ากับ 0.901 แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH} &= 1 - (0.279 - 0.901) \} \times 100 \\ &= 63.20\% \end{aligned}$$

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดลอง

• ข้อมูลการวัดสี

ตารางภาคผนวก ง 1 ค่าสี L a b ในตัวอย่างใบเตย

ซ้ำ	ค่าสีตัวอย่างสด			ค่าสีตัวอย่างแห้ง		
	L	a	b	L	a	b
1	95.62	-2.37	3.20	94.60	-2.55	3.47
2	99.35	-2.59	5.06	95.10	1.75	-4.52
3	90.03	2.48	-7.43	91.68	-4.05	8.82
4	92.38	2.34	-3.10	94.43	-4.39	6.98
5	90.67	1.19	-3.45	89.35	-1.79	0.32
6	101.10	-1.00	4.21	102.64	2.96	-5.54
7	91.56	4.01	-8.03	89.90	-0.02	-1.66
8	92.10	2.15	-6.11	101.02	5.82	-8.19
9	95.02	-0.48	-1.49	78.62	-0.13	-2.96
10	92.84	6.21	-10.36	101.16	0.38	-3.51
11	83.18	11.63	-19.82	96.24	-4.46	6.38
12	88.56	4.26	-10.44	99.86	-2.06	-1.56
13	92.44	5.06	-10.99	90.39	1.00	-4.89
14	95.02	-2.24	0.50	87.84	-3.40	3.41
15	104.56	2.36	0.16	90.70	4.96	-9.72
16	81.63	10.65	-18.45	84.66	0.12	-3.05
17	86.32	7.02	-13.98	92.22	1.85	-7.34
18	95.05	3.80	-13.98	101.16	0.38	-3.51
19	95.72	0.76	-3.26	87.56	-2.07	0.45
20	94.22	2.00	-2.92	85.60	-1.17	-0.24
21	90.55	1.92	-3.31	93.80	-4.46	6.38
22	93.99	4.49	-8.59	90.18	-2.06	-1.56
23	92.42	1.45	-4.05	100.59	1.00	-4.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 59 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24	94.26	-1.81	-2.09	96.06	-3.40	3.41
25	107.39	1.87	-1.23	83.00	4.96	-9.72
26	87.02	9.03	-16.87	86.69	0.12	-3.05
27	98.53	1.63	-1.57	93.96	1.85	-7.34
28	99.80	0.94	-2.59	94.52	-0.13	-2.96
29	98.30	-0.24	-1.59	85.84	-2.07	0.45
30	87.36	5.33	-12.60	106.85	-1.17	-0.24
รวม	93.57	2.73	-5.84	92.87	-0.41	-1.55

ตารางภาคผนวก ง 2 ค่าสี L a b ในตัวอย่างอัญชัน

ข้อ	ค่าสีตัวอย่างสด			ค่าสีตัวอย่างแห้ง		
	L	a	b	L	a	b
1	103.06	-6.33	21.62	107.04	-7.44	5.94
2	88.63	1.30	-3.18	115.50	-8.90	10.93
3	84.30	2.64	-10.52	115.52	-5.34	6.44
4	106.10	-6.03	11.38	107.59	1.46	-7.93
5	97.45	-4.10	5.10	86.48	10.89	-26.70
6	60.97	12.54	-24.34	101.53	0.49	-7.91
7	86.58	4.22	-8.61	92.93	3.96	-15.00
8	113.42	-13.52	26.88	117.32	-8.66	11.99
9	78.20	4.96	-11.07	85.62	15.38	-25.05
10	96.53	-7.38	7.97	92.92	8.50	-22.47
11	99.14	-10.22	17.72	105.45	-5.58	6.40
12	78.71	3.41	-6.44	96.69	-0.05	-6.56
13	89.34	-4.83	6.53	94.79	7.32	-15.62
14	108.74	-13.73	19.21	97.55	0.94	-2.49
15	58.97	19.36	-35.77	105.81	-0.25	-11.30
16	60.90	17.80	-32.86	103.12	-2.31	-3.19
17	73.92	5.77	-10.90	84.20	5.90	-13.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 60 งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18	83.29	4.60	-11.04	96.21	-6.71	11.85
19	77.84	3.62	-10.05	114.47	-6.78	3.89
20	85.01	-6.22	1.27	66.82	24.04	-35.30
21	75.30	5.60	-11.61	107.18	-3.13	1.06
22	78.02	7.42	-10.10	115.43	-6.75	8.47
23	93.86	-7.21	10.78	102.61	-0.46	-6.74
24	96.20	-7.55	12.08	110.57	-1.54	4.36
25	76.83	8.30	-20.16	81.25	18.69	-32.96
26	101.31	-6.90	14.45	95.93	9.15	-23.57
27	81.34	6.78	-11.22	115.21	-9.95	14.69
28	81.48	5.65	-13.62	94.80	8.93	-16.24
29	92.53	0.01	1.19	112.35	-4.54	4.95
30	95.35	-3.33	4.90	107.95	-2.25	-0.33
รวม	86.78	0.55	-2.35	101.03	1.17	-6.05

ตารางภาคผนวก ง 2 ค่าสี L a bในตัวอย่างกระเจี๊ยบ

ซ้ำ	ค่าสีตัวอย่างสด			ค่าสีตัวอย่างแห้ง		
	L	a	b	L	a	b
1	86.72	-5.66	9.91	117.09	13.71	17.90
2	103.51	1.79	16.17	98.82	11.89	12.98
3	93.18	-14.57	5.09	113.17	28.86	19.48
4	99.42	3.35	13.27	104.85	12.02	11.52
5	97.38	-11.84	6.24	110.57	17.72	13.67
6	99.16	-2.67	10.60	110.60	21.07	15.64
7	96.58	-2.32	6.47	105.49	15.51	10.94
8	98.21	1.36	11.27	95.84	12.09	10.82
9	104.43	3.41	12.66	115.19	20.83	14.83
10	102.54	15.03	22.99	114.68	18.72	14.21
11	98.11	2.73	10.14	109.40	3.79	13.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 61 งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12	101.47	1.18	16.03	119.74	-8.42	17.17
13	93.22	-1.47	9.31	114.35	19.37	14.87
14	96.10	-8.52	6.83	113.83	9.18	13.98
15	94.36	-5.85	5.52	118.73	9.59	12.78
16	91.17	15.16	20.40	110.63	-11.48	12.35
17	99.18	2.84	9.98	108.08	12.31	15.51
18	91.16	-1.38	8.57	99.02	9.81	14.34
19	92.36	-13.55	4.08	104.82	7.46	14.53
20	96.77	17.05	6.59	113.34	17.33	19.08
21	101.86	3.99	14.37	108.11	8.44	15.67
22	96.01	-4.09	5.65	118.19	-4.16	17.98
23	96.93	-5.30	6.23	113.16	10.38	17.43
24	100.18	-1.05	13.16	111.65	5.97	14.30
25	97.50	-6.69	6.75	116.80	19.76	19.08
26	83.31	-12.39	3.59	111.80	12.27	14.34
27	101.14	-3.55	8.93	111.66	-0.30	12.68
28	100.77	-8.07	12.23	115.35	19.55	20.52
29	93.11	-9.47	7.50	109.35	9.07	15.73
30	89.12	-3.92	7.86	118.82	11.20	18.64
รวม	96.50	-1.82	9.95	111.10	11.12	15.23

- ข้อมูลการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเตย

ตารางภาคผนวก ง 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเตย

ซ้ำ	ปริมาณคลอโรฟิลล์ในตัวอย่างสด	ปริมาณคลอโรฟิลล์ในตัวอย่างแห้ง
1	50.40	48.30
2	55.20	55.20
3	57.20	62.40
4	59.10	53.80
5	52.90	52.90
6	55.60	47.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและ 62 งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	55.30	60.50
8	54.50	51.60
9	51.10	45.20
10	53.50	64.50
11	54.00	48.10
12	55.40	60.30
13	53.10	63.00
14	53.70	54.40
15	59.80	56.40
16	53.20	46.80
17	51.20	58.30
18	56.40	56.60
19	56.30	55.00
20	60.50	47.00
21	59.30	47.10
22	55.60	60.30
23	53.40	62.80
24	52.30	54.40
25	59.20	56.40
26	51.00	46.80
27	55.40	58.30
28	59.90	56.60
29	59.50	55.00
30	49.10	46.80
รวม	55.10	54.40

- ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทั้งสามชนิด ในการตรวจหาปริมาณ TSPCs

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 nm	
	ก่อนการอบแห้ง	หลังการอบแห้ง
กระเจี๊ยบ	0.581	2.532
	0.587	2.542
	0.575	2.521
รวม	0.581	2.532
อัญชัน	0.905	1.674
	1.016	1.803
	0.982	1.802
รวม	0.968	1.760
เตยหอม	0.571	0.673
	0.636	0.718
	0.593	0.730
รวม	0.600	0.707

- ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง ของตัวอย่างทั้งสามชนิด ในการตรวจหา AOA

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm	
	ก่อนการ อบแห้ง	หลังการ อบแห้ง
กระเจี๊ยบ	0.281	0.303
	0.274	0.324
	0.283	0.318
รวม	0.279	0.315
อัญชัน	0.317	0.236
	0.296	0.219
	0.294	0.228
รวม	0.302	0.228
เตยหอม	0.550	0.526
	0.560	0.539
	0.551	0.535
รวม	0.554	0.533

ประวัติผู้เขียน (ก)

ชื่อ-นามสกุล นางสาวณันพัชร เจริญสัมฤทธิ์

วัน เดือน ปี เกิด 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2534

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2550-2552 โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี

 พ.ศ. 2553-2556 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

 สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่ติดต่อ บ้านเลขที่ 2/50 หมู่ 5 ถนนติวานนท์ ตำบลบางกะดี อำเภอ เมือง

 จังหวัด ปทุมธานี 12000

เบอร์โทรศัพท์ 08-3008-4784

อีเมลล์ d.lion.tarn@gmail.com

ประวัติผู้เขียน (ข)

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุกัญญา ภู่อี่ยม
วัน เดือน ปี เกิด	26 กันยายน พ.ศ. 2534
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2547-2552 โรงเรียนสายน้ำผึ้ง ในพระอุปถัมภ์ฯ พ.ศ. 2553-2556 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถานที่ติดต่อ	บ้านเลขที่ 1/4ค หมู่ที่ 2 ต.ลำโรงกลาง อ. พระประแดง จ. สมุทรปราการ 10130
เบอร์โทรศัพท์	08-4216-6778
อีเมลล์	sn_kik@hotmail.com

ประวัติผู้เขียน (ค)

ชื่อ-นามสกุล นางสาวสุภัทรา ธรรมสัจจร

วัน เดือน ปี เกิด 22 เมษายน พ.ศ. 2535

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2550-2552 โรงเรียนเศรษฐบุตรบำเพ็ญ

 พ.ศ. 2553-2556 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

 สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่ติดต่อ 11 ซอย รามอินทรา 117 แยก 3 ถนน รามอินทรา

 แขวง มีนบุรี เขต มีนบุรี กรุงเทพฯ 10510

เบอร์โทรศัพท์ 08-7681-8079

อีเมลล์ st.suphatra@gmail.com