สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเห็ดบางชนิด

Effect of different drying methods on antioxidant quantities of some mushrooms

T117254

นายวิษณุ สมจริง

นางสาวโสภาวรรณ เล็กน้อย

นางสาวหนึ่งฤทัย โรงกระโทก

ตรหปู.....
เลขทะเบียน 117254
วัน,เดือน,ปี 19 ก.ค. 2554

b.12338953
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF DIFFERRENT DRYING METHODS ON ANTIOXIDANT QUANTITIES OF SOME MUSHROOMS

WISANU SOMCHING

SOPAWAN LEKNOI

NUINGRUITAI RONGKATHOK

A SPECIAL PROJECT SUMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN BIOTECHNOLOGY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ผลของวิธีการทำแห้งเห็ดบางชนิดต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ
Effect of different drying methods on antioxidant quantities of some mushrooms

ชื่อนักศึกษา นายวิษณุ สมจริง
นางสาวโสภาวรรณ เล็กน้อย
นางสาวหนึ่งฤทัย โรงกระโทก

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. มงคล เพ็ญสายใจ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง	
ผศ.วีนา ชูโชติ	
ผศ.มงคล เพ็ญสายใจ	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเห็ดบางชนิด Effect of different drying methods on antioxidant quantities of some mushrooms	
ชื่อนักศึกษา	นายวิษณุ	สมจริง
	นางสาวโสภาวรรณ	เล็กน้อย
	นางสาวหนึ่งฤทัย	โรงกระโทก
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. มงคล เพ็ญสายใจ	

บทคัดย่อ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสกัดสารสกัดจากเห็ดทั้งหมด 4 ชนิด คือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดฟาง เห็ดหอม และเห็ดเข็มทอง ที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 24, 25, 26 และ 27 ชั่วโมง และเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง โดยการทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลซึ่งประกอบไปด้วยอนุพันธ์สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ เบต้าแคโรทีน และไลโคปีน พบว่า เห็ดฟางที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) จะให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด คือ 5.42 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดเมื่อเทียบในเห็ดชนิดอื่น และเมื่อเปรียบเทียบดูที่สภาวะเวลาต่าง ๆ จะพบว่าที่เวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลจะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับทั้ง 2 วิธี ส่วนปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ พบว่าการทำแห้งแบบอบลมร้อนจะให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากกว่าการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก และเมื่อเปรียบเทียบดูที่สภาวะเวลาต่าง ๆ จะพบว่าที่เวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารฟลาโวนอยด์จะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับทั้ง 2 วิธี โดยพบว่าเห็ดหูหนูดำมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากที่สุด คือ 28.52 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ส่วนปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน พบว่าในเห็ดเข็มทองที่ทำแห้งโดยกรรมวิธีอบลมร้อน (H) 26 ชั่วโมง จะให้ปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนมากที่สุด คือ 0.37 และ 0.33 ไมโครกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ จากผลการทดสอบฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระในเห็ดทั้ง 4 ชนิดโดยวิธีการหาฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH พบว่า เห็ดหูหนูดำที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดในการทดลอง (10×10^{-1}) โดยแสดงค่าร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงสุด เท่ากับ 31.37 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Effect of different drying methods on antioxidant quantities of some Mushrooms
Students	Wisanu Somching
	Sopawan Leknoi
	Nuingrutai Rongkathok
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Biotechnology
Academic years	2010
Advisor	Asst.Prof. Mongkol Phensaijai

ABSTRACT

In this study, 4 mushrooms (*Auricularia auricula, Volvariella volvaceae, Lentinus edodes* and *Flammulina velutipes*) were dried by 2 methods : hot air oven at 24, 25, 26, 27 hour and dehydrator at 5, 6, 7, 8 hour. The study of phenolic compounds , flavonoid , ascorbic acid , β-carotene and lycopene of 4 mushroom extracts was found that the highest phenolic compounds amount is 5.42 $mg.g^{-1}$ of extract was found in *V. volvaceae* while the highest amount of flavonoid (28.52 $mg.g^{-1}$) was found in *A. auricula* extract. The highest amount of β-carotene (0.37 $\mu g.g^{-1}$) and lycopene (0.33 $\mu g.g^{-1}$) was found in *F. velutipes* extracts. Comparing with 4 mushrooms *A. auricula* was the highest percentage of DPPH radical scavenging is 31.37 and comparing with 2 methods of mushroom drying, hot air oven at 24 hour showed the highest antioxidant properties .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้ได้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ซึ่งสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณในความกรุณาของ ผศ.มงคล เพ็ญสายใจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ได้เสียสละเวลาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ ให้ความรู้ และคำแนะนำที่ดีในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนการตรวจสอบความถูกต้องของการทำโครงงานพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง ประธานกรรมการ และผศ.วีนา ชูโชติ ที่คอยชี้แนะการปรับปรุง แก้ไข และความถูกต้องของโครงงานพิเศษเล่มนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาททั้งวิชาความรู้ ตลอดจนคุณธรรม จริยธรรม และคอยให้ความช่วยเหลือ ตลอดเวลาที่ศึกษาเล่าเรียน

ขอขอบคุณ เพื่อนๆพี่ๆน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ให้กำลังใจและมิตรภาพที่ดีต่อกัน เสมอมาและตลอดไป

ท้ายที่สุด ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวเป็นอย่างยิ่งที่คอยส่งเสริมสนับสนุนในทุกๆเรื่อง และยังเป็นกำลังใจที่สำคัญตลอดมา

นายวิษณุ สมจริง

นางสาวโสภาวรรณ เล็กน้อย

นางสาวหนึ่งฤทัย โรงกระโทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เห็ดหอม	4
2.2 เห็ดฟาง	5
2.3 เห็ดหูหนูดำ	7
2.4 เห็ดเข็มทอง	8
2.5 อนุมูลอิสระ	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 ปัจจัยภายในร่างกาย	9
2.5.1.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง	9
2.5.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง	10
2.5.1.3 กระบวนการกำจัดสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว	11
2.5.1.4 โลหะทรานสิชัน	11
2.5.2 ปัจจัยภายนอก	12
2.5.3 การเกิดอนุมูลอิสระ	12
2.5.4 ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน	12
2.5.5 อนุมูล 1-Diphenyl-2-picrahydrazyl	14
2.6 อนุมูลอิสระแรงสูง	15
2.6.1 อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์	15
2.6.2 อนุมูลไฮดรอกซิล	16
2.6.3 อนุมูลไนตริกออกไซด์	16
2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ	16
2.7.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย	17
2.7.2 สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหารและไม่จัดว่าเป็นเอนไซม์	17
2.7.2.1 สารประกอบฟีนอลิก	17
2.7.2.2 ฟลาโวนอยด์	18
2.8 สารต้านอนุมูลอิสระในพืชและอาหาร	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่เป็นวิตามิน 20

2.8.2 สารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่วิตามิน 20

2.8.3 กลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสารมีสีในพืช 21

2.8.4 แร่ธาตุ 25

2.9 ผลกระทบของอนุมูลอิสระต่อสุขภาพ 26

2.10 ค่าบ่งชี้หรือดัชนีชีวภาพ 26

2.10.1 ดัชนีชี้วัดจากความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน 28

2.10.1.1 วิธี TRAP 30

2.10.1.2 วิธี ORAC 31

2.10.1.3 วิธี TEAC 34

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 37

3.1 วัสดุอุปกรณ์ 37

3.1.1 วัตถุดิบ 37

3.1.2 เครื่องมือ 37

3.1.3 สารเคมี 37

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย 38

3.2.1 ตัวอย่าง 38

3.2.3 การเตรียมตัวอย่าง 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 การหาปริมาณของสารประกอบฟีนอล	39
3.2.4.1 การหาปริมาณของสาร phenolic compounds	39
3.2.4.2 การหาปริมาณของสาร flavonoid	39
3.2.4.3 การหาปริมาณของสาร β-carotene และ lycopene	39
3.2.5 การหาฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	41
4.1 การหาปริมาณของสารประกอบฟีนอล	41
4.1.1 ผลการหาปริมาณของสาร phenolic compounds	41
4.1.2 ผลการหาปริมาณของสารฟลาโวนอยด์	43
4.1.3 ผลการหาปริมาณของสาร β-carotene	44
4.1.4 ผลการหาปริมาณของสาร lycopene	46
4.2 ผลการทดสอบหาฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH	47
4.2.1 ผลของสารสกัดเห็ดแต่ละชนิด ที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้ง ที่แตกต่างกัน 2 วิธี ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	47
4.2.1.1 เห็ดหูหนูดำ	48
4.2.1.2 เห็ดฟาง	49
4.2.1.3 เห็ดหอม	51
4.2.1.4 เห็ดเข็มทอง	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	57
5.1สรุปผลการวิจัย	57
5.2ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก ก	62
ภาคผนวก ข	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 วิธีวิเคราะห์หาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน 30

2.2 ค่าดัชนี TAC วิเคราะห์โดยวิธีต่างๆ 36

5.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดแต่ละชนิด ในแต่ละวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในการหาปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนฟีนอล 64

5.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดแต่ละชนิด ในแต่ละวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในการหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ 66

5.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดแต่ละชนิด ในแต่ละวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในการหาปริมาณแบต้าแคโรทีนและไลโคปีน 68

5.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดแต่ละชนิด ในแต่ละวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในการยับยั้งอนุมูลDPPH 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เห็ดหอม	4
2.2	เห็ดฟาง	5
2.3	เห็ดหูหนูดำ	7
2.4	เห็ดเข็มทอง	8
2.5	การทำงานของเอนไซม์ไลโปออกซีจีเนส	11
2.6	ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน	13
2.7	สูตรโครงสร้างของ DPPH	14
2.8	ปฏิกิริยาของเฮสเพอริดินกับด่าง	18
2.9	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของฟลาโวนอยด์แต่ละชนิด	19
2.10	ปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยด่างของเจนีสตีน	19
2.11	ตัวอย่างฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชบางชนิด	21
2.12	สูตรโครงสร้างของไลโคพีน	22
2.13	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแกมมา-แคโรทีน	22
2.14	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแอลฟา- และบีตา-แคโรทีน	23
2.15	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของคริพโตแซนทิน	23
2.16	ปฏิกิริยาการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ	24
2.17	ดัชนีชีวภาพที่ใช้บ่งชี้ภาวะถูกออกซิไดซ์มากเกินสมดุล	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.18	การวิเคราะห์หาดัชนีความสามารถในการต้านอนุมูลโดยใช้วิธี ORAC คำนวณจากพื้นที่ภายใต้เส้นกราฟ AUC ของการลดลงของแสงฟลูออเรสเซนส์	32
2.19	อนุมูล DPPH	35
4.1	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเห็ด 4 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อน (H)	42
4.2	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเห็ด 4 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออก (D)	42
4.3	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของเห็ด 4 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อน (H)	43
4.4	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของเห็ด 4 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออก (D)	44
4.5	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของเห็ด 4 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อน (H)	45
4.6	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของเห็ด 4 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออก (D)	45
4.7	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารไลโคปีนของเห็ด 4 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อน (H)	46
4.8	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารไลโคปีนของเห็ด 4 ชนิดที่ผ่านการทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออก (D)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.9 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดหูหนูดำในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol 48

4.10 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดหูหนูดำในกรรมวิธีการทำแห้งแบบการกำจัดน้ำออก (D) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol 49

4.11 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดฟางในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol 50

4.12 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดฟางในกรรมวิธีการทำแห้งแบบการกำจัดน้ำออก (D) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol 51

4.13 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดหอมในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานBHA และ α-tocopherol 52

4.14 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดหอมในกรรมวิธีการทำแห้งแบบการกำจัดน้ำออก (D) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดเข็มทองในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol	54
4.15	แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดเข็มทองในกรรมวิธีการทำแห้งแบบการกำจัดน้ำออก (D) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol	55
ก1	แสดงกราฟมาตราฐาน Gallic acid ใช้เทียบกับปริมาณสารฟีนอลลิก	62
ก2	แสดงกราฟมาตราฐานของ Catechin เทียบปริมาณของสารฟลาโวนอยด์	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เห็ด(mushroom) คือ สิ่งมีชีวิตจำแนกอยู่ในพวกจุลินทรีย์ (microorganisms) ไม่สามารถสังเคราะห์แสงเองได้ (non-photosynthesis) จึงไม่สามารถผลิตสารสีเขียวหรือ คลอโรฟิลล์ เห็ดที่มีสีเขียวจะเกิดจากสารอื่นไม่ได้เกิดจากpigmentของคลอโรฟิลล์เหมือนพืชจึงไม่สามารถผลิตอาหารใช้เองได้ แต่เห็ดรามีองค์ประกอบเป็นเส้นใย (hypha) และ สืบพันธุ์โดยอาศัยเพศ (sexual reproduction) โดยใช้สปอร์ และบางกรณีสืบพันธุ์โดยไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) ดังนั้นเห็ดราจึงดำรงชีวิตโดยอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่น หรือเป็นเห็ดที่เกิดบนพืชหรือสัตว์ที่ยังมีชีวิตอยู่ (heterotroph microorganism) หรือจุลินทรีย์ด้วยกันเอง

เห็ดเป็นสิ่งมีชีวิตที่เข้ามาเกี่ยวพันกับชีวิตมนุษย์ไม่น้อยกว่า 3,000 ปีแล้ว มนุษย์รู้จักใช้ประโยชน์จากเห็ดทั้งในรูปอาหารและยา ในแง่ทางโภชนาการนั้น ถือว่าเห็ดเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีปริมาณโปรตีน เกลือแร่ และเส้นใยสูง แต่มีไขมันอยู่ในระดับต่ำ วงการสมุนไพรระดับสากล ยกให้เห็ด คือยาสมุนไพร ที่เป็นทางเลือกใหม่นอกจากสมุนไพรจากพืช ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้ให้ความสำคัญต่อระบบภูมิคุ้มกันที่เกิดจากสารต่างๆจากเห็ดในการต่อสู้กับจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดโรคระบาดที่สำคัญหลายชนิดได้แก่ โรคภูมิคุ้มกันบกพร่องซาร์ ไข้หวัดนก ไข้หวัด 2009 และโรคที่มีความเกี่ยวข้องกับมะเร็ง เป็นต้น เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเกิดเนื้องอก จึงมีความเป็นไปได้ที่เห็ดสามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันในสิ่งมีชีวิตจากกระบวนการเมแทบอลิซึม(metabolism)ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ (by-product) คือ สารอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งในสิ่งมีชีวิตจะสามารถผลิตเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระได้ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase) กลูตาไธโอนเพอร์รอกซิเดส (glutathione peroxidase) แต่ถ้ามีการสะสมของอนุมูลอิสระมากเกินไปทำให้เซลล์เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ซึ่งจะได้รับจากการรับประทานอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะเห็ด ซึ่งมีการค้นพบว่าเห็ดป่าจะมีสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผักถึง 40 เท่า และมีส่วนประกอบที่สามารถรักษาโรคได้ด้วย ในปัจจุบันมีการศึกษาฤทธิ์ทางยาของเห็ด ที่เป็นผลงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ไม่น้อยกว่า 500 เรื่อง สารออกฤทธิ์ที่สำคัญในเห็ด เช่น ไตรเตอร์ปีนอยด์ (triterpenoids) กรดที่จำเป็น (essence/acid) อะดีโนซีน (adenosine) เจอราเนียมอินทรีย์ (organic geranium)ที่สำคัญคือพอลิแซคคาร์ไรด์(polysaccharides)จะทำงานร่วมกับแมคโครฟาก์จ(macrophage)ซึ่งเป็นเซลล์คุ้มกันขนาดใหญ่ที่ออกจากหลอดเลือดเข้าสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อเยื่อและจะไปจับกับโพลีแซคคาไรด์ที่บริเวณกระเพาะอาหารและนำไปส่งยังเซลล์คุ้มกันตัวอื่นๆ โดยจะช่วยกระตุ้นวงจรการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายเสริมและช่วยเพิ่มปริมาณและประสิทธิภาพของเซลล์คุ้มกันธรรมชาติ ให้ทำหน้าที่ทำลายเซลล์แปลกปลอมที่เข้ามาในร่างกาย รวมถึงพวกไวรัสและแบคทีเรียอื่นๆ ด้วย เห็ดที่มีปริมาณสารโพลีแซคคาไรด์สูง คือ เห็ดหอมหรือเห็ดชิตาเกะ เห็ดนางรม เห็ดหูช้าง และเห็ดกระดุม เห็ดแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการทำงานของอวัยวะต่างๆในร่างกายได้แตกต่างกัน

สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่มีทรัพยากรที่มีความหลากหลายทางชีวภาพของเห็ดสูงมาก เป็นของดีที่มีอยู่ในท้องถิ่นประชาชนเข้าถึงได้ง่ายถ้าได้มีงานทางวิทยาศาสตร์เข้ามาสนับสนุนการใช้และมีการประชาสัมพันธ์ที่ดี นอกจากขจัดความกลัวว่าจะกินเห็ดมีพิษแล้ว ยังเป็นหนทางในการพัฒนาศักยภาพการใช้ทรัพยากรชีวภาพของประเทศเพื่อการดูแลสุขภาพทั้งทางตรงและทางอ้อมได้อย่างมหาศาลจึงควรให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับประโยชน์ของเห็ดพื้นบ้านหรือเห็ดในท้องถิ่นเพื่อสุขภาพของคนไทยในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณสารฟีนอลทั้งหมด 4 ชนิดดังนี้ สารประกอบเชิงซ้อนฟีนอล ฟลาโวนอยด์ เบต้าแคโรทีนและไลโคปีน ของเห็ดทั้ง 4 ชนิด เพื่อแสดงค่าเห็ดที่มีปริมาณสารฟีนอลมากที่สุด

2. ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งสารอนุมูล DPPH เป็นการศึกษาอัตราการทำปฏิกิริยาของสารตัวอย่างเห็ดทั้ง 4 ชนิดต่อสารอนุมูล DPPH

3. ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งทั้ง 2 วิธี คือ วิธีอบลมร้อน (hot air oven) และเครื่องกำจัดน้ำ (dehydrator) ที่สภาวะเวลาต่างๆกันต่อการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งเห็ด 4 ชนิด คือ เห็ดหอม เห็ดฟาง เห็ดหูหนูดำ เห็ดเข็มทองโดยใช้วิธีการทำแห้งทั้ง 2 วิธี คือ วิธีอบลมร้อนและเครื่องกำจัดน้ำที่สภาวะเวลาแตกต่างกัน เพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งศึกษาความสามารถในการขับอนุมูล DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมและผลของเวลาในการทำแห้งสำหรับการหาปริมาณและองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระ

2. ทราบถึงกลไกการออกฤทธิ์ระหว่าง อนุมูล DPPH และสารต้านอนุมูลอิสระ

3. สามารถนำสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสกัดไปใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมหรือใช้ประโยชน์ในทางด้านการแพทย์ เพื่อรักษาหรือใช้เป็นสารต่อต้านการเกิดมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 2.1 เห็ดหอม

ที่มา : http://aom-enfrance.blogspot.com/2010/03/blog-post_25.html, http://www.banboon.orgmush

2.1 เห็ดหอม

เห็ดหอม (black-Mushroom) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lentinus edodes* จะพบมากในแถบญี่ปุ่นและจีน โดยประเทศญี่ปุ่นจะเรียกเห็ดหอมว่า ชิอิตาเกะ(shiitake) เห็ดหอมชอบขึ้นบริเวณที่มีอากาศหนาวและความชื้นสูง เกิดขึ้นตามธรรมชาติในไม้พวกไม้โอ๊ก อุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 25 องศาเซลเซียส ดอกเห็ดหอมประกอบด้วยส่วนที่เป็นหมวกเห็ด (cap) ผิวหมวก ด้านบนมักมีสีน้ำตาล น้ำตาลปนแดง หรือค่อนข้างดำ ด้านล่างของหมวกเห็ดมีครีบ (gills) ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดของสปอร์เห็ด ต่อจากหมวกดอก ลงมาด้านล่างเป็นส่วนของก้านดอก (stalk) มีสีขาวหรือสีน้ำตาลอ่อน เมื่อถูกอากาศจะมีสีเข้มขึ้น ก้านดอกมีขนาดกว้างประมาณ 1-2 เซนติเมตร

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิเคราะห์ว่า ในเห็ดหอมมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายและสรรพคุณทางยาที่สำคัญ 3 ชนิดคือ

1. สารเลนติแนน (lentinan) เป็นสารที่ช่วยลดคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด

2. สารอิริทาดีนิน (eritadenin) เป็นสารที่ต่อต้านเซลล์เนื้องอก (มะเร็ง) โดยเฉพาะ มะเร็งในกระเพาะอาหาร

3. สารเอซีทูพี (Ac 2 P) เป็นสารที่ต่อต้านเชื้อไวรัส ที่ทำให้เกิดโรคหวัด หัด และโปลิโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็ดหอมจึงเป็นเห็ดที่นิยมบริโภคกันมากโดยเฉพาะในหมู่ชาวจีนและชาวญี่ปุ่น เนื่องจากเห็ดหอมเป็นเห็ดที่มีรสชาติดี กลิ่นหอมและคุณค่าทางอาหารสูงกว่าเห็ดชนิดอื่น ๆ เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการทำอาหารประเภทต้ม ตุ๋น โดยเฉพาะอาหารที่เข้าเครื่องยาจีน (วัลลภ, 2544)

รูปที่ 2.2 : เห็ดฟาง

ที่มา : http://www.eazydo.com/เพาะเห็ดฟางเปลือกถั่ว/, http://www.banboon. orgmush

2.2 เห็ดฟาง

เห็ดฟาง (straw mushroom) เป็นเห็ดพื้นเมืองของคนไทย เป็นเห็ดที่รู้จักและบริโภคกันมานานแล้ว เป็นเห็ดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในเขตร้อน โดยเฉพาะในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ประเทศไทย พม่า ลาว เป็นต้น แต่ก่อนนั้นเห็ดชนิดนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในกองเปลือกบัวจึงได้ชื่อว่าเป็น “ เห็ดบัว ” ต่อมาพบเห็ดชนิดนี้ขึ้นตามกองฟางข้าวจึงเรียกว่า “ เห็ดฟาง ”

เห็ดฟางมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Volvariella volvaceae* ส่วนประกอบที่สำคัญของเห็ดฟาง ได้แก่ หมวกดอก ครีบดอก ก้านดอก และปลอกหุ้ม เป็นเชื้อราชั้นสูงชนิดหนึ่งไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ดำรงพันธุ์อยู่ได้โดยการสร้างสปอร์ ปกติดอกเห็ดฟางจะมีสีขาวนวลหรือสีเทาบนดำ และเมื่อดอกเห็ดโตเต็มที่แล้วก้านดอกจะยาวประมาณ 6-8 เซนติเมตร การเจริญเติบโตเริ่มมาจากเส้นใยของเห็ดราที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยจะต้องมีปัจจัยที่สำคัญคือ สารอาหาร อุณหภูมิ ความชื้น อากาศแสงแดด ระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) (ยุทธนา, 2553)

รูปร่างของเห็ดฟาง (structure of straw mushroom)

เห็ดฟางมีส่วนประกอบและรูปร่างคล้ายเห็ดทั่ว ๆ ไป ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. เนื้อเยื่อหรือเปลือกที่หุ้มโคน (volva) ในขณะที่ดอกเห็ดยังอ่อนจะมีสีน้ำตาลห่อหุ้มดอกเห็ด เมื่อดอกเห็ดดันเยื่อหุ้มออกเนื้อเยื่อส่วนนี้จะอยู่ที่โคนเห็ด มีรูปร่างคล้ายถ้วยรองรับโคนเห็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ก้านดอก (stipe) เห็ดฟางจะมีก้านดอกเชื่อมระหว่างหมวกดอก และปลอกที่หุ้มโคน ก้านดอกเห็ดฟางจะมีสีขาว ผิวเรียบ และไม่เรียบ วงแหวนขนาดของก้านดอกขึ้นอยู่กับหมวกดอก ตามปกติมีความยาวประมาณ 4-14 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-12 เซนติเมตร

3. หมวกเห็ด (pileus) หมวกของเห็ดฟางมีลักษณะคล้ายร่มสีเทาค่อนข้างดำ โดนเฉพาะตรงกลางหมวกดอกจะมีสีเข้มกว่าขอบหมวก ขนาดของหมวกดอกขึ้นอยู่กับอาหารและสภาพแวดล้อม ตามปกติจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-12 เซนติเมตร

4. ครีบดอก (gills) เห็ดฟางจะมีครีบดอกเป็นจำนวนมาก มีสีน้ำตาลเข้ม ครีบดอกเรียงตัวกันเป็นรัศมีรอบก้านดอกมีลักษณะตรงผิวเรียบ ที่บริเวณครีบของเห็ดฟางจะเป็นแหล่งสร้างสปอร์

5. สปอร์ (basidiospore) สปอร์ของเห็ดฟางมีลักษณะเป็นรูปไข่ (egg shape) มีความยาวประมาณ 7 - 8 ไมโครเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 - 5 ไมโครเมตร เห็ดฟางจัดเป็นเห็ดที่เน่าเสียเร็ว จึงไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเหมือนกับเห็ดชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะเห็ดฟางจะขับน้ำย่อยออกมาย่อยตัวเอง (autolysis) ดังนั้นการเก็บผลผลิตเห็ดฟางควรทำระยะดอกตูมนับว่าเหมาะสมที่สุด

วงจรชีวิตของเห็ดฟาง

เห็ดฟางเมื่อเจริญเติบโตที่มีการสร้างสปอร์จะมีการสร้างเป็นหมื่น ๆ สปอร์เหล่านี้เมื่อปลิวไปตกในที่มีความชื้นและอุณหภูมิเหมาะสมก็จะงอกเส้นใยชั้นต้น (primary myceluim) ออกมา จากนั้นจะมีการรวมตัวกันของเส้นใยชั้นต้นเป็นเส้นใยชั้นที่ 2 (secondary mycelium) การรวมตัวของเส้นใยดังกล่าวอาจเกิดจากเส้นใยที่เกิดจากสปอร์เดียวกัน เรียกว่า โฮโมทาลิก (homothalic) หรือ เฮเทอโรทาลิก (heterothalic) มีโอกาสเกิดน้อยกว่าโฮโมทาลิก จากการศึกษาถึงจำนวนนิวเคลียสภายในเส้นใย พบว่าในเส้นใยมีนิวเคลียสเป็นจำนวนมากถึง 36 นิวเคลียส เส้นใยที่เกิดจากเฮเทอโรทาลิกจะเกิดช้ากว่าเส้นใยที่เกิดแบบโฮโมทาลิก และจะไม่พบคลาไมโดสปอร์ในเส้นใยแบบเฮเทอโรทาลิก ตามปกติแล้วเห็ดฟางมีการเจริญเติบโตและการใช้พลังงานในการดำรงชีพสูงกว่าเห็ดอื่น ๆ แต่เห็ดฟางสามารถย่อยเซลลูโลสและลิกนินได้น้อย (ไชยันและถาวร, 2547)

ในปัจจุบันเห็ดฟางเป็นเห็ดที่มีผู้นิยมบริโภคกันมาก เพราะเห็ดฟางมีรสชาติอร่อย มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะพวกโปรตีน วิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และมีไขมันต่ำ ปลอดภัยจากสารพิษ สามารถหาซื้อได้ง่าย เพราะมีขายตามท้องตลาดทั่วไปและมีขายทุกฤดูกาล (ยุทธนา, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 : เห็ดหูหนูดำ

ที่มา : http://www.skoolbuz.com/library/content/1012

2.3 เห็ดหูหนูดำ

เห็ดหูหนูดำเป็นเห็ดที่รู้จักกันแพร่หลายทั่วโลกมานานแล้ว โดยเฉพาะประเทศทางทวีปเอเชียเอเชีย เช่น ไทย จีน ญี่ปุ่น เกาหลี ไต้หวัน เวียดนาม ฟิลิปปินส์ พม่า และมาเลเซีย เป็นต้น เนื่องจากเห็ดหูหนูมีรสชาติและกลิ่นดี นอกจากนี้ยังถือว่าเป็นยาอายุวัฒนะ ถ้าบริโภคเป็นประจำจะสามารถรักษาโรคคอเจ็บโลหิตจางและแก้ร้อนในได้ ดังนั้นเราจึงมักพบเสมอในอาหารหลายชนิด ทั้งที่ทำรับประทานกันตามบ้านและขายในร้านอาหารและภัตตาคารไทยและจีนแทบทุกแห่ง

อีกประการหนึ่งประเทศไทยมีสภาพดินฟ้าอากาศเหมาะในการเพาะเห็ดชนิดนี้มากแทบทุกภาคและยังมีวัสดุที่ใช้เพาะอย่างมากมาย เช่น ไม้เนื้ออ่อน เนื้อแข็งทุกชนิด และขี้เลื่อยก็สามารถนำมาใช้เพาะเห็ดหูหนูดำได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม แม้ในขณะนี้จะเพาะได้บ้างแล้วในประเทศ แต่ก็ยังคงต้องสั่งมาจากต่างประเทศอีก ซึ่งทำให้เงินตรารั่วไกลออกไปต่างประเทศปีละมาก ๆ

เห็ดหูหนูดำมีขึ้นอยู่ตามธรรมชาติบนขอนไม้หรือไม้ผุ พบมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีขนาด สีสัน รูปร่าง และลักษณะประจำพันธุ์ เช่น สี อาจเป็นสีขาว น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแดง ดำ หรือน้ำตาลไหม้เกือบดำที่ผิวหยักของเนื้อดอก และความหนาบ้างของดอกมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ (ชำนาญ, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 : เห็ดเข็มทอง

ที่มา: http://www.bassbio.everthai.com

2.4 เห็ดเข็มทอง

ในบรรดาเห็ดรับประทานที่ชอบอากาศเย็นและนิยมเพาะเป็นการค้าอย่างกว้างขวางนั้น นอกจากเห็ดกระดุม เห็ดหอม และเห็ดนางรมแล้ว ยังมีเห็ดเข็มทองอีกชนิดหนึ่งที่เพาะกันมาก ทั้งในประเทศญี่ปุ่น จีน และไต้หวัน โดยเฉพาะญี่ปุ่น เทคโนโลยีการเพาะเห็ดชนิดนี้ได้รับการพัฒนารุดหน้าไปมาก จนสามารถผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อีกทั้งชาวญี่ปุ่นเองก็นิยมบริโภคเห็ดเข็มทอง อาจจะเป็นเพราะรสชาติดี สะอาด นำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด ทั้งประเภทน้ำและแห้ง เช่น อาหารสุกี้ และน้ำซุป

เห็ดเข็มทอง (*Flammulina velutipes* (Curt, ex Fr.) Sing.) พบขึ้นทั่วไปในเขตหนาว เช่น จีน ญี่ปุ่น อเมริกา และออสเตรเลีย ชอบขึ้นกับไม้ตายแล้วและออกดอกในช่วงฤดูหนาว ชาวบ้านจึงนิยมเรียกเห็ดชนิดว่า เห็ดเหมันต์ (winter mushroom) ดอกเห็ดในธรรมชาติมีสีเหลือง-ส้ม น้ำตาล-แดง หมวกเล็ก ลำต้นสั้นชาวญี่ปุ่นรู้จักรับประทานเห็ดชนิดนี้มานานหลายศตวรรษ จนสามารถเพาะเห็ดจากท่อนไม้แทนการเก็บจากเห็ดป่า และได้รับการศึกษาค้นคว้าต่อจนถึงปี พ.ศ. 2471 Morimoto ก็พบวิธีการเพาะเห็ดจากขี้เลื่อย และพัฒนาเรื่องมาจนสามารถเพาะเห็ดเข็มทองได้ตลอดทั้งปีภายใต้การควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม พร้อมกันนี้ได้ผสมพันธุ์ใหม่ ๆ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีลักษณะดีตามต้องการ เช่น ดอกเห็ดสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน เจริญเติบโตดี ออกดอกง่าย ผลผลิตสูง มีอายุการตลาดอยู่ได้นาน ดังเช่นสายพันธุ์ที่ใช้เพาะกันอยู่ทุกวันนี้ (สำเภา, 2539)

สำหรับเห็ดเข็มทองและเห็ดเข็มเงินจะอยู่ในตระกูลเดียวกัน เห็ดเข็มเงินและเข็มทองมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างกันเล็กน้อย คือ เห็ดเข็มเงินก้านดอกและหมวกดอกจะมีสีขาว ส่วนเห็ดเข็มทองมีก้านดอกและหมวกดอกสีเหลืองทอง ส่วนบริเวณโคนก้านมีสีน้ำตาลดำ แต่เห็ดทั้งสองก็มีคุณค่าทางโภชนาการเหมือนกันทุกประการ ซึ่งประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน เยื่อใยและส่วนที่เป็นเถ้าร้อยละ 31.2, 5.8, 3.3 และ 7.6 ตามลำดับ ลักษณะของดอกเห็ด ทั้งหมวกดอก ก้าน

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดอกเหมือนเข็มหมุด ยาวเรียวมีความกรอบสูง เป็นเห็ดที่เจริญได้ดีในสภาพอากาศเย็น เช่นเดียวกับเห็ดแชมปิญอง และเห็ดหอม (สุดสายชล, 2550)

2.5 อนุมูลอิสระ (free radicals)

อนุมูลอิสระ (free radicals) เป็นสารที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (unpaired electron) อยู่ในวงนอกของอะตอมหรือโมเลกุลจึงมีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยา โดยรับอิเล็กตรอนจากสารอื่นๆ ใกล้เคียงทำให้ตนเองเสถียรขึ้น ในขณะเดียวกันก็ชักนำให้สารที่ให้อิเล็กตรอนไปนั้นมีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่จนอาจกลายเป็นสารที่มีความรุนแรง ซึ่งถ้าเกิดขึ้นในระบบสิ่งมีชีวิตอาจทำอันตรายกับส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ที่อยู่รอบ ๆ บริเวณนั้น ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต หรือดีเอ็นเอ ทำให้สารชีวโมเลกุลเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเสียหน้าที่การทำงาน ดังนั้นในสภาวะที่มีการสร้างอนุมูลอิสระเป็นจำนวนมาก จะก่อให้เกิดการบาดเจ็บของเซลล์ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ก่อให้เกิดพยาธิสภาพต่าง ๆ ได้เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคไขข้ออักเสบ และต้อกระจก

โดยปกติจะมีการกล่าวถึงเฉพาะอนุมูลอิสระ ที่เป็นสาเหตุการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกายเรา แต่แท้จริงแล้วสารกลุ่มออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxigen species, ROS) คือตัวการสำคัญอีกตัวหนึ่ง โดย ROS เป็นโมเลกุลที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ยังผลให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ในร่างกาย ทั้งอนุมูลอิสระและ ROS คือโมเลกุลหรืออิออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอก มีอายุสั้นมากประมาณ 10^{-3} - 10^{-10} วินาที จึงจัดว่าเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา

ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต จะพบอนุมูลอิสระของออกซิเจนชนิดต่าง ๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา การเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้มีสาเหตุมาจากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกร่างกาย

2.5.1 ปัจจัยภายในร่างกาย

2.5.1.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเอง (auto-oxidation) เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมันซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะ

1) ระยะเหนี่ยวนำ (Initiation) เป็นระยะที่กรดไขมันแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระโดยมีแสง อุณหภูมิ เป็นตัวเร่ง เป็นต้น

$$R + initiation \rightarrow R^{\bullet} + H^{\bullet}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ระยะเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical) (1) ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide) และอนุมูลอิสระ (2) ซึ่งถ้ามีแสงและความร้อนเป็นตัวเร่งก็จะเกิดปฏิกิริยาต่อทำให้อนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นก็สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่ได้ต่อไปเรื่อย ๆ ดังสมการ

$$R^{\bullet} + O_2 \rightarrow ROO^{\bullet} \qquad (1)$$

$$ROO^{\bullet} + RH \rightarrow ROOH + R^{\bullet} \qquad (2)$$

3) ระยะสิ้นสุด (termination) เป็นระยะที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นอาจรวมตัวกันในรูปแบบต่าง ๆ ดังสมการ

$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow RR$$

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \rightarrow ROOR + O_2$$

2.5.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง การทำงานของเอนไซม์สำคัญ 2 ชนิดที่มีผลกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระภายในร่างกาย ได้แก่

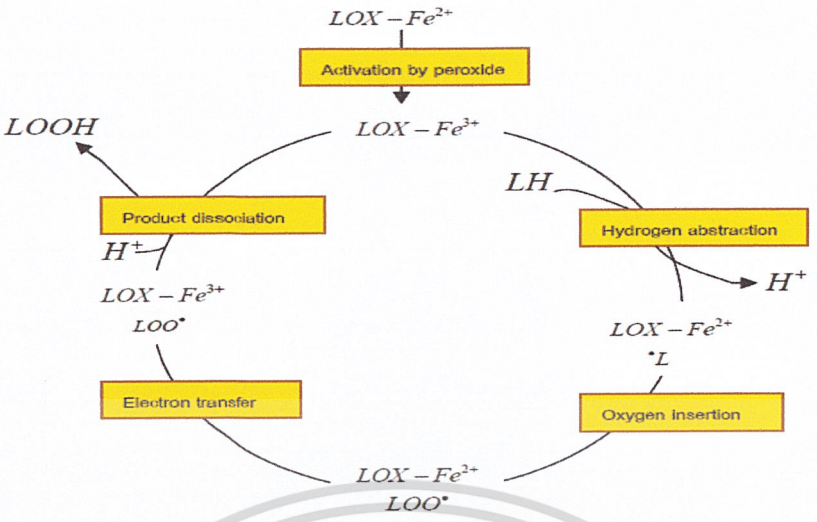
1) เอนไซม์แซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase, XO) ทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการสลายเบสพิวรีน (purine) โดยเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนไฮโปแซนทีน (hypoxanthine) และแซนทีน (xanthine) เป็นกรดยูริก (Uric acid) พร้อม ๆ กับขนถ่ายอิเล็กตรอนให้ออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) ดังสมการ

$$Hypoxanthine + O_2 + H_2O \xrightarrow{XO} xanthine + H_2O_2 + O_2^{\bullet-}$$

$$xanthine + O_2 = H_2O \xrightarrow{XO} uricacid = H_2O_2$$

2) เอนไซม์ไลโปออกซีจีเนส (lipoxygenase, LOX) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid) โมเลกุลของเอนไซม์นี้มีเหล็ก (Fe^{2+}) เป็นส่วนประกอบทำหน้าที่ดึงอะตอมไฮโดรเจนจากกรดไขมันและเติมออกซิเจนให้กับกรดไขมันเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ซึ่งจะสลายตัวเป็นอนุมูลของกรดไขมันต่อไป ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การทำงานของเอนไซม์ไลโปออกซีจีเนส ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันโดย LH, $L^{\bullet}$ และ $LOO^{\bullet}$ คือ โมเลกุลของกรดไขมัน และอนุมูลเปอร์ออกซีของกรดไขมัน ตามลำดับ
ที่มา : ปิยศิริและอธิยา (2550)

2.5.1.3 กระบวนการกำจัดสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว

ในขั้นตอนทำลายสิ่งแปลกปลอมโดยเฉพาะเชื้อโรคที่ถูกกลืนกินเข้ามาภายในเม็ดเลือดขาวจะมีการดึงโมเลกุลออกซิเจน (O_2) มาใช้เป็นจำนวนมากเพื่อผลิตเป็นอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ $\left(O_2^{\bullet-}\right)$ จากปฏิกิริยา NADPH oxidase ที่อยู่บนเยื่อบุชั้นนอก (outer membrane) ของเม็ดเลือดขาว ดังสมการ

$$2O_2 + NADPH \xrightarrow{NADPHoxidase} 2O_2^{\bullet-} + NADP^+ + H^+$$

นอกจากนี้ในเม็ดสี (granule) ของเม็ดเลือดขาวยังมีเอนไซม์ไมอีโลเปอร์ออกซิเดส (myeloperoxidase) ทำให้เกิดอนุมูลไฮโปรคลอรัส (hypochlorus, $HOCL^{\bullet}$) ซึ่งเป็นสารที่ทำลายจุลชีพได้ดังสมการ

$$H_2O_2 + CL^- \xrightarrow{myeloperoxidase} HOCL^{\bullet} + OH^-$$

2.5.1.4 โลหะทรานสิชัน (transition metol)

โลหะทรานสิชัน 2 ชนิดคือ เหล็ก (Fe^{2+})และทองแดง (Cu^{2+}) ที่มีอยู่ทั่วไปในร่างกายสามารถเร่งการสร้างอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) จากซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) ในปฏิกิริยาเฟนตัน (fenton' reaction) ดังสมการ

$$H_2O_2 + O_2^{\bullet-} \xrightarrow{Fe^{2+}/Cu^{2+}} OH^{\bullet} + OH^- + O_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ปัจจัยภายนอก

ยารักษาโรค

ยาบางชนิดสามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นภายในร่างกายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ยาในกลุ่มต้านจุลชีพและต้านมะเร็ง เช่น บลีโอมัยซิน (bleomycin), แอนตร้าซัยคลีน(antracyclines) และเมโทเทรกเซต (methotrexate) เนื่องจากมีฤทธิ์เสริมออกซิเดชัน (pro-oxidation)

รังสี

การใช้รังสีรักษาคน เช่น รังสีเอ็กซ์ (x-ray) รังสีแกมมา อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในร่างกายจากการถ่ายทอดพลังงานให้กับน้ำซึ่งเป็นส่วนประกอบของเซลล์แล้วก่อให้เกิดปฏิกิริยาขั้นต่อไป (secondary reaction) กับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในเซลล์นั้นได้อนุมูลอิสระเกิดขึ้น

ควันบุหรี่

ในควันบุหรี่มีส่วนประกอบของไนตริกออกไซด์ (nitric oxide, NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide, NO_2) และเปอร์ออกซีไนไตรท์ (peroxynitrite, $ONOO^-$) และสารมลพิษ ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide, SO_2) และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) ซึ่งจะถูกกำจัดออกจากร่างกายโดยการทำงานของเอนไซม์ไซโตโครม P-450 ไฮดรอกซิเลส (cytochrome P-450 hydroxylase) ที่มีอยู่มากในเซลล์ตับและพบได้บ้างในเซลล์ปอดและลำไส้เล็ก ทำให้เป็นสาเหตุของการสร้างอนุมูลซูปเปอร์ออกไซด์ภายในเซลล์ดังกล่าว

โอโซน

โอโซนไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระแต่จัดเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงสูงซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นอนุมูลไฮดรอกซิลได้จากการกระตุ้นของคลื่นแสงยูวี

2.5.3 การเกิดอนุมูลอิสระ

2.5.3.1 ปฏิกิริยาการแยกอย่างสมมาตร (symmetric separation)

$$X - X \rightarrow X^{\bullet} + X^{\bullet}$$

2.5.3.2 อนุมูลอิสระอื่น ๆ

$$X^{\bullet} - HR \rightarrow HX + R^{\bullet}$$

2.5.4 ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation)

คือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน เป็นกระบวนการที่อนุมูลอิสระแย่งอิเล็กตรอนจากไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ ส่งผลให้เซลล์ถูกทำลาย กระบวนการนี้เกิดผ่านกลไกของปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยอนุมูลอิสระมีผลกระทบอย่างมากสำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid) เนื่องจากไขมันจำพวกนี้ประกอบด้วยพันธะคู่หลายพันธะในระหว่างสายของโมเลกุลเมทธีลีน (metylene) ซึ่งทำให้กลุ่มไฮโดรเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive hydrogen) ในส่วนของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

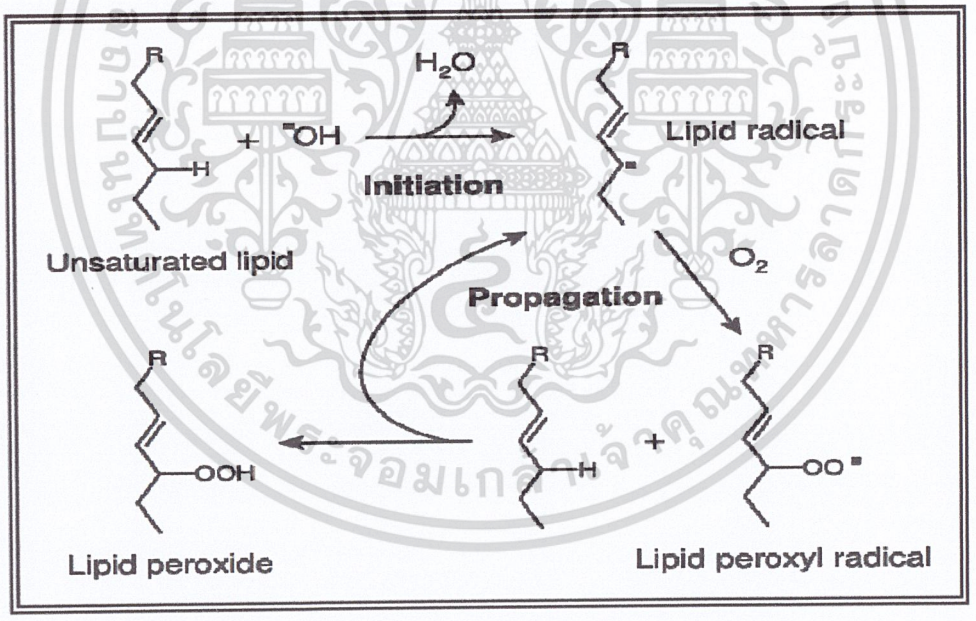
เกิดปฏิกิริยาประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ ขั้นเริ่มต้น (initiation) ขั้นดำเนินการ (propagation) และขั้นยุติ (termination)

ขั้นเริ่มต้น (initiation)

คือขั้นตอนการผลิตอนุมูลอิสระของกรดไขมัน (fatty acid radicals) โดยมีสารกลุ่มออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species, ROS) เช่น OH ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเป็นตัวเริ่มต้น รวมตัวกับอะตอมของไฮโดรเจนเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำและอนุมูลอิสระของกรดไขมัน

ขั้นดำเนินการ (propagation)

อนุมูลอิสระของกรดไขมันเป็นอนุมูลที่ไม่มีความเสถียร คือว่องไวต่อปฏิกิริยามาก ดังนั้นจึงสามารถทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระของ กรดเปอร์ออกซิล ซึ่งเป็นสารในกลุ่มที่ไม่เสถียร เช่นเดียวกัน สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอื่น ๆ เกิดเป็นอนุมูลอิสระกรดไขมันต่าง ๆ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรืออาจเกิดเป็นวงแหวนเปอร์ออกไซด์ในกรณีที่มีการทำปฏิกิริยากันเองภายในโมเลกุล วงแหวนชนิดนี้จะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องไปกับอนุมูลอิสระของกรดไขมันกลุ่มใหม่ในลักษณะเดียวกันได้



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

ที่มา : ปิยศิริและอธิยา (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นยุติ (termination)

ในขณะที่อนุมูลอิสระเกิดปฏิกิริยานั้นจะมีการผลิตอนุมูลอิสระอื่น ๆ ขึ้นมาพร้อมกัน ซึ่งเป็นสาเหตุที่เรียกกระบวนการนี้ว่า “กลไกของปฏิกิริยาลูกโซ่” (chain reaction mechanism) วิธีการเดียวที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระนี้ คือ ต้องทำให้อนุมูลอิสระทั้งสองตัวนี้มาทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดเป็นสารที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ (non-radical species) กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกลุ่มอนุมูลอิสระสูงเพียงพอที่สามารถทำให้ 2 อนุมูลเกิดเป็นคอลลอยด์แต่ในสิ่งมีชีวิตมีโมเลกุลหลายชนิดที่ทำหน้าที่จับอนุมูลอิสระได้และป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ หนึ่งในนั้นคือ เบต้า-โทโคฟีรอล หรือที่เรียกกันว่าวิตามินอีนั่นเอง

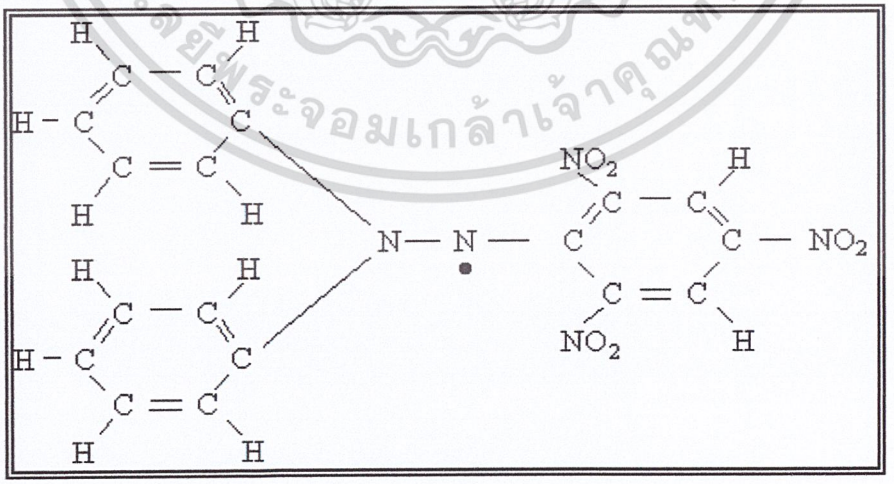
2.5.5 อนุมูล 1-diphenyl-2-picrahydrazyl (DPPH)

เป็นสารอนุมูลอิสระที่มีเสถียรภาพสูง และรับอิเล็กตรอนหรืออนุมูลไฮโดรเจนเพื่อกลายเป็นโมเลกุลไดอาแมกเนติก (diamagnetic molecule) ที่มีเสถียรภาพสูงขึ้น ดูดกลืนแสงได้มากที่สุดที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และจะหยุดการดูดกลืนแสงนี้โดยสารต้านอนุมูลอิสระหรือกลุ่มอนุมูลอิสระ กลไกการทำปฏิกิริยามีขั้นตอนดังนี้

$$DPPH^{\bullet} + AH \rightarrow DPPH - H + A^{\bullet}$$

$$DPPH^{\bullet} + R^{\bullet} \rightarrow DPPH - R$$

โดยที่ AH คือ สารต้านอนุมูลอิสระ และ $R^{\bullet}$ คืออนุมูลอิสระอื่น ๆ



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของ DPPH
ที่มา : ปิยศิริและอธิยา (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการนี้ใช้ตรวจสอบความสามารถของสารสกัดหรือสารต้านอนุมูลอิสระที่จะให้ไฮโดรเจนและหรืออิเล็กตรอนที่ลดการทำปฏิกิริยาของอนุมูล DPPH ขั้นตอนการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระต่ออนุมูลอิสระเป็นดังนี้ เมื่อสารต้านอนุมูลอิสระเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูล DPPH จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีคือ จากสีม่วงเข้มเป็นสีเหลืองใสและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ก็จะลดลงซึ่งเป็นวิธีการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity)

วิธี DPPH เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากพืชธรรมชาติ ในปี 2006 มีการศึกษากิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระจากมันเทศด้วยวิธี DPPH และผลการทดลองนี้ได้ใช้เป็นข้อมูลต้นแบบในการศึกษาครั้งต่อไป

2.6 อนุมูลอิสระแรงสูง

2.6.1 อนุมูลซูปเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$)

เป็นอนุมูลอิสระที่พบได้ภายในเซลล์ทั่วไป ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่งอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำภายในไมโตคอนเดรีย อนุมูลนี้จะไม่เข้าทำปฏิกิริยาทำลายเซลล์โดยตรงแต่เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยมี Fe^{2+} และ Cu^{2+} ช่วยเร่งปฏิกิริยาเฟนตัน จะได้เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความว่องไวสูง นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตยังสามารถสร้าง H_2O_2 จาก $O_2^{\bullet-}$ ได้โดยตรงจากปฏิกิริยา (dismutation) ของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) ดังสมการ

$$O_2^{\bullet-} + 2H^+ \xrightarrow{SOD} H_2O_2 + O_2$$

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้ ถึงแม้ไม่เป็นอนุมูลอิสระและจัดเป็นสารออกซิไดส์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาทำลายเซลล์แต่เป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลและยังมีรายงานว่าเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างอนุมูลไฮโปรคลอรัส ($HOCl^{\bullet}$) ของเม็ดเลือกขาวชนิดนิวโตรฟิล (neutrophil) ที่ถูกกระตุ้นด้วยจุลชีพอีกด้วย จากเอนไซม์ไมอีโลเปอร์ออกซิเดส (myeloperoxidase) ที่เก็บอยู่ในถุงไลโซโซม (lysosome) ดังสมการ

$$H_2O_2 + Cl \xrightarrow{Myeloperoxidase} HOCl^{\bullet} + OH^-$$

อนุมูลชนิดนี้สามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีและสามารถสร้างอนุมูลไฮดรอกซิลได้เมื่อมีโลหะทรานสิชันอยู่ด้วยดังสมการ

$$HOCl^{\bullet} + O_2^{\bullet-} \rightarrow OH^{\bullet} + Cl^- + O_2$$

$$HOCl^{\bullet} + Fe^{2+} \rightarrow OH^{\bullet} + Cl^- + Fe^{3+}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$)

จัดเป็นสารออกซิไดส์แรงสูง สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ดังนั้นอนุมูลนี้จึงเป็นอันตรายต่อสารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิตมากกว่าอนุมูลชนิดอื่น ๆ อนุมูลไฮดรอกซิลสร้างขึ้นจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีโลหะทรานสิชันอยู่ในระบบโดยเหล็กจะทำลายพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างออกซิเจนของสารเปอร์ออกไซด์ได้เป็นอนุมูลไฮดรอกซิลและไฮดรอกไซด์อิออน ในปฏิกิริยาเฟนตัน ดังสมการ

$$Fe^{2+} + O_2 \rightarrow Fe^{3+} + O_2^-$$

$$2O_2^{\bullet-} + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$$

$$Fe^{2+} + O_2^- + 2H \rightarrow Fe^{3+} + H_2O_2$$

<u>ปฏิกิริยาเฟนตัน</u> $Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^{\bullet} + OH^-$

2.6.3 อนุมูลไนตริกออกไซด์ ($NO^{\bullet}$)

เป็นอนุมูลอิสระขนาดเล็กที่เป็นพิษกับเซลล์ปอด สามารถรวมตัวกับโลหะทรานสิชันหรือโปรตีนที่มีโลหะชนิดนี้เป็นองค์ประกอบ (metalloprotein) ได้อนุมูลไนตริกออกไซด์สามารถเข้าจับกับฮีโมโกลบินได้เร็วกว่าโมเลกุลออกซิเจน จนอาจเกิดการขัดขวางกระบวนการขนส่งก๊าซออกซิเจนขึ้น นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ได้อย่างเร็วเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซีไนไตรท์ ($ONOO^{\bullet}$) ที่มีความว่องไวสูง ในภาวะที่มีออกซิเจน $NO^{\bullet}$ จะถูกออกซิไดซ์เป็น NO_2 ซึ่งเป็นสารมลพิษสามารถทำลายเซลล์ถุงลมและผนังหลอดเลือดภายในปอดได้ (ปิยศิริและอธิยา, 2550)

2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารประกอบที่ต่อต้านออกซิเดชันโดยทางตรงและทางอ้อม ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์เล็กน้อยที่ช่วยในการทำงานของเอนไซม์ที่ต้านอนุมูลอิสระ โดยอาศัยที่สารต้านอนุมูลอิสระมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนมาไว้ในตัวเอง และสามารถให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปได้ สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารเก็บกวาดและขนส่งนำอนุมูลอิสระไปทำลาย เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการทำลายหรือต่อต้านอนุมูลอิสระให้กลายเป็นสารธรรมดา หมดฤทธิ์ในการทำลายเซลล์ต่อไป อาจแบ่งอนุมูลอิสระในร่างกายของมนุษย์ออกเป็น 2 แบบง่ายๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.7.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย

แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ สารที่เป็นเอนไซม์ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase: SOD) คะทะเลส (catalase: CAT) กลูตาไธโอนเพอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase: GPX) กลูตาไธโอนรีดักเทส (glutathione reductase: GR) กลูทาไทออนทรานส์เฟอเรส(glutathione s- transferase: GST) และสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่จัดเป็นเอนไซม์ เช่น กลูทาไธโอน (glutathione) กรดลิโพอิก (lipoic acid) เซอรูโลพลาสมิน (ceruloplasmin) แอลบูมิน (albumin) ทรานส์เฟอริน (transferrin) แฮพโทกลอบิน (haptoglobin) ฮีโมเพกซิน (hemopexin) กรดยูริก (uric Acid) บิลิรูบิน (bilirubin) และซิสทิน (cysteine)

2.7.2 สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหารและไม่จัดว่าเป็นเอนไซม์

เช่น วิตามินอี (tocopherols) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) สเตียรอยด์ (stearoids) ยูบิควิโนน (ubiquinone) ไทออล (thiols) อินโนซิน (imosine) ทัวรีน (taurine) ไพรูเวต (pyruvate) กรดแกลลิก (gallic acid) โทรลอกซ์ (trolox) บีเอชที (BHT) บีเอชเอ (BHA) รวมถึงสารกลุ่มโพลฟีนอลิก (polyphenolics) เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ฟีนิลโปรพานอยด์(phenylpropanoids) เป็นต้น โดยจะกล่าวเฉพาะสารกลุ่มที่สำคัญได้แก่ กรดฟีนอลิกต่างๆที่สำคัญและพบบ่อย (ไมตรีและศิริวรรณ, 2545)

2.7.2.1 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสารต้านอนุมูลที่ได้รับจากภายนอกและพบได้มากในธรรมชาติอันได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ชอกโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น ในปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8,000 ชนิดในธรรมชาตินับจากโมเลกุลอย่างง่าย เช่นกรดฟีนอลิก ฟีนิลโปรพานอยด์ และฟลาโวนอยด์ ไปจนถึงโครงสร้างโพลีเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น แม้ว่าปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกในธรรมชาติจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณโดยเฉลี่ยที่คนได้รับต่อวันจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20 มิลิลิกรัม – 1 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณวิตามินอีที่ได้รับต่อวัน สารโพลีฟีนอลิกเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือดรวมไปถึงการเป็นสารต้านการก่อมะเร็งและสามารถลดความดันโลหะจากฤทธิ์ขยายหลอดเลือดเหล่านี้เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูล โครงสร้างทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซีอย่างน้อย 1 หมู่ ถือเป็น secondary metabolites ของพืชผัก โดยในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติทางโครงสร้างที่สัมพันธ์กับฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มนี้ (กัญญาณัฐและคณะ, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

117254

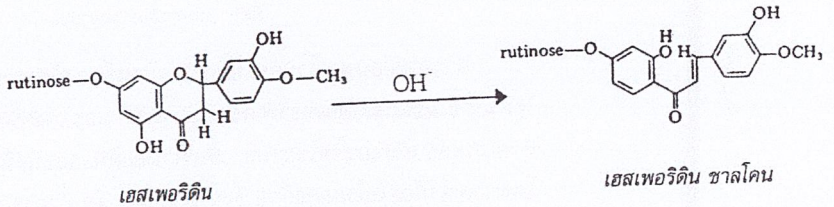
2.7.2.2 ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืช มีสีเหลือง และมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายแอนโทไซยานิน และเป็นสารประกอบประเภท ไกลโคไซด์เช่นเดียวกัน ส่วนที่เป็นอะไกลโคนมีโครงสร้างพื้นฐานเป็น benzopyrone nucleus และจะรวมตัวกับน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส แรมโนส กาแล็กโทส อะราบิโนส ไซโลส อะพิโอส และกรดกลูคูโนริก ตำแหน่งที่เกิดพันธะจะผันแปรไม่แน่นอน แต่ที่พบมาก คือ ตำแหน่งที่ 7, 5, 4', 7 และ 4', 3' ซึ่งต่างจากแอนโทไซยานินที่พบมากในตำแหน่งที่ 7 ฟลาโวนอยด์แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้หลายกลุ่มได้แก่

1) ฟลาโวน (flavones) หรือ 2-ฟีนิลเบนโซไพโรน (2-phenylbenzopyrone) ในโมเลกุลมีพันธะคู่ในตำแหน่งที่ 2 และ 3 ฟลาโวนเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ตัวอย่างเช่น อะจิพินิน (agipenin) ลูเตโอลิน (luteolin) และไตรซีติน (tricetin)

2) ฟลาโวนอล (flavonols) เกิดจากการที่สารประกอบฟลาโวนมีการแทนที่ของหมู่ไฮดลอกซิลเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง 3 ตัวอย่างของฟลาโวนอล ได้แก่ เคอร์ซีติน (quercetin หรือ 3, 5,7, 3', 4'-pentahydroxyflavone) แคมพ์ฟีรอล (kaempferol) และไมโรซีติน (myricetin) อะไกลโคนที่เป็นอนุพันธ์ของฟลาโวน และฟลาโวนอลที่ทราบโครงสร้างมีอีกประมาณ 60 ชนิดซึ่งจะแตกต่างกันที่หมู่ไฮดรอกซีและหมู่เมทอกซี

3) ฟลาวาโนน (flavanonoes) มีสูตรโครงสร้างคล้ายฟลาโวนแต่พันธะระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 เป็นพันธะเดี่ยว ฟลาวาโนนเป็นฟลาวานอยด์ที่พบในผลไม้ตระกูลส้มตัวอย่างของไกลโคไซด์ เช่น เฮสเพอริดิน (hesperidin) และนารินจิน (naringin) ที่พีเอชเป็นด่าง (พีเอช 12) วงแหวนที่อยู่ภายในโมเลกุลของเฮสเพอริดินจะเปิดออกได้เป็นชาลโคน (chalcone) เหมือนการสลายตัวของแอนโทนไซยานิน ชาลโคนจะให้สีเหลืองถึงสีน้ำตาล ตัวอย่างปฏิกิริยาของเฮสเพอริดินกับด่างมีดังนี้

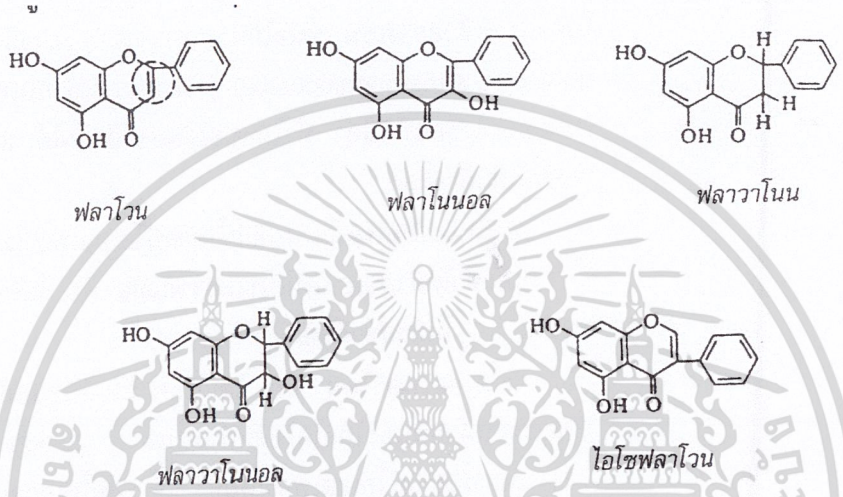


รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาของเฮสเพอริดินกับด่าง
ที่มา : นิธิยา (2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

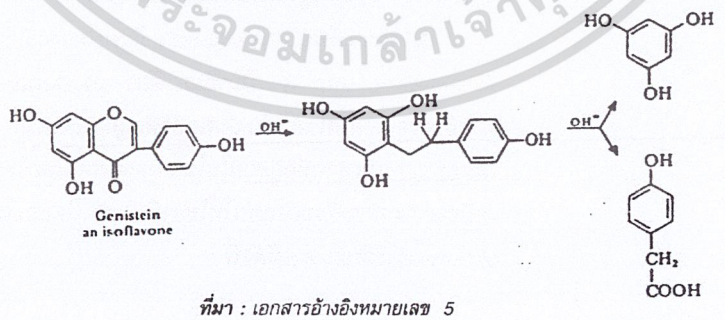
4) ฟลาวาโนนอล (flavanonols) มีสูตรโครงสร้างคล้ายฟลาวาโนน แต่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งที่ 3

5) ไอโซฟลาโวน (Isoflavones) มีสูตรโครงสร้างเช่นเดียวกับฟลาโวน แต่วงแหวนฟีนิลอยู่ที่ตำปหน่ง 3 เป็น 3-ฟีนิลเบนโซไพโรน (3-phenylbenzopyrone) สูตรโครงสร้างโมเลกุลของฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดมีดังนี้



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของฟลาโวนอยด์แต่ละชนิด
ที่มา : นิธิยา (2551)

ตัวอย่างของไอโซฟลาโวน เช่น เจนีสตีน (genistein) เป็นรงควัตถุที่พบในพืชตระกูลถั่ว สารนี้สลายตัวได้ด้วยด่าง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



ที่มา : เอกสารอ้างอิงหมายเลข 5

รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยด่างของเจนีสตีน
ที่มา : นิธิยา (2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบฟลาโวนอยด์ที่มีอะไกลโคนเป็นองค์ประกอบดังกล่าวข้างต้น จะเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชันและเอสเทอริฟิเคชันกับน้ำตาล และบางครั้งก็มีหมูเอซิล (acyl) อยู่ในโมเลกุลด้วยเช่นเดียวกับแอนโทไซยานิน ฟลาโวนอยด์หลายชนิดมีน้ำตาลเป็นโมโนแซ็กคาไรด์หรือไดแซ็กคาไรด์อยู่ในโมเลกุลด้วย ซึ่งน้ำตาลที่พบคือ น้ำตาลกลูโคสและแรมโนส (นิธิยา, 2551)

2.8 สารต้านอนุมูลอิสระในพืชและอาหาร

ในธรรมชาติ พืชเป็นแหล่งใหญ่ของสารต้านอนุมูลอิสระ ในพืชและอาหารมีสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมด 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

2.8.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่ทำหน้าที่เป็นวิตามิน (antioxidant vitamins)

ได้แก่ วิตามินอีในถั่ว ธัญพืช รำ ข้าวกล้อง งา เมล็ดพืช ข้าวที่ไม่ขัดสี ถั่ว น้ำมันงาและน้ำมันพืชอื่น ๆ วิตามินซีในผักผลไม้สด ฝรั่ง มะขามป้อม พริกสด เป็นต้น สารสกัดจากวิตามินดังกล่าวจะถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนสูงและแสงแดด วิตามินอีและซีสามารถลดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือยับยั้งการทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัว โปรตีนและดีเอ็นเอได้ เป็นการกำจัดอนุมูลอิสระ ทำให้ลดความเสี่ยงที่จะเป็นโรคต่าง ๆ ข้างต้น อีกทั้งยังช่วยชะลอความแก่

2.8.2 สารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่วิตามิน (non-vitamin antioxidant)

ไบโอฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

ซึ่งเป็นสารโพลีฟีนอล (polyphenols) โปรแอนโธซัยยานิดิน (proanthocyanidins) กรดแกลลิก (gallic acid) และไกลโคไซด์ (glycosides) หรือ แทนนิน (tannins) พบในยอดผัก ใบชา ผลไม้ที่มีรสฝาด เช่น มะขามป้อม ลูกหว้า องุ่นแดง ลูกมะเม่า เมล็ดในของพืชจะมีโพลีฟีนอลมากกว่าเนื้อผลไม้ (ไมตรีและศิริวรรณ, 2545)

ฟลาโวนอยด์ในอาหาร

สารประกอบฟลาโวนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่มีความคงตัวต่อความร้อน และปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่าแอนโทไซยานิน แต่สามารถเปลี่ยนสีได้ง่ายเมื่อรวมตัวกับโลหะ เช่นเมื่อรวมตัวกับเหล็กจะให้สีน้ำเงินหรือสีเขียว นอกจากนี้สารประกอบฟลาโวนอยด์ยังเป็นสารเริ่มต้นสำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอมไซด์ได้ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนสีที่ไม่พึงประสงค์ในอาหาร ตัวอย่างเช่น หน่อไม้ฝรั่งบรรจุกระป๋องอาจมีฟลาโวนอยด์ ชื่อ รูติน (rutin หรือ quercetin-3-rhamnoglucoside) สามารถรวมตัวกับเหล็กที่ออกมาจากกระป๋อง ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีดำ ทำให้หน่อไม้ฝรั่งมีสีคล้ำได้ แต่ถ้ารวมตัวกับดีบุกจะให้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเหลือง

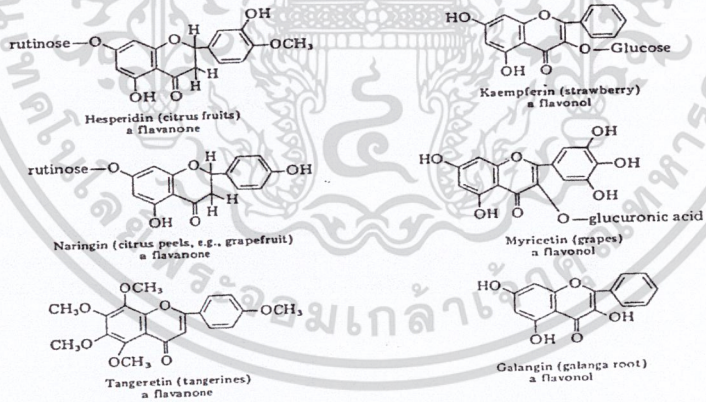
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นารินจินเป็นฟลาวาโนนที่มีน้ำตาลนีโอเฮสเพอริโดส (neohesperidose) อยู่ในตำแหน่งที่ 7 และทำให้มีรสขม แต่ไอโซเมอร์ของมัน คือ ไอโซฟลาวาโนน ซึ่งมีน้ำตาลรูติโนสอยู่ในตำแหน่งที่ 7 ที่ไม่มีรสชาติเลย

นีโอเฮสเพอริโดส คือ ไดแซ็กคาร์ไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลแรมโนสและกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง α (1→2) ขณะที่รูติโนสเชื่อมต่อกันที่ตำแหน่ง α (1→6) น้ำตาลนีโอเฮสเพอริโดสที่วงแหวนในโมเลกุลเปิดออกเป็นชาลโคน อนุพันธ์ที่ได้ คือนีโอเฮสเพอริดินไฮโดรชาลโคน (neo-hesperidin dihydrochalcone) สังเคราะห์ได้จากนารินจินจะมีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครสเกือบ 2000 เท่า

พืชส่วนใหญ่มีรงควัตถุฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะฟลาโวนอล เช่น เคอร์ซีติน (quercetin) และแคมพ์ฟีรอลไกลโคไซด์ (kaempferol glycosides) ซึ่งพบว่ามีอยู่ในพืชมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และมีไมรีซีตินไกลโคไซด์ (myricetin glycosides) มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของพืชที่ได้มีการศึกษา แต่ปริมาณของฟลาโวนอยด์ในอาหารยังมีรายงานน้อยมาก อาจเนื่องจากยังขาดวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสม

ใบชาโดยเฉพาะชาผงสำเร็จรูป มีฟลาโวนอลอะไกลโคน 3 ชนิด คือ เคอร์ซีติน แคมพ์ฟีรอล และไมริซีติน ซึ่งเป็นสารทำให้ชามีรสฝาด ตัวอย่างฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชบางชนิดดังนี้



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างฟลาโวนอยด์ที่พบในพืชบางชนิด

ที่มา : นิธิยา (2551)

2.8.3 กลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสารมีสีในพืช

ได้แก่ สารสีแดง สีส้ม สีเหลือง ซึ่งเรียกว่า แคโรทีนอยด์ เบต้าแคโรทีน (β-carotene) ที่พบในพืชใบสีเขียว แครอท มะละกอ และฟักทอง สารสีแดง ซึ่งเรียกว่า ลูเตอีน (lutein) และไลโคพีน (lycopene) ในมะเขือเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

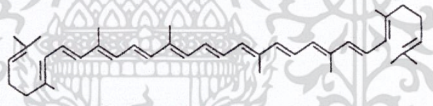
แคโรทีนอยด์ (carotenoids)

ในธรรมชาติมีมากกว่า 600 ชนิด ได้แก่ เบต้า-แคโรทีน ทำหน้าที่เป็นสารเริ่มต้นของวิตามิน มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เชื่อว่าในแต่ละปีพืชสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ขึ้นในธรรมชาติมากกว่า 100 ล้านตัน แคโรทีนอยด์ชนิดที่ถูกสังเคราะห์มากที่สุดคือ ฟิวโคแซนทิน (fucoxanthin) โดยสาหร่ายชนิดต่างๆ และอีก 3 ชนิดคือ ลูเตอิน (lutein) ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin) และนีโอแซนทิน (neoxanthin) แคโรทีนอยด์ที่ถูกสังเคราะห์โดยพืชใบเขียวรองลงมาเป็นพวกแคโรทีน และซีแซนทิน (zexanthin) สำหรับแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ เช่น ไลโคพีน พบมากในมะเขือเทศ แคพแซนทิน (capxanthin) พบมากในพริกแดงและไบซิน (bixin) พบมากในแอนแนตโต ซึ่งสารกลุ่มหลังจะพบมากเฉพาะพืชบางชนิดเท่านั้น

แคโรทีนอยด์ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มที่เป็นไฮโดรคาร์บอน คือ แคโรทีนซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์กลุ่มที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนซึ่งเป็นไดอีน (diene) [CH_2=C-(CH_3)-CH=CH_2] มาเรียงต่อกัน 8 หน่วย จึงมีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 40 อะตอม มีสูตรเป็น $C_{40}H_{56}$ แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้อีก 3 กลุ่ม คือ

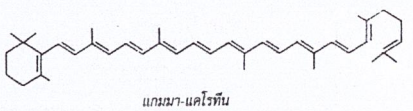
a. acyclic คือ ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุล เช่น ไลโคพีน มีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.12 สูตรโครงสร้างของไลโคพีน

ที่มา : นิธิยา (2551)

b. monocyclic คือไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายด้านหนึ่ง เช่น แกมมา-แคโรทีน ทำให้ครึ่งหนึ่งของโครงสร้างโมเลกุลของแกมมา-แคโรทีนเหมือนกับไลโคพีนและอีกครึ่งหนึ่งเหมือนกับบีตา-แคโรทีน สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแกมมา-แคโรทีน มีดังนี้

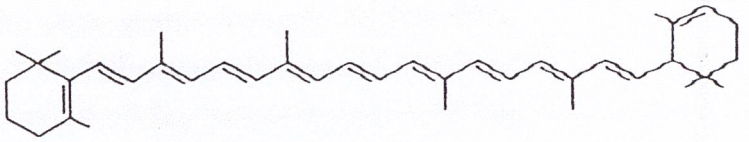


รูปที่ 2.13 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแกมมา-แคโรทีน

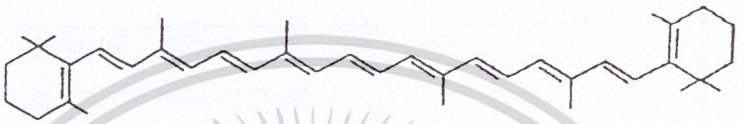
ที่มา : นิธิยา (2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c. bicyclic คือไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวนอยู่ในโมเลกุลที่ปลายทั้งสองด้าน เช่น แอลฟา- และบีตา-แคโรทีน แอลฟา-แคโรทีนต่างจากบีตา-แคโรทีน ที่ตำแหน่งพันธะคู่ของวงแหวนที่ 2 มีสูตรโครงสร้างโมเลกุลดังนี้



แอลฟา-แคโรทีน

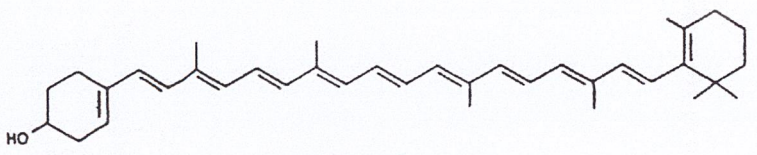


บีตา-แคโรทีน

รูปที่ 2.14 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแอลฟา- และบีตา-แคโรทีน

ที่มา : นิธิยา (2551)

2) กลุ่มที่มีออกซิเจนในโมเลกุล เป็นกลุ่มของอนุพันธ์ไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิล คีโตหรืออีพอกซี (epoxy) รวมเรียกว่า แซนโทฟีลล์ (xanthophylls) แคโรทีนอยด์กลุ่มนี้พบในพืชและมักจะอยู่รวมกับแคโรทีน ตัวอย่างของแซนโทฟีลล์ เช่น คริพโตแซนทิน นอกจากนี้แซนโทฟีลล์ยังอาจอยู่ในรูปอนุพันธ์เอสเทอร์กับกรดไขมันก็ได้สารกลุ่มนี้จะเป็นรงควัตถุหลักในข้าวโพด พริกแดง มะละกอสุก และส้ม สูตรโครงสร้างโมเลกุลของคริพโตแซนทินมีดังนี้



คริพโตแซนทิน

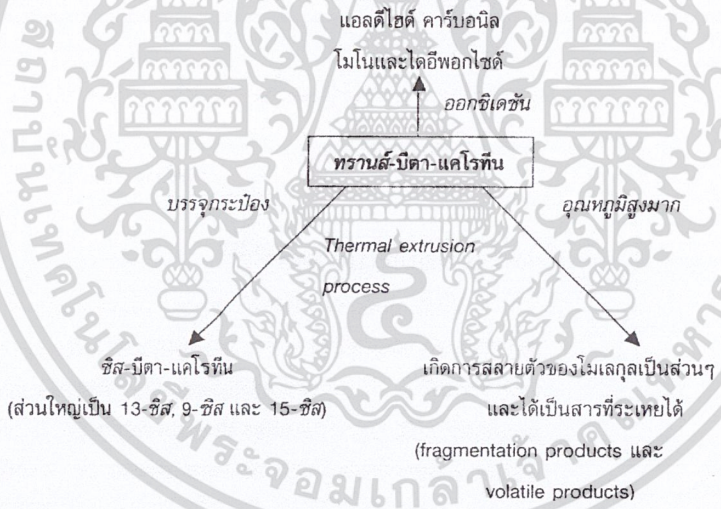
รูปที่ 2.15 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของคริพโตแซนทิน

ที่มา : นิธิยา (2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคโรทีนอยด์ในอาหาร

แคโรทีนอยด์มาจากชื่อของแครอท เนื่องจากพบแคโรทีนอยด์ มากในแครอท สีของแคโรทีนอยด์จะผันแปรไปตามจำนวนของพันธะคู่ (conjugated double bond) ในโมเลกุลถ้ามีจำนวนพันธะคู่มากจะทำให้มีสีแดงเข้มขึ้น จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่น้อยที่สุดมี 7 อัน ซึ่งจะทำให้สีเหลือง พันธะคู่อาจอยู่ในรูปซิส (cis) หรือทรานส์ (trans) ก็ได้ แต่แคโรทีนอยด์ที่พบในอาหารส่วนใหญ่อยู่ในรูปทรานส์ทั้งหมด (all-trans) อาจพบซิสบ้างเป็นโมโนซิส (mono-cis) หรือไดซิส (di-cis) แต่น้อยมาก แคโรทีนอยด์ที่มีโครงสร้างอยู่ในรูป all-trans จะมีสีเข้ม ถ้ามีจำนวนพันธะคู่ที่อยู่ในรูปซิสเพิ่มมากขึ้นสีจะจางลง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนจากทรานส์เป็นซิส คือ แสง ความร้อนและกรด เมื่ออาหารได้รับอุณหภูมิสูงจะเกิด trans-cis isomerization ได้ หากอยู่ในรูปซิสมากขึ้นจะทำให้ vitamin A activity แคโรทีนอยด์ยังสลายตัวได้ง่ายเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยเฉพาะเมื่อละลายอยู่ในน้ำมัน จึงถูกทำลายได้ง่ายเมื่อน้ำมันเกิดการออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ปฏิกิริยาการสลายตัวของบีตา-แคโรทีนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ

ที่มา : นิธิยา (2551)

แคโรทีนอยด์ที่พบในอาหารมีความสำคัญต่อร่างกายเพราะสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ (provitamin A) โดยเฉพาะ บีตา-แคโรทีน 1 โมเลกุล สามารถสลายตัวได้เป็นวิตามินเอ 2 โมเลกุล แต่แกมมา-แคโรทีน ซึ่งมีวงแหวน 1 อัน เมื่อสลายตัวได้วิตามินเอ เพียง 1 โมเลกุลเท่านั้น

แคโรทีนอยด์ที่พบมากในใบไม้สีเขียว โดยอยู่ในคลอโรพลาสต์รวมกับคลอโรฟิลล์ ทำให้สีเขียวของคลอโรฟิลล์ปิดบังสีเหลือง-ส้ม-แดงของแคโรทีนอยด์ไว้ เมื่อใบไม้แก่ก่อนจะร่วงหล่น คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไป ใบไม้จึงมีสีเหลือง-ส้ม-แดงของแคโรทีนอยด์เด่นชัดขึ้น แคโรทีนอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากพบในใบไม้สีเขียวแล้วยังพบได้ในผักและผลไม้สุกหลายชนิด เช่น มะเขือเทศ กล้วย พริก แครอท และมันเทศ นอกจากนี้ยังพบได้ในไข่แดงและเนื้อปลาบางชนิด สัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ได้ แต่ดูดซึมได้จากอาหารที่กินเข้าไป เช่น สีเหลืองหรือสีส้มของไข่แดง หนังไก่ ขนนก และสีแดงของเนื้อปลาแซลมอน เป็นต้น แคโรทีนอยด์บางชนิดเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในร่างกาย

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในพืช คือ ออกซิเจนและอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์ไลโคพีนในมะเขือเทศจะถูกยับยั้งเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นอัตราส่วนของแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดจะมีผลต่อสีของผลไม้

ขั้นตอนในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การลวก มีผลต่อแคโรทีนอยด์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะแคโรทีนอยด์ไม่ละลายน้ำ การรั่วจะทำลายเอมไซม์ที่ย่อยสลายแคโรทีนอยด์ และแคโรทีนอยด์จะคงตัวได้ดีในอาหารที่แช่เยือกแข็งและอาหารบรรจุกระป๋องที่ให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ แต่การทำแห้งจะทำลายแคโรทีนอยด์เนื่องจากเกิดออกซิเดชั่น เช่น ทำให้แครอทแห้งมีสีซีดลง ยกเว้นเมื่อบรรจุในก๊าซเฉื่อย โดยสีเหล่านี้จะไม่คงตัวเมื่อถูกแสงละลายได้ดีในน้ำมันและกระจายตัวได้ในน้ำ

การที่อาหารมีสีเปลี่ยนไปหรือสูญเสียสารสีจะทำให้คุณภาพของอาหารด้อยลง อาหารที่มีแคโรทีนถูกทำลายจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของวิตามินเอ ลดลงด้วย การเปลี่ยนแปลงของสารสีระหว่างกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา อาจคล้ายกับการเปลี่ยนแปลง ระหว่างการเสื่อมสลายของผักและผลไม้ เช่น การทำสับปะรดกระป๋อง ความร้อนในกระบวนการแปรรูปทำให้เกิดกรดซึ่งจะเปลี่ยนแคโรทีนอยด์เป็น ซิส-ไอโซเมอร์ด้วย ดังนั้นระหว่างการแปรรูปผลไม้ที่เป็นกรด จะเกิดไอโซเมอไรเซชันของแคโรทีนอยด์ได้ ซึ่งจะทำให้สีเนื้อของผลิตภัณฑ์ผลไม้จางลง การทำ extrusion แป้งข้าวโพดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดสารสีที่มีสเปกตรัม 15-ซิส-บีตา-แคโรทีน (นิธิยา, 2551)

2.8.4 แร่ธาตุ (minerals)

ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งทำงานร่วมกับเอนไซม์ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ซีลิเนียม ทำงานร่วมกับเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส สังกะสีทำงานร่วมกับเอนไซม์กลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส สารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดจะช่วยทำงานร่วมกันในร่างกาย ขาดสารกลุ่มหนึ่งกลุ่มใดไม่ได้ การกินอาหารจากพืช ผัก ผลไม้ และธัญพืชเป็นประจำจะมีสารต้านอนุมูลอิสระครบถ้วน ทั้งในรูปแบบวิตามิน สารไบโอฟลาโวนอยด์ และแร่ธาตุในปริมาณมากเพียงพอในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ผลกระทบของอนุมูลอิสระต่อสุขภาพ

เป็นที่ยอมรับกันว่า การมีอนุมูลอิสระมากเกินการควบคุม จะเกิดการทำลายโมเลกุลชีวภาพอย่างต่อเนื่อง ทำให้เซลล์ของร่างกายทำหน้าที่ผิดปกติไปซึ่งเป็นผลเสียต่อสุขภาพ ร่างกายจะเสี่ยงมากต่อการเกิดโรค คือทำให้เกิดโรคได้หลายอย่าง เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจขาดเลือด โรคความดันเลือดสูง โรคเบาหวาน โรคข้ออักเสบ ต้อกระจกตา โรคภูมิคุ้มกันบกพร่องได้ ทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจแข็งตัว ความผิดปกติของสมอง ความดันโลหิตสูง ความชรา โรคมะเร็ง ฯลฯ

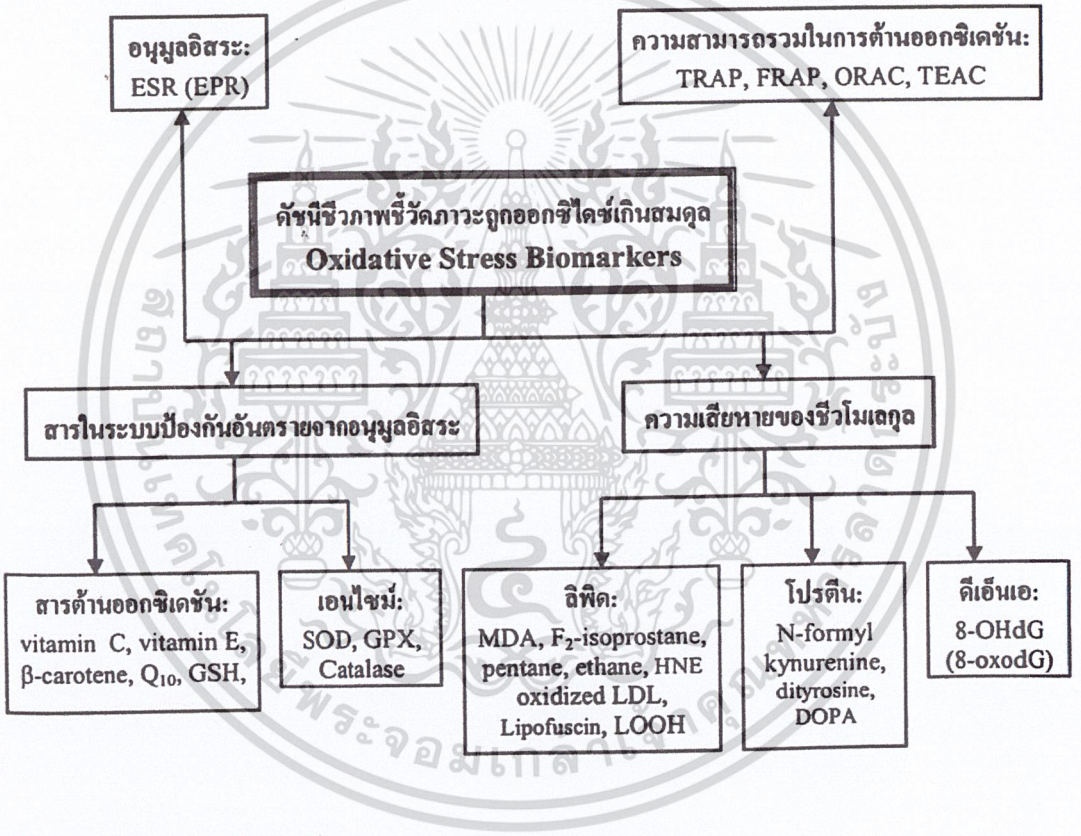
อนุมูลอิสระก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้หลายประการด้วยกัน ได้แก่ กระตุ้นหรือเพิ่มฤทธิ์ของสารก่อมะเร็ง เพิ่มความเป็นพิษของสารเคมีแปลกปลอมทั้งหลาย ทำให้มีการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อ เกิดความชราของร่างกาย การทำลายดีเอ็นเอก็จะทำให้เกิดโรคมะเร็ง และทำให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อของเลนส์ตาก็จะเกิดต้อกระจกตาได้ เป็นต้น ดังนั้นการสะสมสารพิษ สารที่ให้อนุมูลอิสระในปริมาณมากและเป็นระยะเวลานาน หรือการบกพร่อง การลดระดับสารต่อต้านอนุมูลอิสระ อาจเป็นสาเหตุของการเกิดการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรม การเกิดโรคมะเร็ง การลุกลามหรือความรุนแรงของเชื้อไวรัส รวมทั้งเชื้อ HIV และการเกิดโรคเอดส์ได้ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าอนุมูลอิสระก่อให้เกิดโรคหลายโรคในคน เช่น โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ โรคหัวใจ โรคบวมน้ำ ความดันโลหิตต่ำ และภาวะเกล็ดเลือดต่ำ เป็นต้น (ไมตรีและศิริวรรณ, 2545)

2.10 ค่าบ่งชี้หรือดัชนีชีวภาพ (biomarker) สำหรับชี้วัดภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุล

ค่าบ่งชี้หรือดัชนีชีวภาพสำหรับชี้วัดภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุลมีแนวทางในการวัดได้ 2 แนวทาง คือ การวัดอนุมูลอิสระโดยตรงและการวัดระดับความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระและสารเกี่ยวข้องที่เป็นผลิตผลของอนุมูลอิสระมีความไวสูง การวัดอนุมูลอิสระโดยตรงทำได้ยากเพราะอนุมูลอิสระมีระยะครึ่งชีวิตสั้นมากอยู่ในระดับวินาทีทำการวัดได้ยาก นอกจากนี้การวัดระดับอนุมูลโดยตรงต้องใช้เครื่องมือพิเศษคือ เครื่องอิเล็กตรอนพาราแมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี หรือเครื่องอิเล็กตรอนสปินเรโซแนนซ์สเปกโตสโคปี (electron paramagnetic resonance spectroscopy,EPR หรือ electron spin resonance spectroscopy,ESR) ดังนั้นการตรวจหาดัชนีชีวภาพที่ใช้วัดภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุลจึงนิยมวัดจากความบกพร่องเสียหายอันเกิดขึ้นเนื่องมาจากอนุมูลอิสระและสารเกี่ยวข้องที่เป็นผลิตผลของอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณชีวโมเลกุลที่เปลี่ยนไปหรือถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ ชีวโมเลกุลสำคัญที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระ คือ ลิพิด โปรตีน และดีเอ็นเอ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้แก่การดึงอิเล็กตรอนไปจากพันธะคู่ของชีวโมเลกุลหรือการเติมอิเล็กตรอนเดี่ยวให้แก่ชีวโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีชีวภาพที่ใช้บ่งชี้ถึงความเสียหายจากการเกิดออกซิเดชันโดยอนุมูลจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ค่าดัชนีชีวภาพนั้นๆจะต้องมีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์ของโรค และการพัฒนาการของโรคส่วนคุณสมบัติสำคัญในทางเทคนิคคือค่าดัชนีบ่งชี้ถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นในเซลล์และร่างกายที่วัดได้มีความแปรปรวนต่ำ (%CV) โดยค่าที่วัดได้จากตัวอย่างเดียวกันมีความแตกต่างน้อย หากใช้วิธีวิเคราะห์ที่เดียวกัน วิธีวิเคราะห์ที่ต่างกันใช้ค่าดัชนีบ่งชี้ใกล้เคียงกัน และสามารถวัดได้โดยวิธีการทางเคมีที่ไม่ซับซ้อนดัชนีชีวภาพที่ดีควรมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลาในการเก็บตัวอย่างและอาหารที่รับประทานก่อนเก็บตัวอย่างตลอดจนมีความคงตัวระหว่างการเก็บตัวอย่าง วิธีวัดดัชนีชีวภาพที่ใช้บ่งชี้ภาวะออกซิไดซ์เกินสมดุลสามารถทำได้หลายวิธีดังแสดงในรูป 2.17



รูปที่ 2.17 ดัชนีชีวภาพที่ใช้บ่งชี้ภาวะถูกออกซิไดซ์มากเกินสมดุล
ที่มา : กัญญาณัฐและคณะ (2552)

ก. วัดปริมาณอนุมูลอิสระและสารเกี่ยวข้องนี้มีความไวสูงโดยตรง ซึ่งการวัดอนุมูลอิสระโดยตรงมีข้อจำกัดในเรื่องเครื่องมือ

ข. วัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารออกซิเดชันที่อยู่ในร่างกายตามธรรมชาติ เช่น วิตามินซี วิตามินอี กลูตาไทโอน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. วัดปริมาณเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องหรือทำหน้าที่ขจัดอนุมูลหรือต้านออกซิเดชัน เช่น เอนไซม์เอสโอดี เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เป็นต้น

ง. วัดปริมาณความเสียหายที่เกิดกับชีวโมเลกุลที่สำคัญในร่างกาย กล่าวคือ การวัดสารที่เป็นผลิตผลจากการที่ลิพิด โปรตีน และดีเอ็นเอ ถูกออกซิไดซ์โดยอนุมูลอิสระหรือผลิตผลจากอนุมูลอิสระ

จ. วัดประสิทธิภาพหรือความสามารถโดยรวมในการต้านอนุมูล หรือต้านออกซิเดชัน (total antioxidation capacity,TAC) โดยนำเลือด พลาสมา หรือสารต้านออกซิเดชันมาหาความสามารถโดยรวมในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธีการต่างๆ

เมื่อพิจารณาดัชนีชีวภาพต่างๆแล้วจะเห็นได้ว่าปริมาณความเสียหายที่เกิดจากการถูกออกซิไดซ์มีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์และพัฒนาการของโรคมากกว่าปริมาณของอนุมูลอิสระและสารเกี่ยวข้องที่มีความไวสูงที่เกิดขึ้น เพราะในกรณีที่มีอนุมูลอิสระในปริมาณสูงแต่อนุมูลไปทำปฏิกิริยากับชีวะโมเลกุลที่ไม่มีความสำคัญกับหน้าที่และการทำงานในร่างกาย และในกรณีดังกล่าวนี้ ปริมาณอนุมูลอิสระจึงไม่มีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์และพัฒนาการของโรค ส่วนการวัดปริมาณสารต้านออกซิเดชันในร่างกายตามธรรมชาติเช่น วัดระดับวิตามินอีหรือวิตามินซีในเลือดหรือพลาสมาเป็นการวัดปริมาณสารเดี่ยวซึ่งไม่สะท้อนถึงภาวะออกซิเดชันของร่างกายโดยรวม ดัชนีชี้วัดในข้อ ง. ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความเสียหายที่เกิดกับชีวโมเลกุลที่สำคัญในร่างกายโดยอนุมูลอิสระจึงเป็นดัชนีชี้วัดที่เหมาะสมเพราะสามารถบ่งชี้ถึงอุบัติการณ์และพัฒนาการของโรคได้ถูกต้องมากกว่า อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีดัชนีชี้วัดตัวใดที่มีคุณสมบัติเพียบพร้อมตอบสนองตามความต้องการต่างได้ครบถ้วนดังระบุไว้ข้างต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงดัชนีชี้วัดที่สำคัญเท่านั้น โดยเน้นเฉพาะดัชนีที่มีศักยภาพในการชี้วัดสามารถบ่งชี้ภาวะออกซิไดซ์มากเกินสมดุลได้อย่างถูกต้อง เป็นดัชนีที่นิยมเป็นที่ยอมรับและสามารถตรวจวัดได้โดยไม่ใช้เครื่องมือเฉพาะหรือเทคนิคที่ยุ่งยากซับซ้อน

2.10.1 ดัชนีชี้วัดจากความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน (total antioxidant capacity ,TAC)

จากการที่ร่างกายและเซลล์มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้หลายชนิดจึงมีระบบควบคุมไม่ให้มีอนุมูลอิสระ เกินสมดุลทำให้เกิดอันตราย ระบบควบคุมป้องกันประกอบด้วย (ก)สารขจัดอนุมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิสระหรือต้านออกซิเดชัน ซึ่งมีทั้งโมเลกุลใหญ่ เช่น อัลบูมิน เฟอร์ริติน และโมเลกุลขนาดเล็กเช่น วิตามินซีและยูริกเป็นต้น และ (ข) เอนไซม์ขจัดอนุมูลอิสระหลายชนิดด้วยกัน และใช้ดัชนีจากการหาปริมาณสารต้านออกซิเดชันเดี่ยวๆหรือการวัดปริมาณการเกิดชีวโมเลกุลที่ถูกอนุมูลอิสระทำให้เสียหายเป็นดัชนีวัดภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุลว่ามีระดับมากน้อยเพียงใดนั้น อาจไม่เป็นค่าที่สะท้อนถึงภาพรวมของภาวะออกซิเดชันของร่างกายหรือสารตัวอย่าง ดังนั้นจึงมีการหาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งเป็นการรวมองค์ประกอบทั้งหมดของภาวะรีดอกซ์และใช้เป็นดัชนีชี้วัดภาวะออกซิเดชันของร่างกายโดยตรวจวัดจากเลือด พลาสมา และของเหลวที่ได้จากร่างกาย ในการวิเคราะห์มีหลักการที่สำคัญสองวิธีการคือ

ก. การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน (hydrogen atom transfer,HAT) เช่น วิธีORAC และ TRAP

ข. การวิเคราะห์จากการส่งผ่านอิเล็กตรอนเดี่ยว (electron transfer ,ET หรือ SET) ได้แก่ วิธี FRAP และ วิธี TEAC เป็นต้น

วิธีวิเคราะห์โดยใช้หลักการ HAT จะวัดความสามรถของสารต้านออกซิเดชันในเลือดหรือพลาสมาในการขจัดอนุมูลอิสระโดยการให้อะตอมไฮโดรเจน

$$X^{\cdot} + AX \longrightarrow XH + A^{\cdot}$$

วิธีการนี้จะหาพลังงานที่ทำให้พันธะของหมู่ที่จะให้อะตอมไฮโดรเจนแตกออก(bond dissociation energy,BDE) สารที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจะมีค่า ΔBDE ประมาณ -10กิโลแคลอรีต่อโมล และมีค่าความต่างศักย์ของการแตกตัว (ionization potential, ΔIP) ต่ำกว่า -36 กิโลแคลอรีต่อโมล ในการหาดัชนี TAC เป็นการวัดความสามรถในการแข่งขันกันในเชิงจลนศาสตร์ ปฏิกิริยา HAT จะไม่ขึ้นกับตัวทำละลายและค่าพีเอช แต่หากมีสารรีดิวซ์หรือโลหะอยู่ด้วยจะทำให้การวิเคราะห์โดยวิธี HAT ซับซ้อนและส่งผลให้ค่าที่วิเคราะห์ได้สูงกว่าเป็นความจริง

ในการวิเคราะห์โดยใช้หลักการ SET หรือ ET เป็นการหาความสามารถในการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปรีดิวซ์สารอื่น ได้แก่ โลหะ และอนุมูลสารต้านออกซิเดชันจะขจัดอนุมูลโดยกลไก HAT และ SET ซึ่งให้ผลผลิตที่เหมือนกันในตอนสุดท้าย แม้ว่าจะมีกลไกทางจลนศาสตร์และเกิดสารข้างเคียงที่แตกต่างกัน เมื่อรวมสมการที่ (1)-(3) ในกลไก SET จะได้ผลเช่นเดียวกับสมการของกลไก HAT ดังแสดงขั้นต้น

$$X^{\cdot} + AX \longrightarrow X^{-} + AX^{+} \quad (1)$$

$$AX^{\cdot} \longrightarrow A^{\cdot} + H_3O^{+} \quad (2)$$

$$X^{-} + H_3O^{+} \longrightarrow XH + H_2O \quad (3)$$

$$M(III) + AH \longrightarrow AH^{+} + M(II) \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์จะเกิดกลไกทั้งสองคือ HAT และ ET ควบคู่กันไปเสมอ วิธี SETจะเปรียบเทียบความสามารถในการทำให้โปรตอนหลุดจากโมเลกุล และการแตกออกเป็นอิออน ปฏิกิริยา SET จะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นแสดงถึงความสามารถในการให้อิเล็กตรอนในการที่โปรตอนหลุดออกสารต้านออกซิเดชันที่เกิดกลไก SET จะมีค่า IP -45กิโลแคลอรีต่อโมล ปฏิกิริยา ET จะช้าและใช้เวลานานกว่าปฏิกิริยาจะสิ้นสุด ดังนั้นการคำนวณค่า TAC จะหาปริมาณของสารที่เกิดขึ้นเมื่อเติมสารต้านออกซิเดชันลงไปกว่าจะมีปริมาณลดลงเป็นร้อยละเท่าใดมากกว่าจะคำนวณหาค่าทางจลนศาสตร์ วิธี SET จะไวต่อวิตามินซีและกรดยูริก สารปนเปื้อนและโลหะจะรบกวนวิธี SET ทำให้การวิเคราะห์มีความแปรปรวนสูง ดังตารางที่ 2.1 แสดงวิธีต่างๆที่ใช้วิเคราะห์หาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน วิธีการวิเคราะห์แบ่งเป็นวิธีการวัดโดยอ้อมและวิธีการวัดโดยตรง

ตารางที่ 2.1 วิธีวิเคราะห์หาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน

การวิเคราะห์หาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน	วิธีวิเคราะห์
Oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC)	วิธีโดยอ้อม HAT
Photochemiluminescence assay (PCL)	
TEAC I ($ABTS^{\bullet+}$ / metmyoglobin)	วิธีโดยอ้อม SET
TEAC II ($ABTS^{\bullet+}$ with manganese dioxide MnO_2)	วิธีโดยอ้อม SET
TEAC III ($ABTS^{\bullet+}$ with potassium persulfate $K_2O_8S_2$)	วิธีโดยอ้อม SET
Diphenyl-1-picrylhydrazyly assay (DPPH)	SET
Total radical-trapping antioxidant parameter (TRAP)	วิธีโดยอ้อม HAT
The ferric reducing ability of plasma assay (FRAP)	วิธีโดยตรง SET

TEAC = Trolox equivalent antioxidant capacity assay, ABTS = 2,2(-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid radical, HAT = hydrogen atom transfer, SET = single electron transfer

ที่มา : กัญญาณัฐและคณะ (2552)

วิธีวิเคราะห์หาค่า TAC โดยอ้อม วิธีวิเคราะห์เป็นการหาความสามารถในการยับยั้งหรือขจัดอนุมูลอิสระที่ทำให้เกิดขึ้นถือเป็นการวิเคราะห์โดยอ้อม ได้แก่ วิธี TRAP ORAC และ TEAC เริ่มด้วยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น และนำเลือด หรือพลาสมาเติมลงไปหลังจากนั้นจึงวัดความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ

2.10.1.1 วิธี TRAP

วิธีนี้จะใช้สารประกอบเอโซ ABTS ABAP หรือ AAPH,2,2'-azobis (2-amidopropane) ซึ่งสลายตัวให้อนุมูลเปอร์ออกซี ซึ่งหาปริมาณได้จากการที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสาร ABTS เกิดเป็นอนุมูลที่มีสี $ABTS^{\bullet+}$ มีค่า λmax ที่ 660,734 และ 820 นาโนเมตร ซึ่งการวัดค่า TAC ทำโดยดูความสามารถของเลือด พลาสมา ในการต้านออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำเลือดไปผสมจะทำให้เกิดสีของ $ABTS^{\bullet+}$ ช้าลงหรือเกิด$ABTS^{\bullet+}$ น้อยลงทำให้มีสีจางซึ่งสามารถวัดหาปริมาณได้ การวิเคราะห์ทำได้ทั้งการวัดระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดสีของ $ABTS^{\bullet+}$ หลังจากเติมเลือดหรือพลาสมาหรือวัดปริมาณ$ABTS^{\bullet+}$ ที่เกิดขึ้นจากค่าการดูดกลืนแสงในเวลาที่กำหนด วิธีการวัดโดยกำหนดเวลาถึงแม้ว่าจะสะดวกและได้ค่าถูกต้องแม่นยำดีแต่เนื่องจากมีปัจจัยอื่นๆเช่น ระยะเวลาที่ในการเกิดสีและอัตราการเกิดออกซิเดชัน เข้ามามีบทบาททำให้การแปลผลซับซ้อน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีโดยการวัดพื้นที่ใต้เส้นกราฟ (AUC) ซึ่งจะให้ค่าที่ถูกต้องแต่ยุ่งยากไม่สะดวกและใช้เวลาในการวิเคราะห์

วิธี TRAP มีการพัฒนาต่อมาโดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากระตุ้นเมทไมโอโกลบินเกิดเป็นอนุมูลเฟอริ์ริลไมโอโกลบิน ไปทำปฏิกิริยากับ ABTS เกิดเป็นอนุมูล$ABTS^{\bullet+}$ ที่มีสีดังนั้นเมื่อเติมเลือดหรือสารที่ต้องการวิเคราะห์ลงไปในสารผสมที่ใช้ทดสอบ เลือดหรือสารที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันจะยับยั้งปฏิกิริยาทำให้สีที่เกิดขึ้นลดลง วิธีการนี้อาจวัดค่าดูดกลืนแสงของ $ABTS^{\bullet+}$ ที่ λmax เท่ากับ 734 นาโนเมตร วัดในเวลาที่กำหนดที่จุดเดียว หรือวัดอัตราความเร็วในการเกิด $ABTS^{\bullet+}$ โดยบันทึกค่าดูดกลืนแสงหลังจากการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือระบุเป็นระยะเวลาที่ใช้ก่อนเกิดปฏิกิริยา (lag time) หรือค่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยเปรียบเทียบกับสานมาตรฐานโทรร็อก

2.10.1.2 วิธี ORAC

วิธี ORAC จัดเป็นการวิเคราะห์โดยอ้อมอีกวิธีหนึ่ง วิธี ORAC หาดัชนีTAC โดยการวัดความสามารถของสารที่ทดสอบหรือเลือดในการยับยั้งอนุมูลเปอร์ออกซีไม่ให้ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ด้วยกลไก HAT การวิเคราะห์จะวัดแสงฟลูออเรสเซนส์ โดยอนุมูลเปอร์ออกซีจะทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสารที่ให้แสงฟลูออเรสเซนส์เป็นสารที่ไม่ให้แสงฟลูออเรสเซนส์ ดังนั้น เมื่อเติมเลือดหรือสารต้านอนุมูลลงไปขจัดอนุมูลเปอร์ออกซีจะทำให้มีแสงฟลูออเรสเซนส์เพิ่มขึ้นตามปริมาณและความแรงของสารที่ทดสอบที่เติมลงไป

วิธีนี้จะใช้ β-phycoerythin (β-PE) แทน $ABTS^{\bullet+}$ β-PE มีคุณสมบัติให้แสงฟลูออเรสเซนส์ที่ 565 นาโนเมตร เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงหรือรังสีที่มีความยาวยาวคลื่นเท่ากับ 540 นาโนเมตร β-PE จะถูกทำลายโดยอนมูลอิสระ ทำให้คุณสมบัติในการให้แสงฟลูออเรสเซนส์เสียไป ดังนั้นเมื่อผสมสารเอโซ AAPH ซึ่งจะสลายตัวให้อนุมูลเปอร์ออกซี($ROO^{\bullet}$) จะทำให้เกิดแสงฟลูออเรสเซนส์ของ β-PE ลดลง (สมการสอง) ดังนั้นการเติมซีรั่มหรือสารต้านออกซิเดชันลงไปในสารละลายทดสอบจะยับยั้งการสูญเสียแสงฟลูออเรสเซนส์ของ β-PE (สมการที่ 3 และ 4)

$$R\text{-}N{=}N\text{-}R\ (AAPH) \longrightarrow N_2 + 2ROO^{\bullet} \quad (1)$$

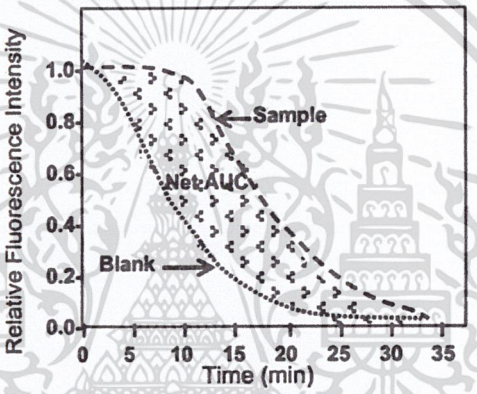
$$ROO^{\bullet} + \beta\text{-PE หรือ FL} \longrightarrow ROOH + \text{oxidized-}\beta\text{-PE หรือ FL} \quad (2)$$

$$ROO^{\bullet} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\bullet} \text{ กลไก HAT} \quad (3)$$

$$ROO^{\bullet} + A^{\bullet} \longrightarrow ROOA \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มแรกใช้โปรตีนเบต้าไฟโคอีริทติน (β-PE) เป็นสารที่ให้แสงฟลูออเรสเซนส์ซึ่งต่อมาไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากβ-PEมีความแปรปรวนสูงในการเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลและแสงฟลูออเรสเซนส์จะลดลงเมื่อถูกแสง นอกจากนี้สารต้านอนุมูลกลุ่มโพลีฟีนอลโดยเฉพาะโปรแอนโทไซยานิดินจะจับกับโปรตีนβ-PEทำให้ได้ค่า ORAC ต่ำกว่าเป็นจริง ปัจจุบันนิยมใช้ฟลูออเรสเซนส์ (fluorescein,FL) หรือไดคลอโรฟลูออเรสซีน (H_2DWF-dA) ซึ่งมรความคงตัวและมาไวต่อปฏิกิริยาจนเกินไป ในการวิเคราะห์จะติดตามปฏิกิริยาเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อให้ได้ค่า ORAC ที่ถูกต้องสมบูรณ์จะวัดความสามารถในการต้านอนุมูลโดยคำนวณจากพื้นที่ภายใต้เส้นกราฟAUC ของการลดลงของแสง เมื่อเติมเลือดหรือสารต้านอนุมูลลงไปในสารละลายทดสอบจะทำให้การลดลงของแสงเกิดช้ากว่าและลดลงน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การวิเคราะห์หาดัชนีความสามารถในการต้านอนุมูลโดยใช้วิธี ORAC คำนวณจากพื้นที่ภายใต้เส้นกราฟ AUC ของการลดลงของแสงฟลูออเรสเซนส์
ที่มา : กัญญาณัฐและคณะ (2552)

เพื่อกำจัดความแปรปรวนจากสารเคมี เครื่องมือ และผู้วิเคราะห์ค่า ORAC จะคำนวณเป็นค่าที่สมมูลกับค่ามาตรฐานโทร็อกหรือ trolox equivalent (TE) มีหน่วยเป็นไมโครโมลเท่ากับโทร็อกต่อตัวอย่างสารประกอบ 1 ลิตรหรือ 1 กรัม (ไมโครโมลของ TE/L หรือ μM ของ TE/g)

ข้อจำกัดของวิธี ORAC คือเป็นวิธีที่วัดเฉพาะความสามารถในการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดจากอนุมูลเปอร์ออกซีที่ละลายน้ำเท่านั้น ไม่ได้วัดความสามารถรวมในการต้านอนุมูลชนิดอื่นๆ และฤทธิ์ต้านอนุมูลในลิปิดซึ่งมีความสำคัญในการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน จึงมีการพัฒนาเปลี่ยนตัวทำละลายในการวิเคราะห์เป็นสารละลายอนุพันธ์ของไซโคลเด็กซ์ตริน (RMCD 7 เปอร์เซ็นต์ ในสารสารละลายอะซิโตน 50 เปอร์เซ็นต์) วิธี ORAC ได้พัฒนาให้รวดเร็วและใช้ปริมาณสารทดสอบในปริมาณน้อยโดยการใช้แผ่น microplate ชนิด 48 หลุมหรือ 96 หลุม โดยแผ่นทดสอบ 48 หลุมจะมีความแปรปรวนต่ำกว่า 96 หลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี FRAP เป็นวิธีวิเคราะห์หาค่า TAC โดยตรง มีหลักการว่าสารต้านออกซิเดชันในร่างกายทำหน้าที่โดยการให้อิเล็กตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวซ์ ดังนั้นจึงมีกล่าวได้ว่า TAC เป็นความสามารถรวมในการรีดิวซ์ วิธีนี้ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก Fe^{3+}-TPTZ (ferric tripyridy triazine) เป็นสารทดสอบ อะตอมเหล็กในสารนี้จะถูกรีดิวซ์โดยเลือดหรือสารต้านออกซิเดชัน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส Fe^{2+}-TPTZ ซึ่งมีสีน้ำเงินดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

วิธี FRAP นั้นจะวัดความต่างศักย์ของการรีดอกซ์ที่มีค่าต่ำกว่า 0.7โวลท์ ซึ่งเป็นค่าความต่างศักย์ของสมการรีดอกซ์ของ Fe^{3+}-TPTZ ดังนั้นวิธี FRAP สามารถใช้วัดภาวะรีดอกซ์ของเซลล์และเนื้อเยื่อแต่ วีธี FRAP ไม่สามารถวัดสารต้านออกซิเดชันที่ขจัดอนุมูลอิสระโดยการให้อะตอมไฮโรเจน (HAT) เช่นหมู่ไทออลในโปรตีน ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์เลือดหรือพลาสมา วิธี FRAP จึงให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

เนื่องจากความต่างศักย์รีดอกซ์ของ Fe(III)-TPTZ มีค่าใกล้เคียงกับค่าของ $ABTS^{\cdot+}$ ซึ่งใช้ในวิธีวิเคราะห์ TEAC ดังนั้นสารต้านออกซิเดชันจำพวกเดียวกันมีโครงสร้างที่คล้ายกันจะทำปฏิกิริยาได้ทั้งในวิเคราะห์ FRAP และวิธี TEAC แม้ว้าทั้งสองวิธีจะมีความแตกต่างกันในเรื่องค่าพีเอช โดยวิธี TEAC จะวิเคราะห์โดยทำปฏิกิริยาในสภาวะเป็นกลาง ส่วนวิธี FRAP จะทำในสภาวะกรดมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.6 เพื่อเหล็กละลายได้ เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดที่พีเอชต่ำหรือเป็นกรดจะลดค่าความต่างศักย์ในการแตกตัวเป็นอิออน ทำให้เร่งการส่งผ่านอิเล็กตรอนและเพิ่มค่าความต่างศักย์รีดอกซ์ ดังนั้นถึงแม้ว่าค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีTRAP และ TEAC จะให้ค่าที่ไปในทิศทางเดียวกัน แต่ค่าจากวิธี TRAP จะต่ำกว่าวิธี TRAC เสมอ และค่าจากวิธี FRAP ส่วนใหญ่จะไม่สัมพันธ์กับค่าที่หาโดยวิธีอื่นๆ

ถึงแม้ว่าความสามารถในการรีดิวซ์เหล็กจะมีความสัมพันธ์กับการขจัดอนุมูลโดยการให้อะตอมไฮโดรเจนไม่มาก แต่การที่อนุมูลถูกออกซิไดซ์หรือถูกรีดิวซ์ให้เป็นอิออนเป็นการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ ดังนั้นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์โดยวิธี FRAP จึงแสดงถึงภาวะรีดอกซ์ของพลาสมา เนื่องจากวิธี FRAP จะเป็นการวิเคราะห์โดยใช้เฉพาะหลักการ SET เท่านั้น ดังนั้นการนำผลการวิเคราะห์โดยวิธีอื่นๆมาประกอบจะให้การประเมินผลมีความถูกต้องดีขึ้น

ทั้งวิธี TRAC และวิธี FRAP เป็นการวิเคราะห์หาความสามารถในการรีดิวซ์ซึ่งเกิดอย่างรวดเร็วภายใน 4-6 นาที แต่ในการวิเคราะห์สารต้านออกซิเดชันจากพืชจำพวกโพลีฟีนอล จะพบว่าค่าดูดกลืนแสงที่595 นาโนเมตร จะเพิ่มขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ ดังนั้นการวัดครั้งเดียวตามเวลาที่กำหนดอาจไม่ใช่ค่าที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ วิธี FRAP มีข้อดีคือเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาน้อย ไม่แพง และไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษแต่มีข้อเสียคือกลไกของปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่เกี่ยวข้องกับกลไกในร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1.3 วิธี TEAC

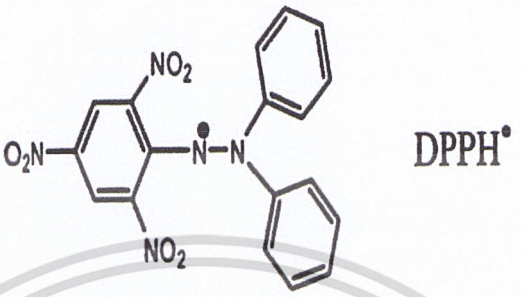
วิธี TEAC และวิธีวิเคราะห์อื่นๆโดยใช้ ABTS เป็นวิธีขจัด $ABTS^{\bullet+}$ เปรียบเทียบกับ trolox แม้ว่าวิธี TEAC จะใช้ปฏิกิริยาที่จัดอยู่ในประเภท SET แต่สารบ่งชี้ที่ใช้ในวิธี TEAC สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้ง 2 แบบ โดยการเกิดรีดักชันโดยตรงด้วยกลไก SET และโดยการขจัดอนุมูลด้วยกลไกHAT วิธี TEAC เป็นการวัดความสามารถในการขจัดอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ ที่มีความคงตัว วิธีนี้ ABTS จะถูกออกซิไดซ์โดยอนุมูลเปอร์ออกซีเกิดเป็นอนุมูลที่มีประจุบวก $ABTS^{\bullet+}$ และมีสี ดังนั้นเมื่อเติมเลือด พลาสมา หรือสารต้านอนุมูลลงไปจะทำให้มีสีลดลง ผลการวิเคราะห์จะคำนวณเป็นค่าที่สัมพันธ์กับสารต้านอนุมูลมาตรฐาน trolox จึงมีชื่อว่า trolox equivalent antioxidant capacity วิธี TEAC มีการพัฒนาตามลำดับ ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอีที่ละลายน้ำ โดยวิธี TEAC แรกเริ่มใช้เมทไมโอโกลบินไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากัน เกิดเป็นอนุมูล ferrylmyoglobin ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ ABTS ให้เป็นอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ ให้มีสีมีค่า λmax หลายค่าโดยค่า λmax ที่ 415นาโนเมตรและ 734 นาโนเมตรเป็นค่าความยาวคลื่นที่นิยมใช้ในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของ $ABTS^{\bullet+}$ โดยในการวิเคราะห์จะวัดค่าการดูดกลืนแสงของ $ABTS^{\bullet+}$ ที่ลดลง จากค่าควบคุมที่ไม่ได้เติมสารทดสอบหรือเลือด

นำค่าที่ลดลงมาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ใส่สารมาตรฐาน trolox ในระยะแรกของการวิเคราะห์จะใส่สารทดสอบหรือพลาสมาและสารอื่นๆรวมกันก่อน และจึงทำให้เกิดอนุมูลโดยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นขั้นสุดท้าย ซึ่งทำให้ได้ค่าสูงกว่าความเป็นจริง หลังจากนั้นจึงมีการพัฒนาโดยเปลี่ยนลำดับการเติมสารทดสอบโดยผสมสารหรือเลือดที่ต้องการวิเคราะห์ท้ายที่สุด ภายหลังจากการที่ ทำให้เกิดอนุมูล $ABST^{\bullet+}$การพัฒนาวิธีต่อมาทำโดยใช้สารอื่นในการทำให้เกิดอนุมูล$ABST^{\bullet+}$ได้แก่ แมงกานีสไดออกไซด์ หรือ โปตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์สารต้านอนุมูลที่ละลายดีในลิปิด นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาวิธีการทำให้เกิด$ABTS^{\bullet+}$โดยใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจาก horseradishซึ่งข้อดีก็คือใช้เวลาน้อยกว่าและเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้สภาวะรุนแรงเช่นอุณหภูมสูงหรือใช้สารเคมีต่างๆนอกจากนี้การใช้เอนไซม์ทำให้สามารถศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลได้ในค่าพีเอชในช่วงกว้าง แต่ต้องคำนึงไว้ว่าในภาวะกรดจะเพิ่มการเกิด ET

ข้อดีของวิธี TEAC คือทำได้ง่าย อนุมูล$ABTS^{\bullet+}$ จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลภายในเวลา 30 นาที ปกติจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที การวิเคราะห์ทำได้ในช่วงพีเอชที่กว้าง ทำให้สามารถศึกษากลไกได้โดยละเอียด อนุมูล$ABTS^{\bullet+}$ละลายได้ทั้งในน้ำและสารที่ทำละลายอินทรีย์ใช้วิเคราะห์หาความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต่างๆไม่ว่าจะเป็นสารที่ละลายน้ำหรือสารที่ละลายในลิปิด ส่วนข้อเสียของ TEAC คือ ABTS ไม่เป็นสารตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุมูลในเซลล์หรือร่างกายเช่นเดียวกับ Fe(III)-TPTZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี DPPH อนุมูล $DPPH^{\cdot}$ ดังรูปที่ 2.10 เป็นอนุมูลไนโตรเจนที่คงตัวมีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูลอยู่แล้วโดยไม่ต้องทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดอนุมูลเหมือนกับกรณีอนุมูล $ABST^{\cdot+}$ การวิเคราะห์เป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ การวัดทำโดยใช้เครื่องมือ EPR หรือใช้เครื่องสเปกโตรวัดการลดลงของสี เมื่อเติมสารต้านอนุมูลลงไป โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร



รูปที่ 2.19 อนุมูล $DPPH^{\cdot}$
ที่มา : กัญญาณัฐและคณะ (2552)

ต่อมามีการพัฒนาใช้ $DPPH^{\cdot}$ ในการหาความสามารถในการต้านอนุมูลเรียกว่า antiradical efficiency (AE) โดยคำนวณจากสมการ

$$AE = 1/EC_{50}T_{EC50}$$

EC_{50}= ความเข้มข้นของสารทดสอบที่สามารถลดปริมาณ $DPPH^{\cdot}$ เริ่มต้นลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์

T_{EC50}= เวลาที่ใช้ในการลดปริมาณอนุมูลให้ได้ EC_{50}

ข้อดีของวิธีนี้มีข้อดีคือง่าย ใช้เครื่องมือสามัญที่มีทั่วไป นิยมใช้เป็นวิธีเบื้องต้นในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลของสารต้านอนุมูลจากธรรมชาติ ยกเว้นสารกลุ่มแคโรตินอยด์ที่มีการดูดกลืนแสงในย่านเดียวกัน ข้อด้อยของวิธีนี้คือ อนุมูล $DPPH^{\cdot}$ มีความคงตัวไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนอนุมูลที่เกิดในเซลล์หรือร่างกาย ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะจัดอันดับอนุมูลที่ความไวสูงได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของ $DPPH^{\cdot}$ ที่แสดงจะเห็นว่าอิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วงด้วยหมู่ไนไตร ทำให้สารต้านอนุมูลที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่บางสารไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาขจัดอนุมูลหรือเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าความเป็นจริง ทั้งๆที่สารต้านอนุมูลนั้นมีฤทธิ์ดีในการขจัดอนุมูลเปอร์ออกซี นอกจากนี้สารรีดิวซ์สามารถทำให้สี $DPPH^{\cdot}$ จางลงได้อีกด้วย (กัญญาณัฐและคณะ, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าดัชนี TAC วิเคราะห์โดยวิธีต่างๆ

Material	Trolox equivalents (μM)	Method
Amniotic fluid	522 ± 87	$ABTS^{+\bullet}$ decoloration
Blood plasma	1120 ± 70	TRAP
Blood plasma	1440 ± 284	AAPH / Luminol
Blood plasma	2700 ± 500	$ABTS^{+\bullet}$ decoloration
Blood plasma 22 ± 5 years	1720 ± 200	TAS
Blood plasma 71 ± 4years	1770 ± 130	TAS
Blood plasma (EDTA)	1010 ± 130	FRAP
Blood plasma (EDTA)	1272 ± 199	ABAP / Luminol
Blood plasma (EDTA)	1155 ± 290	H2 -DCF-DA/AAPH
Blood plasma (heparin)	1103 ± 30	FRAP
Blood plasma (heparin)	930 ± 150	FRAP
Blood plasma (heparin)	830 ± 4	TAS
Blood plasma (heparin)	1760 ± 190	TAS
Blood plasma (heparin)	580 ± 79	TRAP
Blood plasma (heparin)	1870 ± 10	ORAC
Blood serum	382 ± 79	Enhanced chemiluminescence
Feces	26 600–10 500 mol/kg	$ABTS^{+\bullet}$ decolorization
Saliva	389 ± 190	DPPH reduction
Saliva	59 ± 26	FRAP
Seminal plasma	1443 ± 105	Enhanced chemiluminescence assay
Seminal plasma	1654 ± 115	Enhanced chemiluminescence assay
Tear fluid	409 ± 162	FRAP

ที่มา : กัญญาณัฐและคณะ (2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

ตัวอย่างเห็ด 4 ชนิด ได้แก่ เห็ดหอม เห็ดฟาง เห็ดหูหนูดำ เห็ดเข็มทอง

3.1.2 เครื่องมือ

3.1.2.1. เครื่องชั่งสารความละเอียด 4 ตำแหน่ง (ohaus, Germany)

3.1.2.2. เครื่องปั่นสาร (heidolph, Germany)

3.1.2.3. เครื่องดูดสารอัตโนมัติ (gilson, France)

3.1.2.4. ตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส (sanyo, Japan)

3.1.2.5. ชุดกรองสารและแผ่นกรองช่องผ่านขนาด 90 ไมโครเมตร (pyrex, USA)

3.1.2.6. เครื่องกำเนิดคลื่นเสียง (GAST, USA)

3.1.2.7. เครื่องผสมสาร (heidolph, Germany)

3.1.2.8. เครื่องระเหยระบบสุญญากาศ(heidolph, Germany)

3.1.2.9. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง(thermo scientific, England)

3.1.2.10. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง(haier, Japan)

3.1.2.11. เครื่องอบลมร้อน(contherm, New Zealand)

3.1.2.12. เครื่องกำจัดน้ำ(gellet, France)

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 ฟอลิน ซิโอแคลตูรีเอเจนต์ (folin and ciocalteu's reagent, Sigma, USA)

3.1.3.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2Co_3, Ajax finechem Pty)

3.1.3.3 โซเดียมไนไทรต์ ($NaNo_2$, Ajax finechem Pty)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.4 อะลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3.H_2O$, Ajax finechem Pty)

3.1.3.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, Ajax finechem Pty)

3.1.3.6 คาร์เตชิน (catechin, Sigma, USA)

3.1.3.7 กรดแกลลิก (gallic acid, Sigma, USA)

3.1.3.8 เมทานอล (methanol AR grade, Germany)

3.1.3.9 2,2-ไดฟีนิล-1-ไพคริลไฮดราซิล (DPPH, D913-2, Sigma, USA)

3.1.3.10 อะซิโตน (acetone, Germany)

3.1.3.11 เฮกเซน (hexane, USA)

3.1.3.12 เบต้าไฮดรอกซีแอซิด (BHA, 2-tert-butyl-4-metroxyphenol, Sigma, USA)

3.1.3.13 โทโคฟีรอล (α-tocopherol, Sigma, USA)

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.2.1 ตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์เห็ด ได้แก่ เห็ดหอม เห็ดฟาง เห็ดหูหนูดำ เห็ดเข็มทอง ซึ่งจัดเป็นเห็ดที่มีรสชาติน่ารับประทานและเป็นเห็ดที่มีการผลิตในทางการค้าในประเทศไทย หลังจากนั้นทำการคัดแยกและจำแนกเห็ดแต่ละชนิดออกจากกัน เห็ดทุกชนิดจะถูกนำมาทำแห้งที่กรรมวิธีที่แตกต่างกัน คือ วิธีอบลมร้อน(hot air oven) ที่เวลาแตกต่างกันคือ 24, 25, 26, 27 ชั่วโมง และเครื่องกำจัดน้ำ (dehydrator) ที่เวลาแตกต่างกันคือ 5, 6, 7, 8 ชั่วโมง และนำไปบดให้เป็นผงละเอียด เพื่อเก็บไว้ใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

3.2.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างแห้งที่ได้จากกรรมวิธีข้อ 3.2.1 มา 3 กรัม เติมเมทานอลลงไป 100 มิลลิลิตร เพื่อทำการสกัดสารจากตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บ่มเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 นำส่วนใสที่ได้มาเติมเมทานอลอีก 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นต่อเข้ากับเครื่องระเหยระบบสุญญากาศ (rotary evaporator laboratory) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทำให้เป็นสารละลายอีกครั้งในอัตราส่วน 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Barros และคณะ, 2007a; Barros และคณะ, 2007b; Ferreira และคณะ, 2007)

3.2.4 การหาปริมาณของสารประกอบฟีนอล

3.2.4.1 การหาปริมาณของสารประกอบฟีนอล

นำสารสกัดที่ได้มา 1 มิลลิลิตร เติม folin and ciocalteu's ลงไป 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 นาที เติมโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว (Na_2Co_3)ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 90 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงจากสารสีฟ้าที่ได้ที่ 725 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง shimadzu UV-VIS spectrophotometer เทียบกับสารมาตรฐานคือ กรดแกลลิก คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลในรูปมิลลิกรัม ของ gallic acid equivalents (GAE) ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง(Barros และคณะ, 2007a; Barros และคณะ, 2007b; Ferreira และคณะ, 2007)

3.2.4.2 การหาปริมาณของสารฟลาโวนอยด์

นำสารสกัดจากเห็ด 250 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นลงไป 1.25 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมด้วย $NaNo_2$ 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 75 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที เติม $AlCl_3.H_2O$ 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 150 ไมโครลิตร ทิ้งไว้อีก 6 นาที เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 โมลาร์ 500 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นลงไปอีก 275 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน จะได้สารเป็นสีชมพู วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร โดยใช้คาเตชินเป็นสารมาตรฐาน คำนวณออกมาให้อยู่ในรูปของมิลลิกรัมคาเตชินต่อกรัมของสารสกัดที่ได้ (Barros และคณะ, 2007a; Barros และคณะ, 2007b; Ferreira และคณะ, 2007)

3.2.4.3 การหาปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนและไลโคพีน

นำสารสกัดที่ถูกทำแห้งมา 100 มิลลิกรัม แล้วเติม acetone: hexane ในอัตราส่วน 4:6 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าอย่างรุนแรงเป็นเวลา 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 453,505 และ 663 นาโนเมตร ทำการคำนวนหาเบต้าแคโรทีน = 0.216A663 – 0.304A505 + 0.452 A453 และไลโคพีน = -0.0458A663 + 0.372 A505 – 0.0806A453 หน่วยเป็นไมโครกรัมของแคโรทีนอยด์ต่อกรัมของสารสกัดที่ได้ (Barros และคณะ, 2007a; Barros และคณะ, 2007b; Ferreira และคณะ, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 การหาฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยสาร DPPH

นำตัวอย่างสารสกัดเห็ดที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันคือ $10x10^{-1}$ ถึง $10x10^{-9}$ มา 0.3 มิลลิลิตร ในแต่ละความเข้มข้น เติม DPPH ที่ละลายด้วยเมทานอล (methanol) ปริมาณ 2.7 มิลลิลิตร เขย่าอย่างรุนแรง ทิ้งไว้ 60 นาทีในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร คำนวณค่า ร้อยละของ RSA จากสูตร $[(A_{DPPH} - A_S)/A_{DPPH}] x100$ โดย A_S สามารถหาได้จากวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง และ A_{DPPH} สามารถหาได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH พร้อมทั้งหาค่า IC_{50} จากกราฟร้อยละของ RSA เทียบกับความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่าง โดยมี BHA และแอลฟาโทโคฟีรอล (α-tocopherol) เป็นสารมาตรฐาน (Barros และคณะ, 2007a; Barros และคณะ, 2007b; Ferreira และคณะ, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

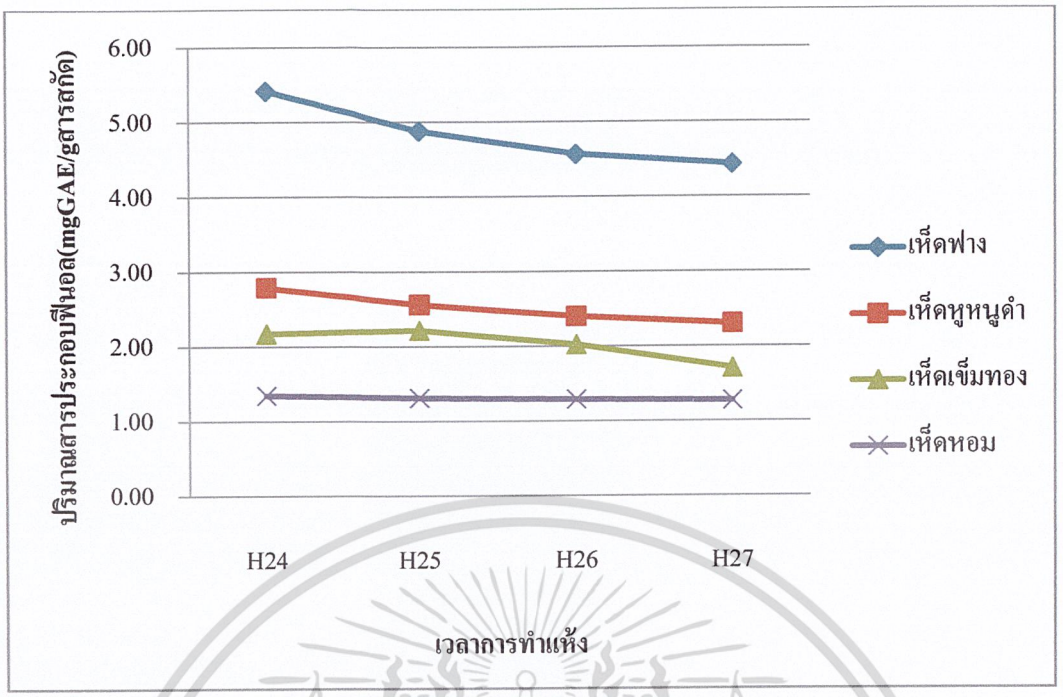
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การหาปริมาณของสารประกอบฟีนอล

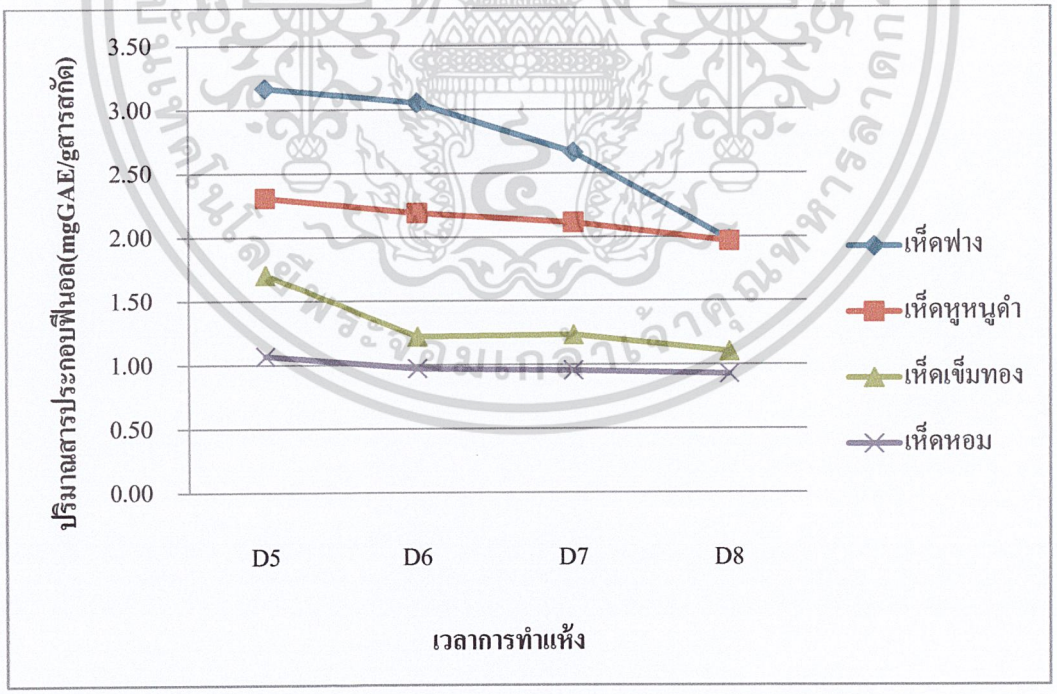
4.1.1 ผลของการหาปริมาณของสารประกอบฟีนอล

เป็นที่ทราบกันว่าองค์ประกอบของสารฟีนอลมีความสามารถในการหยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain-breaking) และสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของตัวมันนั่นเอง จากการทดลองโดยการนำสารสกัดตัวอย่างของเห็ด 4 ชนิด คือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดฟาง เห็ดหอม และเห็ดเข็มทอง ที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 24, 25, 26 และ 27 ชั่วโมง และเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง โดยที่มีสารมาตรฐาน คือ กรดแกลลิก และใช้น้ำกลั่นเป็น blank ซึ่งพบว่า เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งของเห็ดทั้ง 4 ชนิด ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ จะพบว่า การทำแห้งแบบอบลมร้อน จะให้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลมากกว่าวิธีการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก และเมื่อเปรียบเทียบดูที่สภาวะเวลาต่าง ๆ จะพบว่าที่เวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลจะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับทั้ง 2 วิธี จึงเลือกเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลของเห็ดทั้ง 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่ 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและระยะเวลา โดยพบว่า เห็ดฟางจะให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด คือ 5.42 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด รองลงมาคือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดเข็มทอง และเห็ดหอม โดยมีสารประกอบฟีนอล คือ 2.79, 2.17, 1.35 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลของเห็ด 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อน (H)

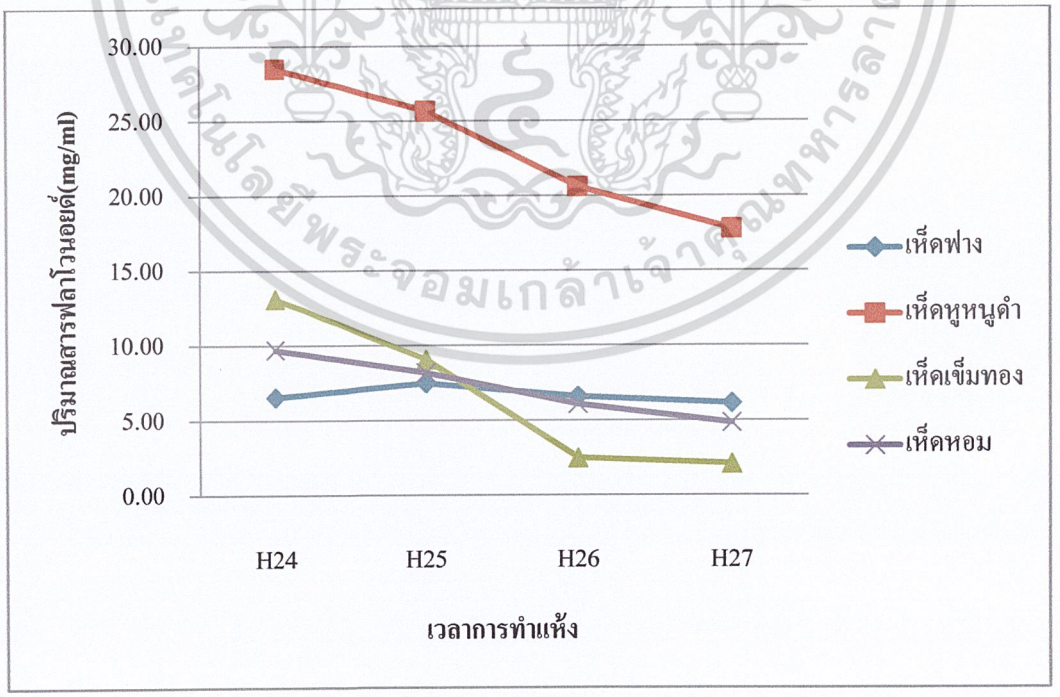


รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลของเห็ด 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งโดยเครื่องกำจัดน้ำออก (D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

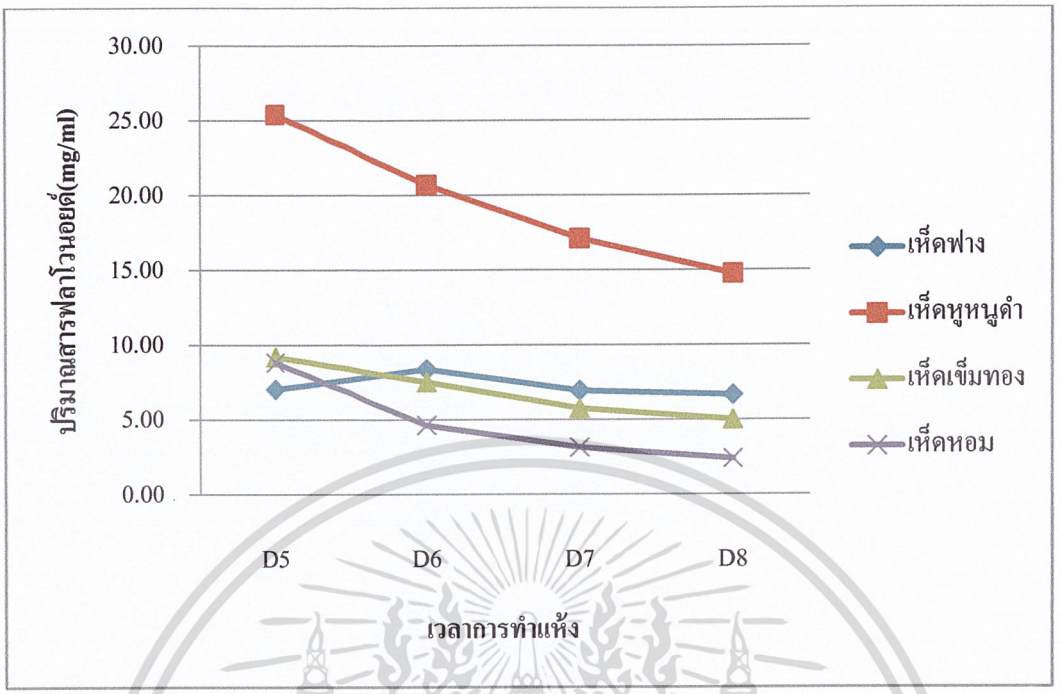
4.1.2 ผลของการหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์

สารฟลาโวนอยด์สามารถพบได้ในอาณาจักรพืชทุกชนิด และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง โดยการเคลื่อนย้ายหมู่ไฮดรอกซิลของวงแหวน B-ring เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ จากการทดลองโดยนำสารสกัดของตัวอย่างเห็ด 4 ชนิด คือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดฟาง เห็ดหอม และเห็ดเข็มทอง ที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 24, 25, 26 และ 27 ชั่วโมง และเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง โดยมีสารมาตรฐานเป็นคาเตชิน และใช้เมทานอลเป็น blank จะพบว่า การทำแห้งแบบอบลมร้อนจะให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากกว่าการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก และเมื่อเปรียบเทียบดูที่สภาวะเวลาต่าง ๆ จะพบว่า ที่เวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของเห็ดหูหนูดำ เห็ดเข็มทอง และเห็ดหอม จะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับทั้ง 2 วิธี ยกเว้นเห็ดฟาง จึงพิจารณาการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและระยะเวลา พบว่า เห็ดหูหนูดำมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากที่สุด คือ 28.52 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด รองลงมาคือเห็ดเข็มทอง เห็ดหอม และเห็ดฟาง โดยมีปริมาณสารคือ 13.13, 9.12 และ 6.56 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของเห็ด 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อน (H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

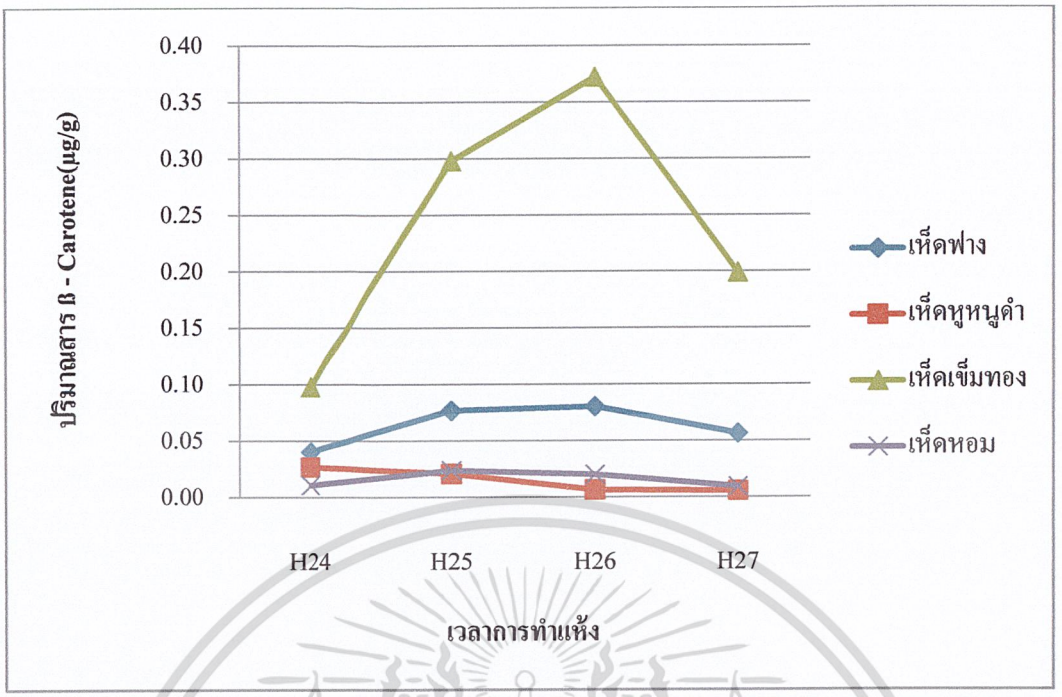


รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของเห็ด 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งโดยเครื่องกำจัดน้ำออก (D)

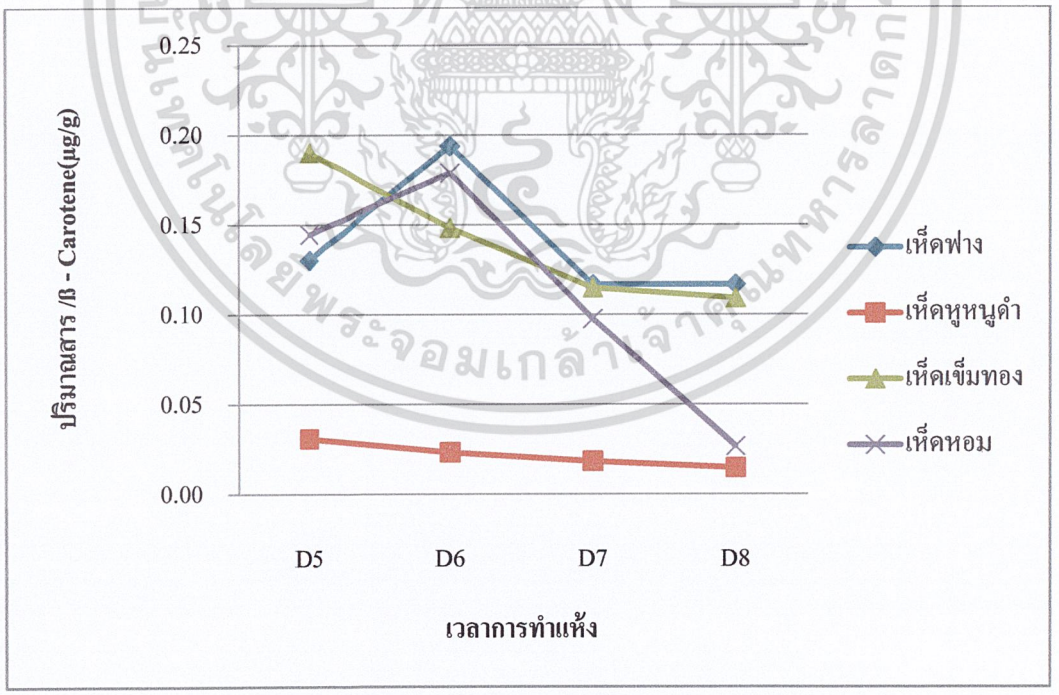
4.1.3 ผลของการหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีน

จากการทดลองหาปริมาณสารเบต้าแคโรทีนในสารสกัดของตัวอย่างเห็ด 4 ชนิด คือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดฟาง เห็ดหอม และเห็ดเข็มทอง ที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 24, 25, 26 และ 27 ชั่วโมง และเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง โดยใช้ acetone: hexane ในอัตราส่วน 4:6 เป็นตัวทำละลาย ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 453,505 และ 663 นาโนเมตร คำนวณหา β-carotene = 0.216A663 – 0.304A505 + 0.452 A453 ซึ่งจากการทดลองจะพบว่า เห็ดเข็มทองที่ทำแห้งโดยกรรมวิธีอบลมร้อน (H) 26 ชั่วโมง จะให้ปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนมากที่สุด คือ 0.37 ไมโครกรัมต่อกรัมของสารสกัด ส่วนเห็ดฟาง เห็ดหอม และ เห็ดหูหนูดำ ที่ทำแห้งโดยกรรมวิธีกำจัดน้ำออก (D) จะให้ปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนมากกว่าการทำแห้งโดยกรรมวิธีอบลมร้อน (H) พบว่า เห็ดฟางที่ทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออกที่ 6 ชั่วโมง มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีน คือ 0.19 ไมโครกรัมต่อกรัมของสารสกัด รองลงมาคือเห็ดหอมที่ทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออกที่ 6 ชั่วโมง และสุดท้ายคือเห็ดหูหนูดำที่ทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออกที่ 5 ชั่วโมง โดยมีสารเบต้าแคโรทีน เท่ากับ 0.18 และ 0.03 ไมโครกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของเห็ด 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อน (H)

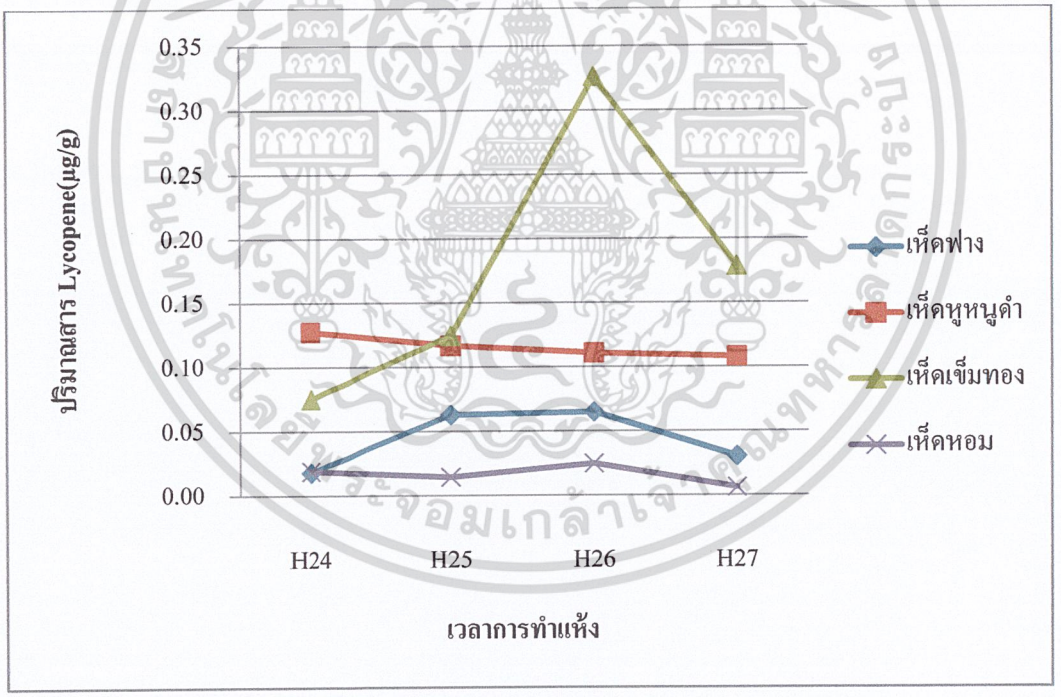


รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารเบต้าแคโรทีนของเห็ด 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งโดยเครื่องกำจัดน้ำออก (D)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

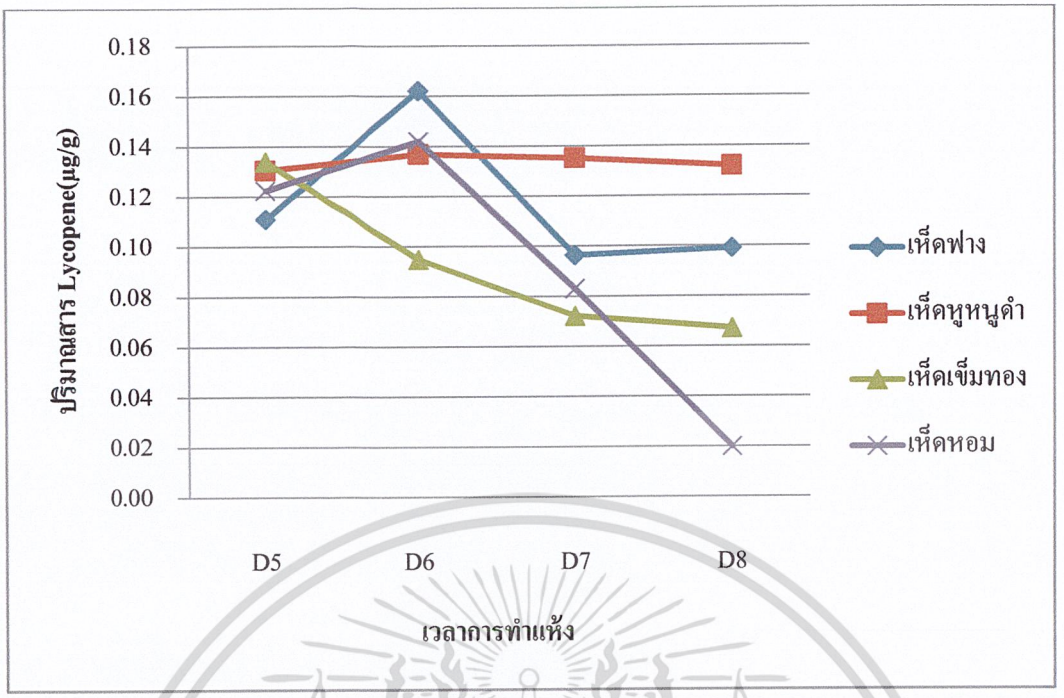
4.1.4 ผลของการหาปริมาณสารไลโคพีน

ปริมาณของสารไลโคพีน ที่อยู่ในเห็ดแต่ละชนิด สามารถหาได้จากการทดลองโดยวิธีการใช้ acetone : hexane ในอัตราส่วน 4 : 6 เป็นตัวทำละลาย ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 453,505 และ 663 นาโนเมตร คำนวณหา โดยจะคำนวณหาปริมาณไลโคพีนจาก lycopene = -0.0458A663 + 0.372 A505 – 0.0806A453 หน่วยเป็นไมโครกรัมของแคโรทีนอยด์ต่อกรัมของสารสกัดที่ได้ ซึ่งจากผลการทดลองหาปริมาณไลโคพีนจะพบว่า เห็ดเข็มทองที่ทำแห้งโดยกรรมวิธีอบลมร้อน (H) 26 ชั่วโมง จะให้ปริมาณของสารไลโคพีนมากที่สุด คือ 0.33 ไมโครกรัมต่อกรัมของสารสกัด ส่วนเห็ดฟาง เห็ดหอม และเห็ดหูหนูดำ ที่ทำแห้งโดยกรรมวิธีกำจัดน้ำออก (D) จะให้ปริมาณของสารไลโคพีนมากกว่าการทำแห้งโดยกรรมวิธีอบลมร้อน (H) โดยพบว่า เห็ดฟางที่ทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออกที่ 6 ชั่วโมง มีปริมาณสารเบต้าแคโรทีน คือ 0.16 ไมโครกรัมต่อกรัมของสารสกัด รองลงมาคือเห็ดหอมและเห็ดหูหนูดำที่ทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออกที่ 6 ชั่วโมง มีสารเบต้าแคโรทีนใกล้เคียงกันคือ 0.14 ไมโครกรัมต่อกรัมของสารสกัด ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารไลโคพีนของเห็ด 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีอบลมร้อน (H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณของสารไลโคพีนของเห็ด 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งโดยเครื่องกำจัดน้ำออก (D)

4.2 ผลการทดสอบหาฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH

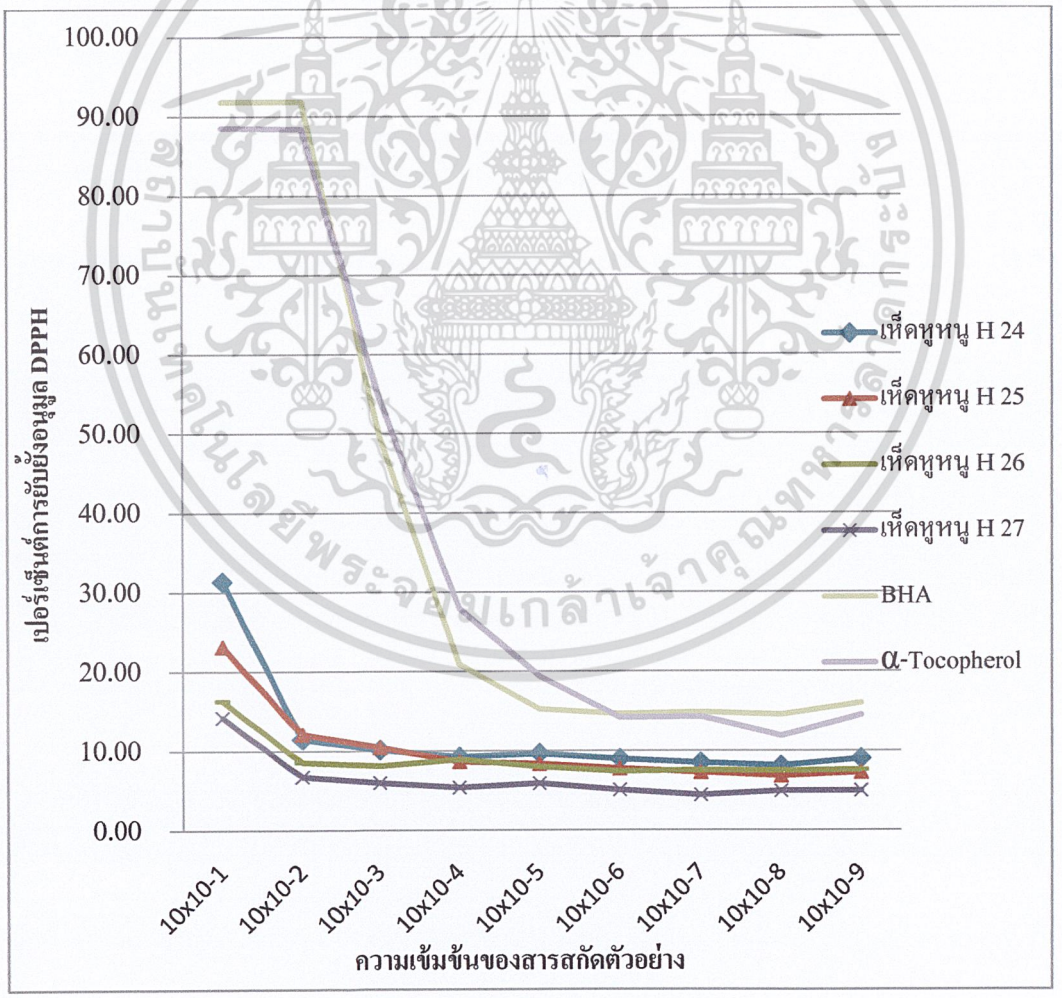
ในการนำสารสกัดเห็ดแต่ละชนิดมาทดลองโดยใช้ตัวทำละลายเมทานอล โดยเห็ดที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 4 ชนิด คือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดฟาง เห็ดหอม และเห็ดเข็มทอง ที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 24, 25, 26 และ 27 ชั่วโมง และเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง โดยนำสารสกัดแต่ละชนิดมาเจือจางความเข้มข้นด้วยเมทานอล ให้ได้ระดับความเข้มข้นที่ $10x10^{-1}$ ถึง $10x10^{-9}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH ที่ละลายในเมทานอลเช่นเดียวกัน ในอัตราส่วนของสารตัวอย่างต่อสารละลาย DPPH เท่ากับ 0.3 : 2.7 จากนั้น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยมีตัวควบคุมเชิงบวกเป็น BHA และ α-tocopherol และมีเมทานอล เป็น blank

4.2.1 ผลของสารสกัดเห็ดแต่ละชนิด ที่ผ่านกรรมวิธี การทำแห้งที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบอบลมร้อน และการผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

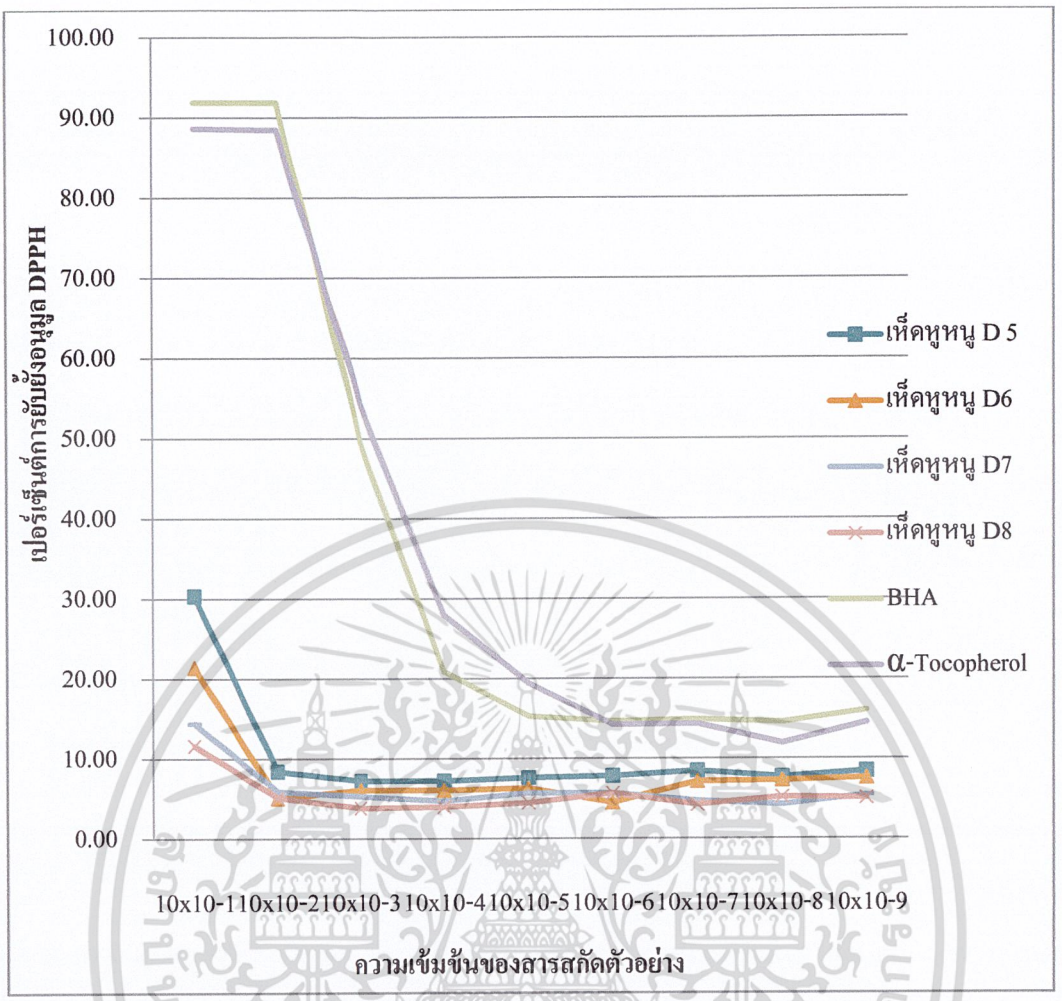
4.2.1.1 เห็ดหูหนูดำ

จากผลการทดลองสารสกัดของเห็ดหูหนูดำที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้ง 2 วิธี พบว่า การทำแห้งแบบอบลมร้อนที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดในการทดลอง (10×10^{-1}) แสดงค่าร้อยละของการดักจับสารอนุมูลอิสระสูงสุด เท่ากับ 31.37 จะไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากอัตราการยับยั้งสูงสุด ในการทดลองให้ค่าร้อยละในการดักจับ อนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ร้อยละของ สารมาตรฐาน BHA จะมี ค่า IC_{50} เท่ากับ $10 \times 10^{-3.7}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และร้อยละของ สารมาตรฐาน α-tocopherol จะมีค่า IC_{50} เท่ากับ $10 \times 10^{-3.8}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนในเห็ดหูหนูดำที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออกก็ไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากอัตราการยับยั้งสูงสุดในการทดลองให้ค่าร้อยละในการ ดักจับอนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดหูหนูดำในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

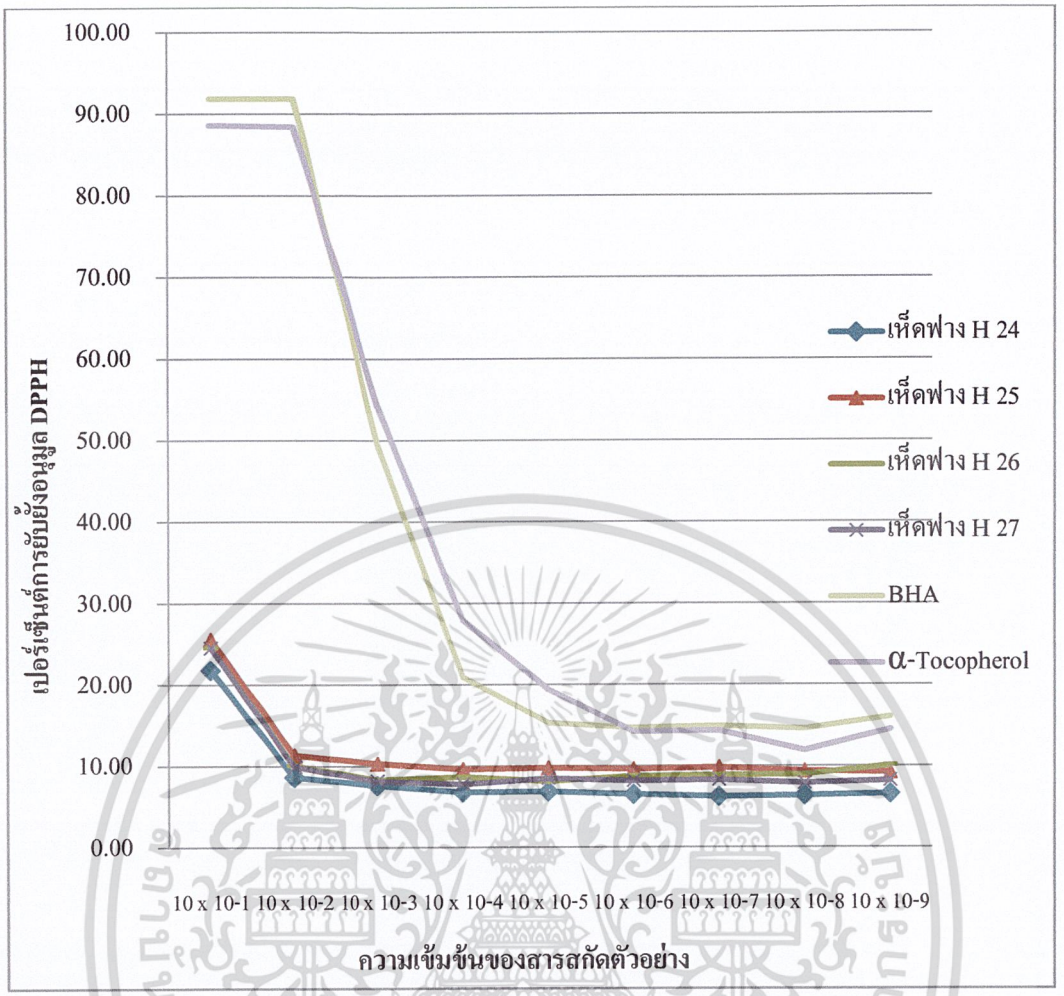


รูปที่ 4.10 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดหูหนูดำในกรรมวิธีการทำแห้งโดยเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่ระยะเวลาแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol

4.2.1.2 เห็ดฟาง

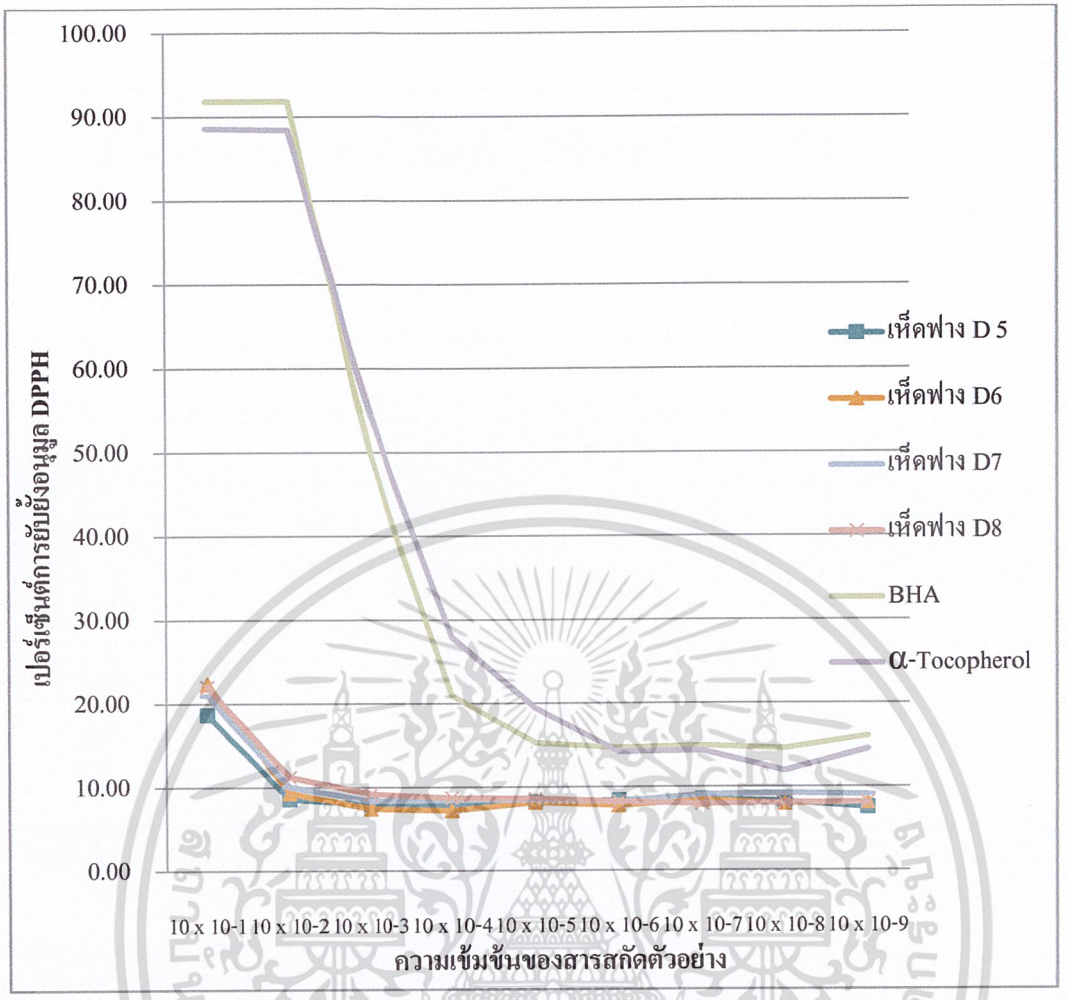
จากผลการทดลองสารสกัดของเห็ดฟางที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้ง 2 วิธี พบว่า การทำแห้งแบบอบลมร้อน มีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก โดยเห็ดฟางที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่เวลา 27 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดในการทดลอง (10×10^{-1}) แสดงค่าร้อยละของการดักจับสารอนุมูลอิสระสูงสุด เท่ากับ 26.37 จะไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากอัตราการยับยั้งสูงสุด ในการทดลองให้ค่าร้อยละในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ร้อยละของ สารมาตรฐาน BHA จะมี ค่า IC_{50} เท่ากับ$10 \times 10^{-3.7}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และร้อยละของ สารมาตรฐาน α-tocopherol จะมีค่า IC_{50} เท่ากับ $10 \times 10^{-3.8}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนในเห็ดฟางที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออกก็ไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากอัตราการยับยั้งสูงสุดในการทดลองให้ค่าร้อยละในการ ดักจับอนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดฟางในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

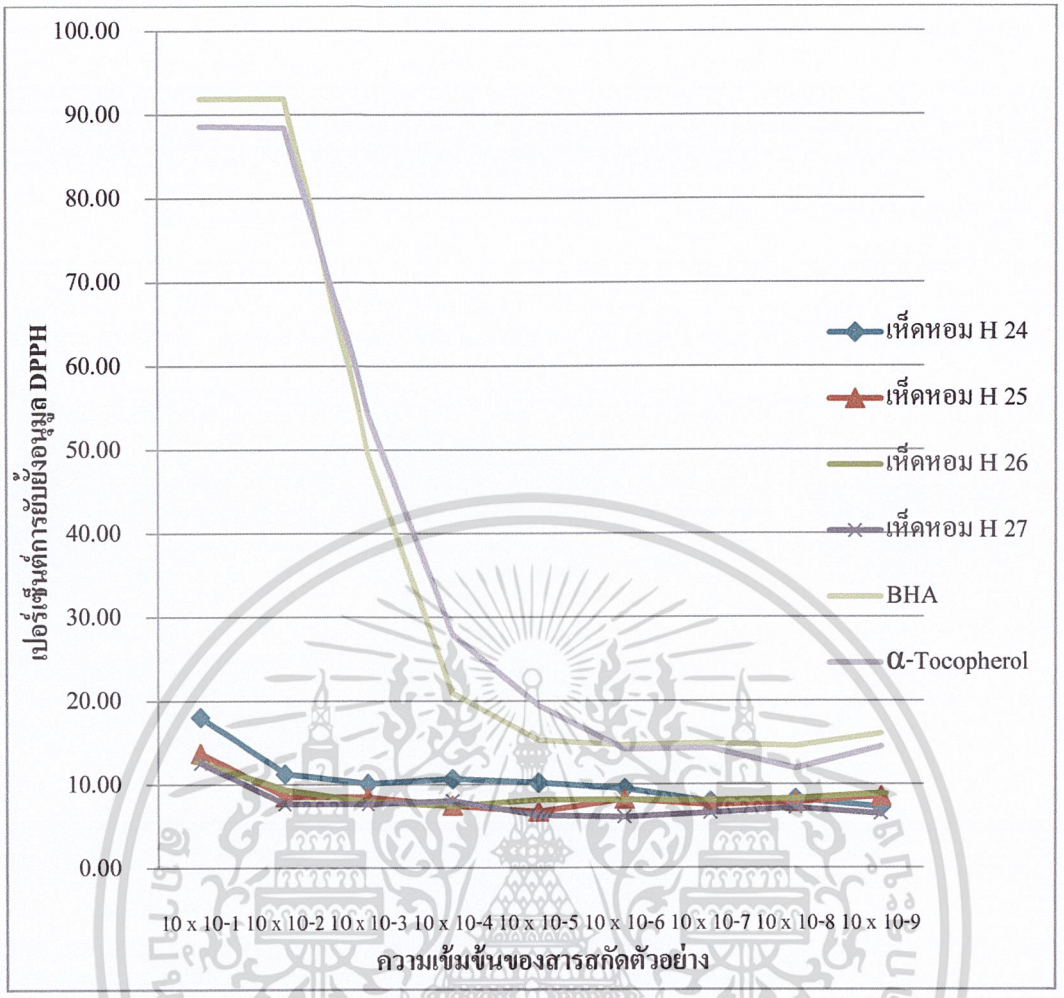


รูปที่ 4.12 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดฟางในกรรมวิธีการทำแห้งโดยเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่ระยะเวลาแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol

4.2.1.3 เห็ดหอม

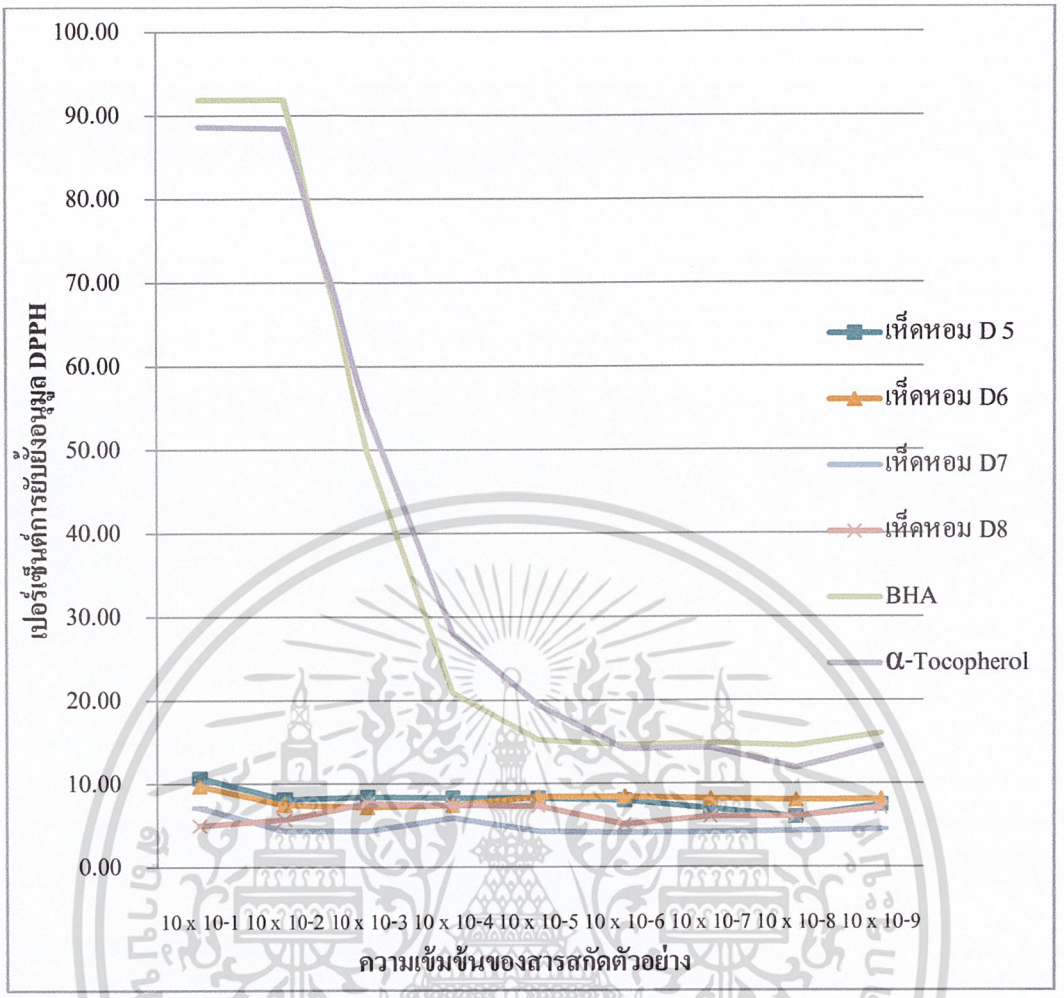
จากผลการทดลองสารสกัดของเห็ดฟางที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้ง 2 วิธี พบว่า การทำแห้งแบบอบลมร้อน มีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก โดยเห็ดหอมที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดในการทดลอง (10×10^{-1}) แสดงค่าร้อยละของการดักจับสารอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากับ 18.04 จะไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากอัตราการยับยั้งสูงสุด ในการทดลองให้ค่าร้อยละในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ร้อยละของสารมาตรฐาน BHA จะมีค่า IC_{50} เท่ากับ$10 \times 10^{-3.7}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และร้อยละของ สารมาตรฐาน α-tocopherol จะมีค่า IC_{50} เท่ากับ $10 \times 10^{-3.8}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนในเห็ดหอมที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออกก็ไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากอัตราการยับยั้งสูงสุดในการทดลองให้ค่าร้อยละในการ ดักจับอนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดหอมในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



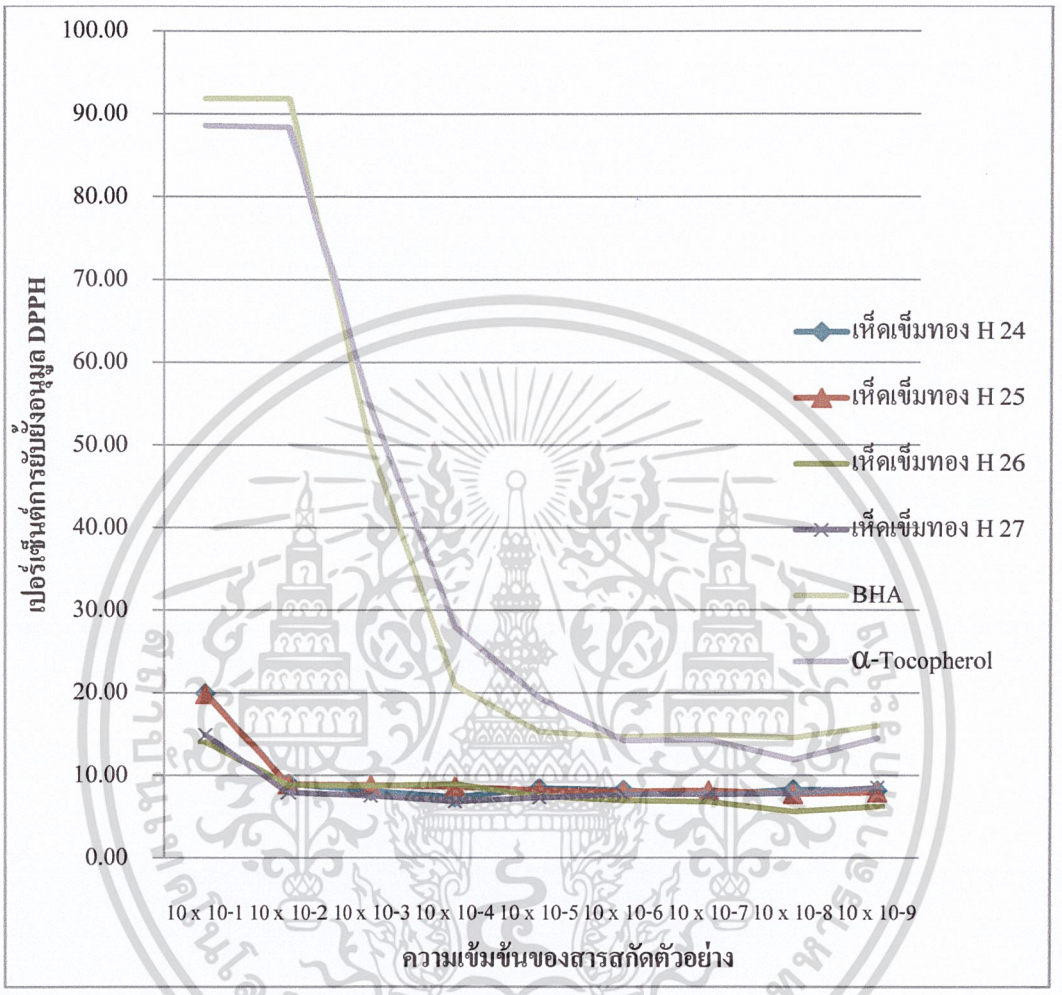
รูปที่ 4.14 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดหอมในกรรมวิธีการทำแห้งโดยเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และα-tocopherol

4.2.1.4 เห็ดเข็มทอง

จากผลการทดลองสารสกัดของเห็ดฟางที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้ง 2 วิธี พบว่า การทำแห้งแบบอบลมร้อน มีความสามารถในการดักจับอนุมูลอิสระมากกว่าการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก โดยเห็ดเข็มทองที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดในการทดลอง (10×10^{-1}) แสดงค่าร้อยละของการดักจับสารอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากับ 19.93 จะไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากอัตราการยับยั้งสูงสุด ในการทดลองให้ค่าร้อยละในการดักจับ อนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ร้อยละของ สารมาตรฐาน BHA จะมี ค่า IC_{50} เท่ากับ$10 \times 10^{-3.7}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และร้อยละของ สารมาตรฐาน α-tocopherol จะมีค่า IC_{50} เท่ากับ $10 \times 10^{-3.8}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนในเห็ดเข็มทองที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้งแบบ

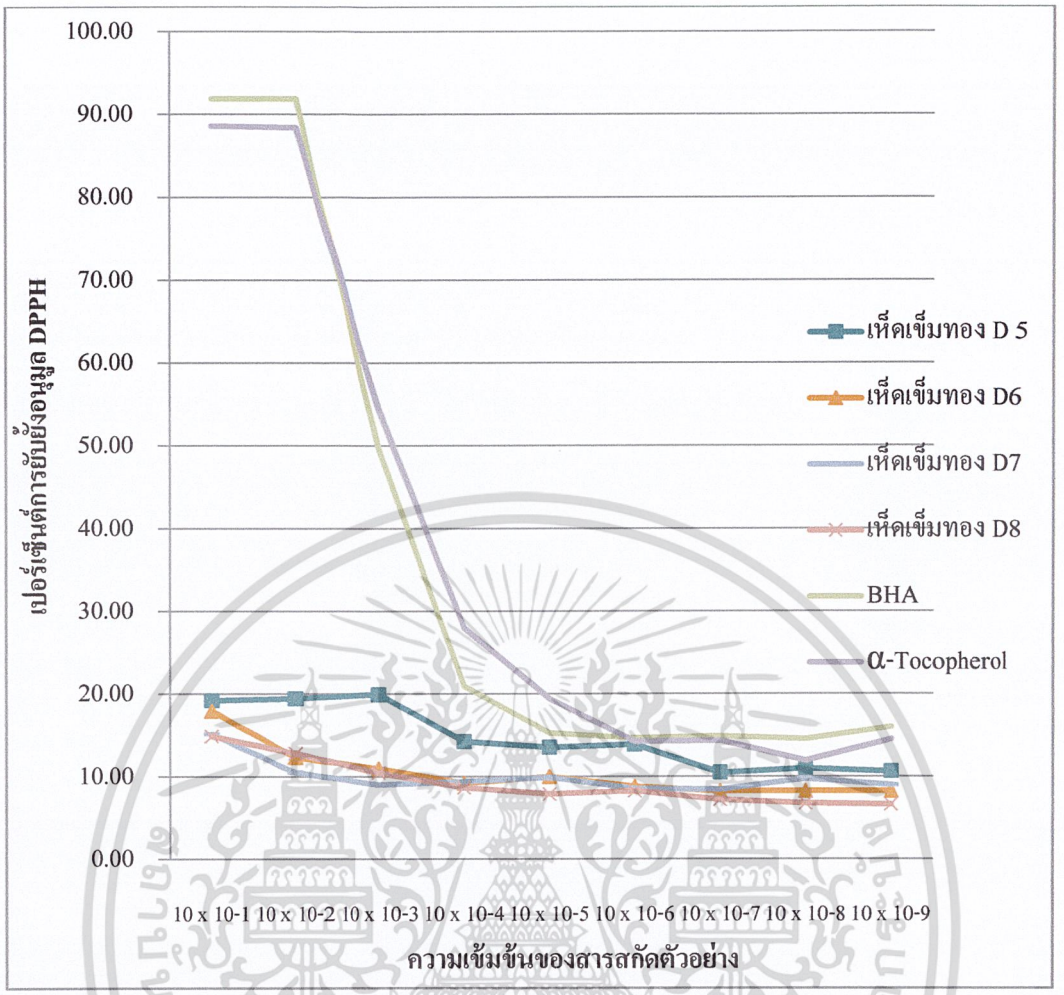
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านเครื่องกำจัดน้ำออกก็ไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้ เนื่องจากอัตราการยับยั้งสูงสุดในการทดลองให้ค่าร้อยละในการ ดักจับอนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดเข็มทองในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงร้อยละของการดักจับอนุมูลอิสระของเห็ดเข็มทองในกรรมวิธีการทำแห้งโดยเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA และ α-tocopherol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการศึกษาผลของวิธีการทำให้แห้งและระยะเวลาในการทำแห้งต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเห็ดบางชนิดจะพบว่า ความร้อนและระยะเวลาที่ใช้มีผลกระทบต่อฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่าในกรรมวิธีการทำแห้งแบบอบลมร้อน พบสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่ากรรมวิธีทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจะลดลง และนอกจากนั้นยังพบว่าสีของเห็ดมีผลกระทบต่อการวัดค่าการดูดกลืนแสง ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ออกมานั้นเกิดการคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากเห็ดแต่ละชนิดมีสีที่แตกต่างกันไป รวมทั้งระยะการเก็บเกี่ยวและขนาดของเห็ดแต่ละชนิดที่แตกต่างกันจึงส่งผลต่อค่าปริมาณความชื้นเมื่อผ่านการกระบวนการให้ความร้อนทำให้มีผลต่อการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่อาจคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

มีการรายงานว่า ผักและสมุนไพรแต่ละชนิดมีปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกและวิตามินซีไม่เท่ากันตั้งแต่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจนอาจเป็น 100 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของผักและสมุนไพร นอกจากนี้สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งซึ่งมีผลต่อปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระสารประกอบฟีนอลิก และวิตามินซีของผักและสมุนไพร คือความสดใหม่ ฉะนั้นการใช้ความร้อนอาจทำให้มีการสูญเสียปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก และวิตามินซีโดยเฉพาะวิตามินซีจะสลายตัวได้ง่ายถูกทำลายได้โดยออกซิเจนในอากาศ ความร้อนและสภาวะด่าง (นันท์นภัส, 2008)

มีการศึกษา สารสกัดหยาบจากเห็ดในสายพันธุ์ *Lentinus edodes* และ *Volvariella volvacea* พบว่า *V. volvacea* มีปริมาณผลได้ของสารประกอบฟีนอล 15.00 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้งของเห็ดซึ่งมากกว่า *L. edodes* ปริมาณผลได้ของสารประกอบฟีนอล 4.79 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้งของเห็ด และพบว่าปริมาณสารฟลาโวนอยด์จะลดลง เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น (Cheung และคณะ, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบหาสารประกอบฟีนอลซึ่งประกอบไปด้วย อนุพันธ์สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ เบต้าแคโรทีน และไลโคพีน ในสารสกัดเห็ดแต่ละชนิด คือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดฟาง เห็ดหอม และเห็ดเข็มทอง ที่ผ่านการทำแห้ง 2 วิธี คือ การทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 24, 25, 26 และ 27 ชั่วโมง และเครื่องกำจัดน้ำออก (D) ที่สภาวะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอล เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร จะเห็นว่าในเห็ดฟางที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อน (H) จะให้ค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด คือ 5.42 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดเมื่อเทียบในเห็ดชนิดอื่น และเมื่อเปรียบเทียบดูที่สภาวะเวลาต่าง ๆ จะพบว่าที่เวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารประกอบฟีนอลจะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับทั้ง 2 วิธี ส่วนปริมาณของสารฟลาโวนอยด์เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร พบว่าการทำแห้งแบบอบลมร้อนจะให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากกว่าการทำแห้งแบบผ่านเครื่องกำจัดน้ำออก และเมื่อเปรียบเทียบดูที่สภาวะเวลาต่าง ๆ จะพบว่าที่เวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารฟลาโวนอยด์จะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับทั้ง 2 วิธี โดยพบว่าเห็ดหูหนูดำมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์มากที่สุด คือ 28.52 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ส่วนปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนและไลโคพีน พบว่าในเห็ดเข็มทองที่ทำแห้งโดยกรรมวิธีอบลมร้อน (H) 26 ชั่วโมง จะให้ปริมาณของสารเบต้าแคโรทีนและไลโคพีนมากที่สุด คือ 0.37 และ 0.33 ไมโครกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ

จากผลการทดสอบฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระในเห็ดทั้ง 4 ชนิดโดยวิธีการหาฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH (DPPH radical scavenging method) โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยสารสกัดเห็ดทั้ง 4 ชนิด พบว่าฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ เห็ดหูหนูดำที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อนที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดในการทดลอง (10×10^{-1}) โดยแสดงค่าร้อยละของการดักจับสารอนุมูลอิสระสูงสุด เท่ากับ 31.37 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยตัวควบคุมเชิงบวกคือ BHA และ α-tocopherol มีค่า IC_{50} เท่ากับ $10 \times 10^{-3.7}$ และ $10 \times 10^{-3.8}$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีสารสกัดชนิดใดมีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารมาตรฐาน ซึ่งในเห็ดที่ผ่านกรรมวิธีการทำแห้งทั้งแบบอบลมร้อนและการกำจัดน้ำออก ไม่สามารถหาค่า IC_{50} ได้เนื่องจากความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง ให้ค่าร้อยละการดักจับอนุมูลอิสระไม่ถึง 50 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบสารสกัดโดยการทดสอบสารสกัดที่มีฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระนี้ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติม โดยการหาสารสกัดที่มีฤทธิ์ที่น่าสนใจโดยการนำสารสกัดเหล่านั้นมาแยกหาสารสำคัญโดยวิธีโครมาโตรกราฟี เพื่อตรวจสอบหาสารออกฤทธิ์ในสารสกัดต่อไป และทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอื่น เช่น การกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากในการใช้วิธีการดักจับอนุมูลอิสระ (DPPH radical scavenging method) มีข้อด้อยคืออนุมูล DPPH มีความคงตัวสูง ไม่ไวต่อปฏิกิริยา ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะอนุมูลที่มีความไวสูงได้ นอกจากนี้โครงสร้างทางเคมีของ DPPH ที่แสดงให้เห็นว่าอิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระจะถูกบดบังด้วยวงเบนซีน 3 วงและหมู่ไนโตร ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์แรงแต่มีขนาดใหญ่บางสารไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาขจัดสารต้านอนุมูลอิสระได้ หรือช้ากว่าความเป็นจริง ทั้งๆที่สารมีฤทธิ์ดีในการขจัดอนุมูลเปอร์ออกซี นอกจากนี้สารรีดิวซ์สามารถทำให้สี DPPH จางลงได้อีกด้วย หรือทำการทดสอบโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบอื่น และนอกจากนี้ระยะเวลาในการทำแห้งควรแตกต่างมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กัญญาณัฐ แก้วเอียด, ลลิตา บุญพันธ์ และอัครภูมิ กองเกียรติวานิช. 2552. ผลของวิธีการทำให้แห้งต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเห็ดบางชนิด. โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2552.

ชำนาญ พิทักษ์ทอง. 2551. เห็ดเศรษฐกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 1. (ม.ป.ท.): เกษตรสยามบุ๊คส์

ไชยัน ศรีวริยกุล และถาวร เซี่ยงอึ้ง. 2547. การใช้วัสดุต่างชนิดกันในการเพาะเห็ดฟางแบบกองเตี้ย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันราชภัฏเพชรบุรี 2547.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2551. เคมีอาหาร=Food chemistry. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์

นันท์นภัส เติมวงศ์. 2551. ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกและวิตามินในผักและสมุนไพร. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์, 8(1), 41-46

ปิยศิริ สุนทรนนท์ และอธิยา รัตนพิทยาภรณ์. 2550. การตรวจหาปริมาณวิตามินที่เป็นองค์ประกอบในผลมะอึก ดอกดาหลา และหว้า โดยใช้เทคนิคโครมาโตรกราฟีของเหลวสมรรถภาพสูง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2550.

ไมตรี สุทธจิตต์ และศิริวรรณ สุทธจิตต์. 2545. แอนติออกซิแดนท์ สารป้องกันโรคและเสริมสุขภาพ. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 21(1), 61-62

ยุทธนา ธีระวงศ์กังวาน. 2553. การเพาะเห็ดหูหนู. (ม.ป.ท.): ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเพาะเห็ดภาคกลาง

วิโรจน์ ปิยพิทยานันต์. 2543. การเปรียบเทียบผลผลิตและคุณสมบัติบางประการของเห็ดหอมพันธุ์ต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันราชภัฏเลย พ.ศ. 2543.

วัลลภ พรหมทอง. 2554. เกษตรทฤษฎีใหม่ ตามแนวพระราชดำริ. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช

สุดสายชล หอมทอง. 2550. การสร้างรายได้จากเห็ดเข็มทอง. วิทยาศาสตร์เพื่อประชาชน, 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำเภา ภัทรเกษวิทย์. 2539. การเพาะเห็ดเข็มทองแบบอุตสาหกรรม. เอกสารสัมมนามุมมองเรื่องเห็ด งานวิจัยยางพาราแห่งชาติและมหกรรมวิชาการเกษตรฉลองสิริราชสมบัติครบ 50 ปี. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร 37-39

Barros, L., M.J., Ferreira, B., Queriros, I., Ferreira C.F.R. and P., Baptista 2007a. Total phenols, ascorbic acid, β-carotene and lycopene in portuguese wile edible mushrooms and their antioxidant activities. Food chemistry, 103, 314 - 419

Barros, L., P., Baptista and I.,.Ferreira C.F.R. 2007b. Effect of Lactarius piperatus fruiting body maturity stage on antioxidant activity measured by several biochemical assays. Food and chemical Toxicology, 45, 1731-1737

Barros, L., S., Falcao, P., Baptista, C., Freire, M., Vilas-Boas and I.,.Ferreira C.F.R 2008. Antioxidant activity of Agaricus sp. Mushrooms by chemical, biochemical and electrochemical assays. Food chemistry. 111, 61- 66.

Cıntia Sorane Good Kitzberger, Artur Smaˆnia Jr., Rozangela Curi Pedrosa and Sandra Regina Salvador Ferreira. 2007. Antioxidant and antimicrobial activities of shiitake (Lentinula edodes) extracts obtained by organic solvents and supercritical fluids. Food Engineering 80, 631—638

Jayakumar , T, Thomas P.A. , Geraldine P. , H (2009) .*In-vitro* antioxidant activities of an ethanolic extract of the oyster mushroom,*Pleurotus ostreatus*. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 10,228-234

Cheung L.M., Peter C.K. Cheung and Vincent E.C. Ooi. 2003. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. Food Chemistry, 81, 249–255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Choi Y., Lee S.M., Chun J., Lee H.B. and Lee J.. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (Lentinus edodes) mushroom, 99, 381-387

[Online].Available: http://aom-enfrance.blogspot.com/2010/03/blog-post_25.html. (10/08/2010)

[Online].Available: http://www.banboon. orgmush (15/08/2010)

[Online].Available: http://www.bassbio.everthai.com (15/08/2010)

[Online].Available: http://www.eazydo.com/เพาะเห็ดฟางเปลือกถั่ว/(20/08/2010)

[Online].Available: http://www.banboon. orgmush (20/08/2010)

[Online].Available: http://www.skoolbuz.com/library/content/1012 (20/08/2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1.คำย่อและสัญลักษณ์

BHA คือ 2-tert-butyl-4-metroxyphenol

IC_{50} คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสารตั้งต้นลดลง 50 เปอร์เซ็นต์

RSA คือ ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ

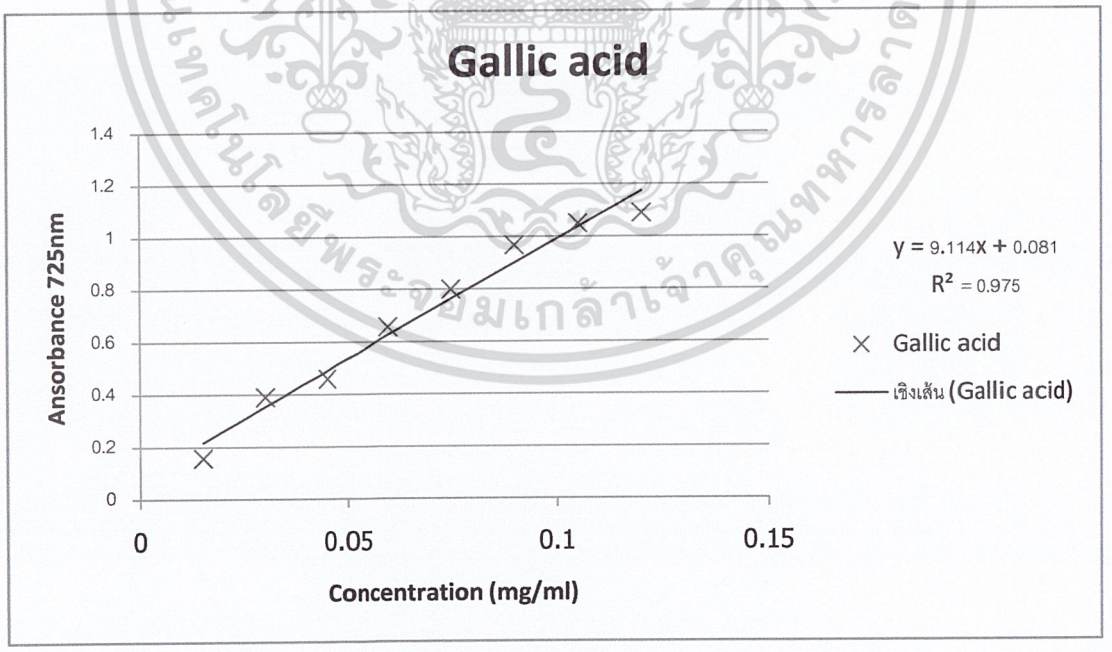
H คือ hot air oven (การทำแห้งแบบอบลมร้อน)

D คือ dehydrator (การทำแห้งโดยการกำจัดน้ำออก)

CEs คือ Catechin equivalents

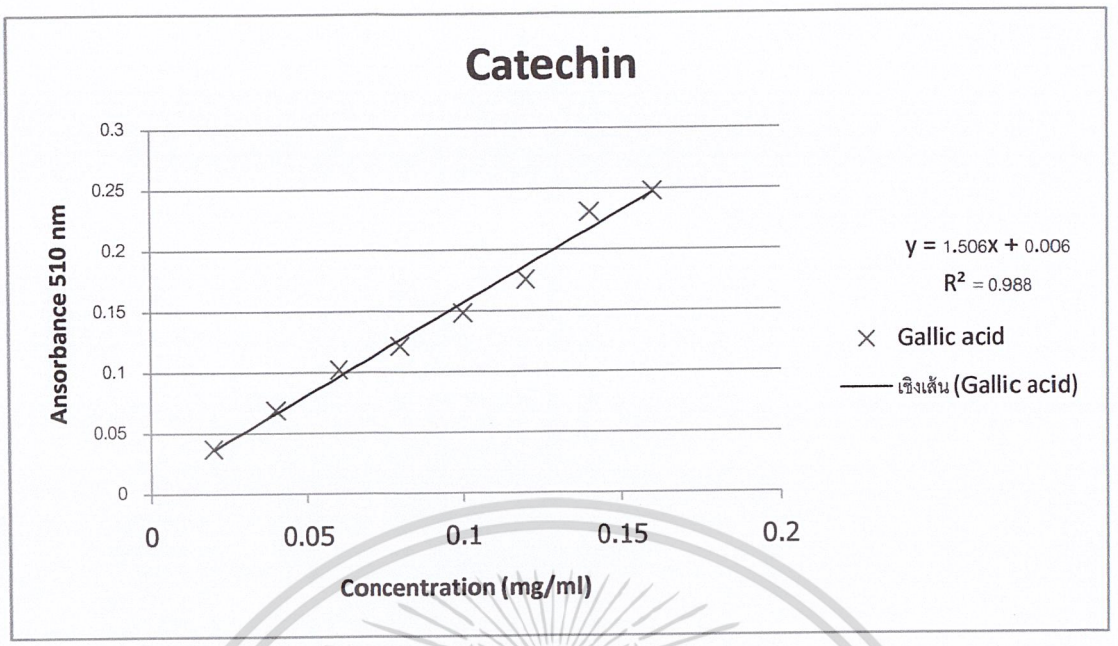
GAEs คือ Gallic acid equivalents

2.กราฟมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์



รูปที่ ก1 แสดงกราฟมาตราฐาน Gallic acid ใช้เทียบกับปริมาณสารฟีนอลลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก2 แสดงกราฟมาตราฐานของ Catechin เทียบปริมาณของสารฟลาโวนอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

1. ผลการหาสารประกอบฟีนอลของสารสกัดเห็ด

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดแต่ละชนิด ในแต่ละวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในการหาปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนฟีนอล

ชนิดของเห็ด/วิธีทำแห้ง	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เห็ดฟาง D_5	0.595	0.562s	0.624	0.594
เห็ดฟาง D_6	0.579	0.558	0.583	0.573
เห็ดฟาง D_7	0.511	0.466	0.529	0.502
เห็ดฟาง D_8	0.353	0.401	0.376	0.377
เห็ดฟาง H_{24}	0.964	1.010	1.037	1.004
เห็ดฟาง H_{25}	0.898	0.910	0.911	0.906
เห็ดฟาง H_{26}	0.824	0.891	0.833	0.849
เห็ดฟาง H_{27}	0.832	0.902	0.740	0.825
เห็ดหูหนูดำ D_5	0.443	0.429	0.440	0.437
เห็ดหูหนูดำ D_6	0.420	0.411	0.417	0.416
เห็ดหูหนูดำ D_7	0.397	0.410	0.399	0.402
เห็ดหูหนูดำ D_8	0.377	0.387	0.361	0.375
เห็ดหูหนูดำ H_{24}	0.514	0.540	0.521	0.525
เห็ดหูหนูดำ H_{25}	0.479	0.481	0.490	0.483
เห็ดหูหนูดำ H_{26}	0.451	0.457	0.455	0.454
เห็ดหูหนูดำ H_{27}	0.427	0.449	0.433	0.436

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเห็ด/วิธีทำแห้ง	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เห็ดเข็มทอง D_5	0.333	0.329	0.320	0.327
เห็ดเข็มทอง D_6	0.209	0.259	0.250	0.239
เห็ดเข็มทอง D_7	0.247	0.255	0.223	0.242
เห็ดเข็มทอง D_8	0.213	0.236	0.204	0.218
เห็ดเข็มทอง H_{24}	0.391	0.429	0.418	0.413
เห็ดเข็มทอง H_{25}	0.418	0.429	0.415	0.421
เห็ดเข็มทอง H_{26}	0.394	0.388	0.375	0.386
เห็ดเข็มทอง H_{27}	0.353	0.329	0.302	0.328
เห็ดหอม D_5	0.210	0.227	0.197	0.211
เห็ดหอม D_6	0.197	0.200	0.184	0.194
เห็ดหอม D_7	0.195	0.187	0.190	0.191
เห็ดหอม D_8	0.180	0.187	0.190	0.186
เห็ดหอม H_{24}	0.254	0.245	0.287	0.262
เห็ดหอม H_{25}	0.300	0.244	0.222	0.255
เห็ดหอม H_{26}	0.236	0.268	0.250	0.251
เห็ดหอม H_{27}	0.260	0.256	0.229	0.248

โดยที่ F = freeze-dry, H = hot air oven, D = dehydrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดแต่ละชนิด ในแต่ละวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในการหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์

ชนิดของเห็ด/วิธีทำแห้ง	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เห็ดฟาง D_5	0.709	0.810	0.626	0.715
เห็ดฟาง D_6	0.950	0.848	0.741	0.846
เห็ดฟาง D_7	0.695	0.764	0.658	0.706
เห็ดฟาง D_8	0.672	0.639	0.724	0.678
เห็ดฟาง H_{24}	0.655	0.749	0.593	0.666
เห็ดฟาง H_{25}	0.687	0.808	0.781	0.759
เห็ดฟาง H_{26}	0.667	0.791	0.550	0.669
เห็ดฟาง H_{27}	0.678	0.602	0.594	0.625
เห็ดหูหนูดำ D_5	2.623	2.654	2.312	2.530
เห็ดหูหนูดำ D_6	2.198	2.013	1.985	2.065
เห็ดหูหนูดำ D_7	1.751	1.681	1.698	1.710
เห็ดหูหนูดำ D_8	1.468	1.487	1.480	1.478
เห็ดหูหนูดำ H_{24}	2.845	2.804	2.857	2.835
เห็ดหูหนูดำ H_{25}	2.633	2.488	2.548	2.556
เห็ดหูหนูดำ H_{26}	1.989	2.055	2.120	2.055
เห็ดหูหนูดำ H_{27}	1.750	1.753	1.829	1.777
เห็ดเข็มทอง D_5	0.887	0.912	0.992	0.930
เห็ดเข็มทอง D_6	0.764	0.761	0.766	0.764
เห็ดเข็มทอง D_7	0.607	0.576	0.583	0.589
เห็ดเข็มทอง D_8	0.559	0.497	0.490	0.515
เห็ดเข็มทอง H_{24}	1.265	1.526	1.155	1.315
เห็ดเข็มทอง H_{25}	1.033	0.877	0.836	0.915
เห็ดเข็มทอง H_{26}	0.296	0.288	0.206	0.263
เห็ดเข็มทอง H_{27}	0.237	0.223	0.217	0.226

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเห็ด/วิธีทำแห้ง	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เห็ดหอม D_5	0.899	0.921	0.854	0.891
เห็ดหอม D_6	0.410	0.541	0.481	0.477
เห็ดหอม D_7	0.360	0.314	0.317	0.330
เห็ดหอม D_8	0.238	0.286	0.246	0.257
เห็ดหอม H_{24}	0.988	0.921	1.025	0.978
เห็ดหอม H_{25}	0.805	0.808	0.869	0.827
เห็ดหอม H_{26}	0.627	0.610	0.623	0.620
เห็ดหอม H_{27}	0.529	0.534	0.429	0.497

โดยที่ F = freeze-dry, H = hot air oven, D = dehydrator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดแต่ละชนิด ในแต่ละวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในการหาปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีน

ชนิดของเห็ด/วิธีทำแห้ง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 453 นาโนเมตร				ค่าการดูดกลืนแสงที่ 505 นาโนเมตร				ค่าการดูดกลืนแสงที่ 663 นาโนเมตร			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เห็ดฟาง D_5	0.318	0.450	0.436	0.401	0.278	0.397	0.385	0.353	0.210	0.287	0.287	0.261
เห็ดฟาง D_6	0.677	0.497	0.611	0.595	0.589	0.435	0.530	0.518	0.440	0.315	0.391	0.382
เห็ดฟาง D_7	0.481	0.272	0.305	0.353	0.403	0.240	0.278	0.307	0.295	0.177	0.231	0.234
เห็ดฟาง D_8	0.340	0.335	0.356	0.344	0.245	0.322	0.361	0.309	0.297	0.197	0.279	0.258
เห็ดฟาง H_{24}	0.112	0.148	0.118	0.126	0.064	0.091	0.062	0.072	0.022	0.036	0.015	0.024
เห็ดฟาง H_{25}	0.384	0.172	0.150	0.235	0.326	0.152	0.127	0.202	0.236	0.115	0.091	0.147
เห็ดฟาง H_{26}	0.367	0.206	0.173	0.249	0.312	0.170	0.148	0.210	0.219	0.118	0.106	0.148
เห็ดฟาง H_{27}	0.202	0.139	0.182	0.174	0.144	0.082	0.112	0.113	0.076	0.030	0.060	0.055

ชนิดของเห็ด/วิธีทำแห้ง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 453 นาโนเมตร				ค่าการดูดกลืนแสงที่ 505 นาโนเมตร				ค่าการดูดกลืนแสงที่ 663 นาโนเมตร			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เห็ดหูหนูดำ D_5	0.318	0.226	0.311	0.285	0.411	0.386	0.401	0.399	0.117	0.112	0.098	0.109
เห็ดหูหนูดำ D_6	0.287	0.294	0.289	0.290	0.410	0.427	0.422	0.420	0.093	0.092	0.092	0.092
เห็ดหูหนูดำ D_7	0.318	0.251	0.311	0.293	0.403	0.412	0.444	0.420	0.067	0.057	0.063	0.062
เห็ดหูหนูดำ D_8	0.296	0.294	0.245	0.278	0.410	0.405	0.409	0.408	0.037	0.076	0.069	0.061
เห็ดหูหนูดำ H_{24}	0.280	0.289	0.292	0.287	0.407	0.381	0.398	0.395	0.071	0.082	0.088	0.080
เห็ดหูหนูดำ H_{25}	0.276	0.276	0.265	0.272	0.442	0.326	0.335	0.368	0.041	0.042	0.050	0.044
เห็ดหูหนูดำ H_{26}	0.245	0.225	0.219	0.230	0.448	0.273	0.310	0.344	0.037	0.030	0.035	0.034
เห็ดหูหนูดำ H_{27}	0.206	0.251	0.203	0.220	0.301	0.388	0.312	0.334	0.023	0.040	0.044	0.036

ชนิดของเห็ด/วิธีทำแห้ง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 453 นาโนเมตร				ค่าการดูดกลืนแสงที่ 505 นาโนเมตร				ค่าการดูดกลืนแสงที่ 663 นาโนเมตร			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เห็ดเข็มทอง D_5	0.682	0.542	0.473	0.566	0.532	0.427	0.370	0.443	0.372	0.296	0.296	0.321
เห็ดเข็มทอง D_6	0.402	0.422	0.531	0.452	0.275	0.302	0.407	0.328	0.165	0.184	0.261	0.203
เห็ดเข็มทอง D_7	0.283	0.355	0.408	0.349	0.197	0.259	0.296	0.251	0.116	0.164	0.187	0.156
เห็ดเข็มทอง D_8	0.337	0.382	0.298	0.339	0.239	0.279	0.196	0.238	0.141	0.160	0.093	0.131
เห็ดเข็มทอง H_{24}	0.294	0.141	0.347	0.261	0.260	0.122	0.307	0.230	0.189	0.285	0.223	0.232
เห็ดเข็มทอง H_{25}	0.618	0.998	0.470	0.695	0.621	0.220	0.423	0.421	0.495	0.735	0.323	0.518
เห็ดเข็มทอง H_{26}	0.944	1.520	1.066	1.177	0.810	1.388	0.929	1.042	0.535	1.021	0.631	0.729
เห็ดเข็มทอง H_{27}	0.745	0.903	0.158	0.602	0.682	0.846	0.140	0.556	0.538	0.689	0.108	0.445

ชนิดของเห็ด/วิธีทำแห้ง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 453 นาโนเมตร				ค่าการดูดกลืนแสงที่ 505 นาโนเมตร				ค่าการดูดกลืนแสงที่ 663 นาโนเมตร			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย
เห็ดหอม D_5	0.438	0.450	0.436	0.441	0.384	0.397	0.385	0.389	0.307	0.287	0.287	0.294
เห็ดหอม D_6	0.509	0.497	0.611	0.539	0.402	0.435	0.532	0.456	0.324	0.315	0.391	0.343
เห็ดหอม D_7	0.302	0.272	0.305	0.293	0.266	0.240	0.278	0.261	0.213	0.177	0.231	0.207
เห็ดหอม D_8	0.038	0.098	0.107	0.081	0.028	0.078	0.090	0.065	0.018	0.054	0.068	0.047
เห็ดหอม H_{24}	0.073	0.021	0.054	0.049	0.063	0.018	0.093	0.058	0.046	0.013	0.027	0.029
เห็ดหอม H_{25}	0.062	0.087	0.062	0.070	0.054	0.054	0.041	0.050	0.038	0.040	0.021	0.033
เห็ดหอม H_{26}	0.065	0.066	0.056	0.062	0.097	0.045	0.074	0.072	0.093	0.073	0.027	0.064
เห็ดหอม H_{27}	0.023	0.040	0.025	0.029	0.015	0.031	0.018	0.021	0.009	0.026	0.001	0.012

โดยที่ F = freeze-dry, H = hot air oven, D = dehydrato

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของเห็ดแต่ละชนิด ในแต่ละวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ในการยับยั้งอนุมูลDPPH

<u>เห็ดเข็มทองที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อน</u>

เข็ม H 24 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.616	0.617	0.613	0.615	
$10x10^{-1}$	0.496	0.499	0.483	0.493	19.93
$10x10^{-2}$	0.559	0.561	0.560	0.560	8.99
$10x10^{-3}$	0.561	0.564	0.571	0.565	8.13
$10x10^{-4}$	0.569	0.570	0.571	0.570	7.37
$10x10^{-5}$	0.575	0.567	0.548	0.563	8.45
$10x10^{-6}$	0.563	0.566	0.565	0.565	8.23
$10x10^{-7}$	0.572	0.562	0.570	0.568	7.69
$10x10^{-8}$	0.562	0.569	0.562	0.564	8.29
$10x10^{-9}$	0.559	0.567	0.569	0.565	8.18

เข็ม H 25 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.561	0.566	0.560	0.562	
$10x10^{-1}$	0.449	0.454	0.449	0.451	19.86
$10x10^{-2}$	0.517	0.506	0.513	0.512	8.95
$10x10^{-3}$	0.509	0.517	0.512	0.513	8.83
$10x10^{-4}$	0.515	0.505	0.521	0.514	8.65
$10x10^{-5}$	0.516	0.516	0.516	0.516	8.24
$10x10^{-6}$	0.514	0.519	0.518	0.517	8.06
$10x10^{-7}$	0.516	0.519	0.514	0.516	8.18
$10x10^{-8}$	0.522	0.513	0.521	0.519	7.77
$10x10^{-9}$	0.520	0.520	0.513	0.518	7.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข็ม H 26 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.470	0.469	0.468	0.469	
10x10-1	0.398	0.412	0.399	0.403	14.07
10x10-2	0.426	0.429	0.427	0.427	8.88
10x10-3	0.428	0.427	0.429	0.428	8.74
10x10-4	0.424	0.425	0.432	0.427	8.96
10x10-5	0.432	0.439	0.430	0.434	7.53
10x10-6	0.437	0.436	0.436	0.436	6.97
10x10-7	0.446	0.426	0.439	0.437	6.82
10x10-8	0.437	0.447	0.444	0.443	5.61
10x10-9	0.438	0.446	0.435	0.440	6.25

เข็ม H 27 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.572	0.575	0.575	0.574	
$10x10^{-1}$	0.488	0.486	0.491	0.488	14.92
$10x10^{-2}$	0.527	0.528	0.530	0.528	7.96
$10x10^{-3}$	0.530	0.533	0.529	0.531	7.55
$10x10^{-4}$	0.537	0.534	0.533	0.535	6.85
$10x10^{-5}$	0.530	0.535	0.531	0.532	7.32
$10x10^{-6}$	0.531	0.530	0.528	0.530	7.72
$10x10^{-7}$	0.529	0.534	0.526	0.530	7.72
$10x10^{-8}$	0.537	0.521	0.529	0.529	7.84
$10x10^{-9}$	0.528	0.521	0.526	0.525	8.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็ดเข็มทองที่ทำแห้งแบบกำจัดน้ำออก

เข็ม D 5 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.684	0.679	0.681	0.681	
$10x10^{-1}$	0.550	0.550	0.551	0.550	19.23
$10x10^{-2}$	0.585	0.520	0.541	0.549	19.47
$10x10^{-3}$	0.538	0.581	0.517	0.545	19.96
$10x10^{-4}$	0.581	0.580	0.592	0.584	14.24
$10x10^{-5}$	0.559	0.598	0.610	0.589	13.55
$10x10^{-6}$	0.546	0.603	0.611	0.587	13.89
$10x10^{-7}$	0.610	0.608	0.612	0.610	10.47
$10x10^{-8}$	0.604	0.603	0.612	0.606	11.01
$10x10^{-9}$	0.593	0.618	0.616	0.609	10.62

เข็ม D 6 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.549	0.551	0.552	0.551	
$10x10^{-1}$	0.426	0.467	0.462	0.452	17.98
$10x10^{-2}$	0.454	0.498	0.496	0.483	12.35
$10x10^{-3}$	0.482	0.503	0.486	0.490	10.96
$10x10^{-4}$	0.506	0.496	0.498	0.500	9.20
$10x10^{-5}$	0.478	0.507	0.502	0.496	9.99
$10x10^{-6}$	0.502	0.500	0.505	0.502	8.78
$10x10^{-7}$	0.503	0.506	0.507	0.505	8.23
$10x10^{-8}$	0.509	0.502	0.505	0.505	8.23
$10x10^{-9}$	0.504	0.504	0.508	0.505	8.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข็ม D 7 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.625	0.632	0.630	0.629	
$10x10^{-1}$	0.540	0.530	0.531	0.534	15.16
$10x10^{-2}$	0.557	0.557	0.575	0.563	10.49
$10x10^{-3}$	0.573	0.570	0.574	0.572	9.01
$10x10^{-4}$	0.575	0.569	0.566	0.570	9.38
$10x10^{-5}$	0.560	0.567	0.573	0.567	9.91
$10x10^{-6}$	0.574	0.575	0.577	0.575	8.53
$10x10^{-7}$	0.579	0.580	0.569	0.576	8.43
$10x10^{-8}$	0.568	0.578	0.557	0.568	9.75
$10x10^{-9}$	0.579	0.577	0.562	0.573	8.96

เข็ม D 8 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.684	0.679	0.681	0.681	
$10x10^{-1}$	0.583	0.581	0.575	0.580	14.92
$10x10^{-2}$	0.581	0.609	0.592	0.594	12.82
$10x10^{-3}$	0.610	0.608	0.612	0.610	10.47
$10x10^{-4}$	0.623	0.622	0.622	0.622	8.66
$10x10^{-5}$	0.626	0.627	0.630	0.628	7.88
$10x10^{-6}$	0.624	0.624	0.627	0.625	8.27
$10x10^{-7}$	0.630	0.632	0.635	0.632	7.19
$10x10^{-8}$	0.635	0.635	0.636	0.635	6.75
$10x10^{-9}$	0.632	0.640	0.637	0.636	6.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็ดหอมที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อน

หอมH 24ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.654	0.657	0.662	0.658	
$10x10^{-1}$	0.526	0.546	0.545	0.539	18.04
$10x10^{-2}$	0.588	0.581	0.582	0.584	11.25
$10x10^{-3}$	0.590	0.591	0.593	0.591	10.09
$10x10^{-4}$	0.588	0.588	0.587	0.588	10.64
$10x10^{-5}$	0.590	0.592	0.590	0.591	10.19
$10x10^{-6}$	0.590	0.607	0.589	0.595	9.48
$10x10^{-7}$	0.606	0.605	0.606	0.606	7.91
$10x10^{-8}$	0.604	0.603	0.603	0.603	8.26
$10x10^{-9}$	0.611	0.610	0.609	0.610	7.25

หอมH 25 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.628	0.634	0.635	0.632	
$10x10^{-1}$	0.544	0.545	0.547	0.545	13.76
$10x10^{-2}$	0.575	0.581	0.579	0.578	8.54
$10x10^{-3}$	0.556	0.576	0.604	0.579	8.49
$10x10^{-4}$	0.587	0.583	0.585	0.585	7.49
$10x10^{-5}$	0.587	0.585	0.597	0.590	6.75
$10x10^{-6}$	0.581	0.580	0.580	0.580	8.22
$10x10^{-7}$	0.597	0.579	0.578	0.585	7.54
$10x10^{-8}$	0.586	0.575	0.586	0.582	7.91
$10x10^{-9}$	0.558	0.574	0.602	0.578	8.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอมH 26 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.652	0.650	0.657	0.653	
$10x10^{-1}$	0.570	0.571	0.570	0.570	12.66
$10x10^{-2}$	0.605	0.584	0.587	0.592	9.34
$10x10^{-3}$	0.601	0.599	0.604	0.601	7.91
$10x10^{-4}$	0.613	0.600	0.601	0.605	7.40
$10x10^{-5}$	0.594	0.610	0.596	0.600	8.12
$10x10^{-6}$	0.563	0.633	0.604	0.600	8.12
$10x10^{-7}$	0.564	0.595	0.642	0.600	8.07
$10x10^{-8}$	0.577	0.619	0.601	0.599	8.27
$10x10^{-9}$	0.586	0.601	0.598	0.595	8.88

หอมH 27 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.603	0.600	0.602	0.602	
$10x10^{-1}$	0.529	0.527	0.522	0.526	12.58
$10x10^{-2}$	0.583	0.548	0.536	0.556	7.65
$10x10^{-3}$	0.551	0.562	0.554	0.556	7.65
$10x10^{-4}$	0.558	0.554	0.548	0.553	8.03
$10x10^{-5}$	0.570	0.562	0.559	0.564	6.32
$10x10^{-6}$	0.560	0.566	0.569	0.565	6.09
$10x10^{-7}$	0.566	0.562	0.558	0.562	6.59
$10x10^{-8}$	0.562	0.554	0.559	0.558	7.20
$10x10^{-9}$	0.551	0.558	0.579	0.563	6.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็ดหอมที่ผ่านการทำแห้งแบบกำจัดน้ำออก

หอม D 5 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.708	0.710	0.713	0.710	
$10x10^{-1}$	0.628	0.637	0.638	0.634	10.70
$10x10^{-2}$	0.650	0.649	0.658	0.652	8.17
$10x10^{-3}$	0.652	0.649	0.650	0.650	8.45
$10x10^{-4}$	0.637	0.654	0.662	0.651	8.35
$10x10^{-5}$	0.647	0.653	0.654	0.651	8.31
$10x10^{-6}$	0.659	0.653	0.648	0.653	8.02
$10x10^{-7}$	0.651	0.658	0.672	0.660	7.04
$10x10^{-8}$	0.670	0.668	0.664	0.667	6.05
$10x10^{-9}$	0.660	0.657	0.654	0.657	7.51

หอม D 6ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.713	0.717	0.712	0.714	
$10x10^{-1}$	0.645	0.644	0.644	0.644	9.76
$10x10^{-2}$	0.657	0.665	0.659	0.660	7.52
$10x10^{-3}$	0.664	0.663	0.660	0.662	7.24
$10x10^{-4}$	0.649	0.662	0.671	0.661	7.47
$10x10^{-5}$	0.656	0.652	0.653	0.654	8.45
$10x10^{-6}$	0.654	0.654	0.652	0.653	8.50
$10x10^{-7}$	0.651	0.662	0.653	0.655	8.22
$10x10^{-8}$	0.657	0.661	0.651	0.656	8.08
$10x10^{-9}$	0.656	0.662	0.649	0.656	8.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอม D 7ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.678	0.681	0.680	0.680	
$10x10^{-1}$	0.629	0.630	0.634	0.631	7.16
$10x10^{-2}$	0.639	0.657	0.653	0.650	4.41
$10x10^{-3}$	0.649	0.650	0.651	0.650	4.36
$10x10^{-4}$	0.631	0.652	0.635	0.639	5.93
$10x10^{-5}$	0.650	0.652	0.649	0.650	4.32
$10x10^{-6}$	0.644	0.653	0.657	0.651	4.17
$10x10^{-7}$	0.646	0.655	0.652	0.651	4.22
$10x10^{-8}$	0.649	0.650	0.651	0.650	4.36
$10x10^{-9}$	0.649	0.647	0.650	0.649	4.56

หอม D 8 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.678	0.681	0.680	0.680	
$10x10^{-1}$	0.641	0.638	0.658	0.646	5.00
$10x10^{-2}$	0.629	0.669	0.624	0.641	5.74
$10x10^{-3}$	0.619	0.636	0.627	0.627	7.70
$10x10^{-4}$	0.635	0.642	0.610	0.629	7.45
$10x10^{-5}$	0.653	0.625	0.611	0.630	7.36
$10x10^{-6}$	0.637	0.639	0.658	0.645	5.15
$10x10^{-7}$	0.641	0.623	0.651	0.638	6.08
$10x10^{-8}$	0.632	0.635	0.647	0.638	6.13
$10x10^{-9}$	0.626	0.622	0.646	0.631	7.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็ดฟางที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อน

ฟาง H 24 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.486	0.485	0.488	0.486	
$10x10^{-1}$	0.381	0.376	0.384	0.380	21.80
$10x10^{-2}$	0.440	0.448	0.445	0.444	8.64
$10x10^{-3}$	0.446	0.448	0.454	0.449	7.61
$10x10^{-4}$	0.459	0.455	0.446	0.453	6.79
$10x10^{-5}$	0.446	0.455	0.458	0.453	6.85
$10x10^{-6}$	0.458	0.447	0.459	0.455	6.51
$10x10^{-7}$	0.456	0.457	0.455	0.456	6.24
$10x10^{-8}$	0.462	0.451	0.453	0.455	6.37
$10x10^{-9}$	0.457	0.451	0.455	0.454	6.58

ฟาง H 25 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.616	0.611	0.614	0.614	
$10x10^{-1}$	0.456	0.458	0.456	0.457	25.58
$10x10^{-2}$	0.543	0.544	0.545	0.544	11.35
$10x10^{-3}$	0.544	0.555	0.552	0.550	10.32
$10x10^{-4}$	0.554	0.553	0.557	0.555	9.61
$10x10^{-5}$	0.555	0.556	0.550	0.554	9.78
$10x10^{-6}$	0.553	0.553	0.558	0.555	9.61
$10x10^{-7}$	0.556	0.552	0.552	0.553	9.83
$10x10^{-8}$	0.555	0.556	0.557	0.556	9.40
$10x10^{-9}$	0.551	0.558	0.562	0.557	9.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟาง H 26 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.679	0.688	0.688	0.685	
$10x10^{-1}$	0.501	0.499	0.550	0.517	24.57
$10x10^{-2}$	0.619	0.615	0.614	0.616	10.07
$10x10^{-3}$	0.0.624	0.631	0.625	0.628	8.32
$10x10^{-4}$	0.621	0.628	0.628	0.626	8.66
$10x10^{-5}$	0.631	0.628	0.629	0.629	8.13
$10x10^{-6}$	0.622	0.629	0.624	0.625	8.76
$10x10^{-7}$	0.624	0.626	0.623	0.624	8.86
$10x10^{-8}$	0.628	0.621	0.622	0.624	8.95
$10x10^{-9}$	0.616	0.614	0.618	0.616	10.07

ฟาง H 27 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.666	0.671	0.665	0.667	
$10x10^{-1}$	0.504	0.500	0.506	0.503	24.58
$10x10^{-2}$	0.598	0.597	0.608	0.601	9.94
$10x10^{-3}$	0.612	0.611	0.615	0.613	8.19
$10x10^{-4}$	0.607	0.618	0.621	0.615	7.79
$10x10^{-5}$	0.605	0.612	0.615	0.611	8.49
$10x10^{-6}$	0.610	0.616	0.612	0.613	8.19
$10x10^{-7}$	0.608	0.613	0.615	0.612	8.29
$10x10^{-8}$	0.615	0.612	0.617	0.615	7.89
$10x10^{-9}$	0.611	0.615	0.611	0.612	8.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็ดหอมที่ผ่านการทำแห้งแบบกำจัดน้ำออก

ฟาง D 5 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.567	0.565	0.567	0.566	
$10x10^{-1}$	0.460	0.460	0.461	0.460	18.72
$10x10^{-2}$	0.513	0.521	0.519	0.518	8.59
$10x10^{-3}$	0.516	0.523	0.525	0.521	7.95
$10x10^{-4}$	0.525	0.519	0.522	0.522	7.83
$10x10^{-5}$	0.514	0.523	0.522	0.520	8.24
$10x10^{-6}$	0.520	0.520	0.516	0.519	8.42
$10x10^{-7}$	0.515	0.520	0.519	0.518	8.53
$10x10^{-8}$	0.519	0.521	0.519	0.520	8.24
$10x10^{-9}$	0.523	0.521	0.527	0.524	7.53

ฟาง D 6 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.621	0.622	0.626	0.623	
$10x10^{-1}$	0.484	0.483	0.484	0.484	22.36
$10x10^{-2}$	0.565	0.564	0.566	0.565	9.31
$10x10^{-3}$	0.578	0.576	0.576	0.577	7.44
$10x10^{-4}$	0.581	0.580	0.573	0.578	7.22
$10x10^{-5}$	0.572	0.573	0.571	0.572	8.19
$10x10^{-6}$	0.577	0.571	0.575	0.574	7.81
$10x10^{-7}$	0.570	0.572	0.570	0.571	8.40
$10x10^{-8}$	0.577	0.572	0.571	0.573	7.97
$10x10^{-9}$	0.572	0.573	0.572	0.572	8.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟาง D 7 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.622	0.614	0.616	0.617	
$10x10^{-1}$	0.489	0.480	0.494	0.488	21.00
$10x10^{-2}$	0.559	0.554	0.553	0.555	10.04
$10x10^{-3}$	0.563	0.577	0.557	0.566	8.37
$10x10^{-4}$	0.575	0.558	0.562	0.565	8.48
$10x10^{-5}$	0.564	0.559	0.572	0.565	8.48
$10x10^{-6}$	0.559	0.569	0.571	0.566	8.26
$10x10^{-7}$	0.560	0.560	0.564	0.561	9.07
$10x10^{-8}$	0.564	0.558	0.559	0.560	9.23
$10x10^{-9}$	0.560	0.560	0.564	0.561	9.07

ฟาง D 8 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.691	0.694	0.689	0.691	
$10x10^{-1}$	0.539	0.538	0.540	0.539	22.03
$10x10^{-2}$	0.610	0.613	0.618	0.614	11.23
$10x10^{-3}$	0.628	0.627	0.628	0.628	9.21
$10x10^{-4}$	0.629	0.630	0.634	0.631	8.73
$10x10^{-5}$	0.626	0.632	0.637	0.632	8.63
$10x10^{-6}$	0.628	0.629	0.646	0.634	8.24
$10x10^{-7}$	0.633	0.637	0.639	0.636	7.96
$10x10^{-8}$	0.627	0.637	0.643	0.636	8.05
$10x10^{-9}$	0.637	0.633	0.635	0.635	8.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็ดหูหนูที่ผ่านการทำแห้งแบบอบลมร้อน

หูหนูH 24ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.624	0.630	0.627	0.627	
$10x10^{-1}$	0.428	0.433	0.430	0.430	31.37
$10x10^{-2}$	0.554	0.554	0.557	0.555	11.48
$10x10^{-3}$	0.562	0.564	0.564	0.563	10.15
$10x10^{-4}$	0.569	0.570	0.568	0.569	9.25
$10x10^{-5}$	0.568	0.563	0.568	0.566	9.68
$10x10^{-6}$	0.570	0.572	0.570	0.571	8.98
$10x10^{-7}$	0.572	0.574	0.575	0.574	8.51
$10x10^{-8}$	0.575	0.577	0.576	0.576	8.13
$10x10^{-9}$	0.571	0.571	0.569	0.570	9.04

หูหนูH 25ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.679	0.682	0.684	0.682	
$10x10^{-1}$	0.528	0.521	0.522	0.524	23.18
$10x10^{-2}$	0.601	0.598	0.598	0.599	12.13
$10x10^{-3}$	0.610	0.612	0.609	0.610	10.46
$10x10^{-4}$	0.620	0.625	0.623	0.623	8.66
$10x10^{-5}$	0.625	0.625	0.624	0.625	8.36
$10x10^{-6}$	0.630	0.629	0.627	0.629	7.78
$10x10^{-7}$	0.633	0.630	0.633	0.632	7.29
$10x10^{-8}$	0.636	0.635	0.634	0.635	6.85
$10x10^{-9}$	0.635	0.630	0.631	0.632	7.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หูหนูH 26ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.677	0.670	0.676	0.674	
$10x10^{-1}$	0.567	0.563	0.563	0.564	16.31
$10x10^{-2}$	0.612	0.619	0.618	0.616	8.60
$10x10^{-3}$	0.622	0.621	0.615	0.619	8.16
$10x10^{-4}$	0.611	0.615	0.616	0.614	8.95
$10x10^{-5}$	0.623	0.619	0.619	0.620	8.01
$10x10^{-6}$	0.629	0.621	0.623	0.624	7.41
$10x10^{-7}$	0.625	0.622	0.623	0.623	7.56
$10x10^{-8}$	0.619	0.627	0.625	0.624	7.51
$10x10^{-9}$	0.622	0.619	0.628	0.623	7.61

หูหนูH 27ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.655	0.650	0.654	0.653	
$10x10^{-1}$	0.557	0.564	0.559	0.560	14.24
$10x10^{-2}$	0.612	0.609	0.605	0.609	6.79
$10x10^{-3}$	0.619	0.611	0.611	0.614	6.02
$10x10^{-4}$	0.620	0.618	0.615	0.618	5.41
$10x10^{-5}$	0.612	0.614	0.617	0.614	5.92
$10x10^{-6}$	0.622	0.618	0.619	0.620	5.10
$10x10^{-7}$	0.625	0.627	0.620	0.624	4.44
$10x10^{-8}$	0.621	0.621	0.62	0.621	4.95
$10x10^{-9}$	0.619	0.622	0.62	0.620	5.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็ดหูหนูที่ผ่านการทำแห้งแบบกำจัดน้ำออก

หูหนูD 5 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.612	0.614	0.610	0.612	
$10x10^{-1}$	0.420	0.419	0.440	0.426	30.34
$10x10^{-2}$	0.559	0.559	0.563	0.560	8.44
$10x10^{-3}$	0.565	0.569	0.569	0.568	7.24
$10x10^{-4}$	0.568	0.567	0.568	0.568	7.24
$10x10^{-5}$	0.565	0.566	0.565	0.565	7.63
$10x10^{-6}$	0.565	0.563	0.564	0.564	7.84
$10x10^{-7}$	0.562	0.556	0.562	0.560	8.50
$10x10^{-8}$	0.559	0.567	0.568	0.565	7.73
$10x10^{-9}$	0.559	0.558	0.564	0.560	8.44

หูหนูD 6 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.578	0.576	0.576	0.577	
$10x10^{-1}$	0.407	0.476	0.476	0.453	21.45
$10x10^{-2}$	0.551	0.547	0.544	0.547	5.09
$10x10^{-3}$	0.534	0.545	0.545	0.541	6.13
$10x10^{-4}$	0.539	0.543	0.543	0.542	6.07
$10x10^{-5}$	0.534	0.544	0.543	0.540	6.30
$10x10^{-6}$	0.542	0.558	0.552	0.551	4.51
$10x10^{-7}$	0.528	0.541	0.537	0.535	7.17
$10x10^{-8}$	0.526	0.540	0.538	0.535	7.28
$10x10^{-9}$	0.528	0.534	0.537	0.533	7.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หูหนูD 7 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.677	0.669	0.678	0.675	
$10x10^{-1}$	0.579	0.579	0.575	0.578	14.38
$10x10^{-2}$	0.635	0.634	0.635	0.635	5.93
$10x10^{-3}$	0.639	0.640	0.637	0.639	5.34
$10x10^{-4}$	0.642	0.641	0.645	0.643	4.74
$10x10^{-5}$	0.638	0.636	0.634	0.636	5.73
$10x10^{-6}$	0.637	0.632	0.640	0.636	5.68
$10x10^{-7}$	0.641	0.642	0.645	0.643	4.74
$10x10^{-8}$	0.647	0.645	0.646	0.646	4.25
$10x10^{-9}$	0.636	0.638	0.64	0.638	5.43

หูหนูD 8 ชม.	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% RSA
DPPH	0.605	0.610	0.613	0.609	
$10x10^{-1}$	0.536	0.538	0.541	0.538	11.65
$10x10^{-2}$	0.568	0.579	0.587	0.578	5.14
$10x10^{-3}$	0.577	0.588	0.593	0.586	3.83
$10x10^{-4}$	0.572	0.590	0.593	0.585	3.99
$10x10^{-5}$	0.570	0.582	0.594	0.582	4.49
$10x10^{-6}$	0.547	0.590	0.587	0.575	5.69
$10x10^{-7}$	0.570	0.590	0.591	0.584	4.21
$10x10^{-8}$	0.569	0.577	0.587	0.578	5.20
$10x10^{-9}$	0.558	0.583	0.594	0.578	5.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้