อิทธิพลของกระบวนการแปรรูปต่อปริมาณ 6-จิงเจอรอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงแห้ง

INFLUENCE OF PROCESSING ON 6-GINGEROL CONTENT AND SCAVENGING CAPACITY OF DRIED GINGER

วุฒิไกร ชินมาส
WOOTHTHIGRAI CHINMAS

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2552

KMITL-2009-AI-M-053-087

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของกระบวนการแปรรูปต่อปริมาณ 6-จิงเจอรอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงแห้ง

INFLUENCE OF PROCESSING ON 6-GINGEROL CONTENT AND SCAVENGING CAPACITY OF DRIED GINGER

วุฒิไกร จันมาศ

WOOTHTHIGRAI CHUNMAS

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-AI-M-053-037

INFLUENCE OF PROCESSING ON 6-GINGEROL CONTENT AND SCAVENGING CAPACITY OF DRIED GINGER

WOOTHTHIGRAI CHUNMAS

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE

FACULTY OF AGRO INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2009

KMITL-2009-AI-M-053-037

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF AGRO INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของกระบวนการแปรรูปต่อปริมาณ 6-จิงเจอรอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงแห้ง
นักศึกษา	ว่าที่ร้อยตรีวุฒิไกร จันมาศ
รหัสประจำตัว	48068502
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. พอใจ ถามากร

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการแปรรูปขิงสดและขิงลวกเป็นผลิตภัณฑ์ขิงผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดและตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 องศาเซลเซียส) โดยวิเคราะห์ปริมาณ 6-จิงเจอรอล ด้วย HPLC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH radical scavenging assay พบว่าตัวอย่างขิงสดที่นำมาทำแห้งทั้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดและด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 องศาเซลเซียส) มีปริมาณ 6-จิงเจอรอล สูงกว่าตัวอย่างขิงลวกที่ทำแห้งทั้ง 2 วิธีดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีผลสอดคล้องกับปริมาณ 6-จิงเจอรอล คือ ขิงผงที่มีปริมาณ 6-จิงเจอรอลลดลงมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเช่นกัน โดยขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 องศาเซลเซียส) มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH คือร้อยละ 84.83 และขิงสดที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH คือร้อยละ 89.89 การทำแห้งขิงสดหรือขิงลวกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ได้ขิงผงที่มีปริมาณ 6-จิงเจอรอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) นอกจากนั้นการทำแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างกันโดยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 87.40

Thesis Title	Influence of Processing on 6-Gingerol Content and Scavenging Capacity of Dried Ginger
Student	Acting Sub Lt.Wooththigrai Chunmas
Student ID	48068502
Degree	Master of Science
Program	Food Science
Year	2009
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Porjai Thamakorn

ABSTRACT

The study of using un-blanched and blanched ginger in the process of dry ginger powder by hot air tray dryer and freeze dryer was investigated. Quantitative analysis of 6-gingerol was conducted by HPLC and antiradical capacity was determined by DPPH radical scavenging assay. Un-blanched dried ginger both from hot air and freeze dryer showed significantly higher in 6-gingerol than those blanched dried ginger from the two drying methods ($P<0.05$). The reduction of 6-gingerol content in dried ginger samples also showed the decreasing in antiradical capacity. The blanched dried ginger by using tray dryer at 50 °C exhibited DPPH of 84.83% whereas the un-blanched dried ginger from freeze dryer revealed DPPH antiradical capacity of about 89.89%. Hot air drying at 50, 60 and 70 °C caused no significant difference in 6-gingerol content among samples and also with fresh ginger ($P>0.05$). In addition, without difference in DPPH antiradical capacity of dried ginger from the study temperatures was observed. The average DPPH scavenging capacity was 87.40%.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.พอใจ ถามากร ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์รวมทั้งคอยดูแลเอาใจใส่ให้คำแนะนำในการทำวิจัย ตลอดจนให้ความรู้ ข้อคิดเห็นและคำปรึกษาต่างแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ และ ดร.ระจิตร สุวพาณิช กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอกจนข้อชี้แนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาได้

ขอกราบขอบพระคุณคณาอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ตลอดจนให้ข้อคิดมุมมอง และแนวทางอันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการศึกษาค้นคว้า จัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วุฒิไกร จันมาศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	IX
บทที่1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
บทที่2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ขิง (ginger)	3
2.2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในขิง	7
2.3 คุณสมบัติการต้านออกซิเดชันในขิง	10
2.4 อิทธิพลของกระบวนการแปรรูปขิง	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	20
3.1 วัตถุดิบ	20
3.2 สารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง	20
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	20
3.4 สถานที่ทดลอง	21
3.5 วิธีการทดลอง	21
บทที่4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	25
4.1 การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol ในขิงสด	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการลวกและวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของขิงแห้ง... 28

4.3 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพของขิงแห้ง..... 35

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... 38

บรรณานุกรม..... 39

ภาคผนวก..... 43

ประวัติผู้เขียน..... 55

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณสารอาหารที่พบในเหง้าขิงสดและขิงแห้ง..... 6

4.1 ความชื้นและปริมาณ 6-gingerol ในขิงสดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี..... 26

4.2 ความชื้นและปริมาณผลผลิต (%yield) ของตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 28

4.3 ค่าสี (L*,a*,b*) ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 30

4.4 ปริมาณ 6-gingerol และร้อยละของการลดลงปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 32

4.5 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิงในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 34

4.6 ความชื้นและปริมาณผลผลิต (%yield) ของตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 35

4.7 ค่าสี (L*,a*,b*) ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 36

4.8 ปริมาณ 6-gingerol และร้อยละของการลดลงปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 37

4.9 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิง ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 37

ก1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟ (mAU) กับความเข้มข้น (พีพีเอ็ม) ของ Standard 6-gingerol..... 45

ข1 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความชื้นในขิงอ่อนสดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี..... 47

ข2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความชื้นในขิงแก่สดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี..... 47

ข3 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ 6-gingerol ในขิงอ่อนสดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี..... 47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ 6-gingerol ในขิงแก่สดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี..... 48

ข5 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นของตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 48

ข6 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณผลผลิต (%yield) ของตัวอย่างขิงทำแห้งด้วย ตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 48

ข7 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี L* ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 48

ข8 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี a* ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 49

ข9 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี b* ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด และเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 49

ข10 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงทำแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 49

ข11 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิง ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด..... 50

ข12 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นของตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 50

ข13 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณผลผลิต (%yield) ของตัวอย่างขิงทำแห้งที่ อุณหภูมิต่างกัน ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 50

ข14 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า L* ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วย ตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 51

ข15 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า a* ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วย ตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 51

ข16 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า b* ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วย ตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข17 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 51

ข18 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิง ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด..... 52

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะเหง้าขิงแก่	3
2.2 ลักษณะของเซลล์น้ำมันที่บรรจุน้ำมันชันในขิง	8
2.3โครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบหลักที่พบในสารสกัดจากขิง	9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอนุมูลอิสระและระบบแอนติออกซิแดนท์ในร่างกาย	12
2.5 โครงสร้างของเคอร์ซิติน (Quercitin) สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์	16
3.1 กระบวนการผลิตขิงผง	22
4.1 โครมาโตแกรมของขิงอ่อนสด	27
4.2 โครมาโตแกรมของขิงแก่สด	27
4.3 ค่า hue angle (องศา) ของตัวอย่างขิงสดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ก) ขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ข) ขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ค) ขิงลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ง)	29
4.4 ตัวอย่างขิงสดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ก) ขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ข) ขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ค) ขิงลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ง)	30
4.5 โครมาโตแกรมของขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ก) และขิงผงจากท้องตลาด (Mccormick) (ข)	33
ก1 กราฟมาตรฐานของ 6-gingerol เป็นความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟ (mAU) กับความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	45
ค1 ตู้อบลมร้อนแบบถาด ด้านหน้าตู้ (ก) ด้านในตู้ (ข)	53
ค2 เครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC)	54
ค3 เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	54

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในสังคมปัจจุบันเป็นยุคที่ผู้คนหันมาเอาใจใส่ต่อสุขภาพกันมากขึ้น เลือกบริโภคอาหารที่เน้นคุณค่าของสารอาหารที่มีส่วนช่วยในการรักษาและป้องกันโรคต่างๆ รวมทั้งช่วยเสริมสุขภาพร่างกายไม่ให้เสื่อมไปก่อนวัยอันควร ดังนั้นพืชสมุนไพรของไทยจึงได้รับความสนใจเป็นพิเศษ ขิงเป็นพืชสมุนไพรที่คนไทยนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น ช่วยดับกลิ่นคาวในอาหาร ช่วยขับลม ช่วยย่อยอาหาร ช่วยขับเหงื่อ ขับน้ำนม คนเอเชีย เช่น จีน ใช้ประโยชน์จากขิงมามากกว่า 2000 ปี และมีการใช้ขิงในยุโรปตอนเหนือมาเกือบ 1000 ปี ขิงมีบทบาททางด้านเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก จากข้อมูลการนำเข้าขิงของประเทศต่างๆทั่วโลกตั้งแต่ปี ค.ศ.1996-2000 เฉลี่ยแล้วเพิ่มขึ้นร้อยละ15.82 ต่อปี (Mazaud *et al.,* 2002) แสดงว่าความต้องการของผู้บริโภคมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในทวีปเอเชีย ประเทศจีนและประเทศไทยมีการส่งออกขิงมากที่สุดของโลก ซึ่งประเทศที่นำเข้ามากที่สุดในโลกคือประเทศญี่ปุ่น โดยในปี ค.ศ. 2000 ประเทศญี่ปุ่นนำเข้าถึง 104,379 ตัน ซึ่งได้นำเข้าจากประเทศจีน 69,448 ตัน และนำเข้าจากไทย 30,279 ตัน (Mazaud *et al.,* 2002) ขิงจัดเป็นพืชสมุนไพรที่ให้กลิ่นรสกับอาหารซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารจะนำขิงมาใช้ทั้งในรูปเครื่องเทศและเป็นสารให้กลิ่นรส โดยเฉพาะส่วนเหง้าของขิงซึ่งประกอบด้วยสารพฤกษเคมีองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ กลุ่มสารประกอบฟีนอลิค สารในกลุ่มนี้มีผลในการยับยั้งการสร้างเซลล์มะเร็ง บรรเทาอาการอักเสบของกล้ามเนื้อ ยับยั้งการแข็งตัวของเกล็ดเลือด ลดไข้ บรรเทาอาการอาเจียน (Surh *et al.,* 1998)

องค์ประกอบทางพฤกษเคมีในเหง้าขิงที่พบในรูปแบบเชิงการค้า ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย (essential oil) และน้ำมันชัน (oleoresin) โดยนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและการแพทย์ (Zancan *et al.,* 2002) น้ำมันหอมระเหยซึ่งได้จากการกลั่นประกอบด้วยกลุ่มสารระเหยที่ให้กลิ่น (volatile substances) ได้แก่ monoterpenic และ sesquiterpenic compounds ส่วนน้ำมันชันได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย เมื่อระเหยตัวทำละลายออกได้ของเหลวสีน้ำตาล โดยประกอบด้วยสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมและสารที่ให้กลิ่นรสที่เผ็ดร้อน ซึ่งอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิคคีโตน (phenolic ketones) ได้แก่ gingerols shogaols และ zingerone (Prasad *et al.,* 2000)

ในการแปรรูปขิงโดยผ่านกระบวนการทำแห้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและสะดวกในการใช้มากกว่าขิงสด ในกระบวนการแปรรูปต้องพิจารณาวิธีการแปรรูป อุณหภูมิในการแปรรูปและการเก็บรักษา เนื่องจากอุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในกระบวนการอาจส่งผลต่อการสูญเสียทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพของน้ำมันชันและสารระเหยที่ให้กลิ่นในขิง ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษา

กระบวนการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerolในขิงแห้งด้วย HPLC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ 6-gingerol สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ความชื้น ปริมาณผลผลิต และสี ในผลิตภัณฑ์ขิงแห้งที่ได้จากกระบวนการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการลวกขิงก่อนการทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่มีต่อปริมาณ 6-gingerol และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง

2. ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่มีต่อปริมาณ 6-gingerol และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขิง (ginger)

ขิงเป็นพืชในตระกูล *Zingiberaceae* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zingiber officinale Rosc.* เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุอยู่ได้หลายปี มีลำต้นใต้ดินเป็นเหง้ามีกาบใบบางๆหุ้ม เหง้าแตกสาขาคล้ายนิ้วมือ ดังรูปที่ 2.1 ขิงเป็นพืชที่ชอบขึ้นในที่อุดมสมบูรณ์ ความชื้นสูง แดดรำไรและขิงเป็นพืชพื้นเมืองในเขตร้อนแถบเอเชียและทวีปอื่นๆ เช่น จีน อินเดีย ญี่ปุ่น จาไมก้า ไนจีเรีย อินโดนีเซีย ไทย ฯลฯ แหล่งปลูกในประเทศไทยมักจะปลูกกันทั่วทุกภาคของประเทศ แต่ที่ปลูกเพื่อส่งขายจะอยู่ในบริเวณภาคกลางบางจังหวัด เช่น ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี กาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม ปทุมธานี และ เพชรบุรี ภาคใต้บางจังหวัด เช่น ชุมพร นราธิวาส ภาคตะวันออกที่จังหวัดปราจีนบุรี

รูปที่ 2.1 ลักษณะเหง้าขิงแก่

2.1.1 ชนิดของขิง (จันทร์เพ็ญ, 2549)

ลักษณะของลำต้นของขิงอยู่เหนือดิน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ลำต้นเทียมใบและดอกมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากจนยากที่จะใช้บอกถึงความแตกต่างในแต่ละพันธุ์ แต่มีที่สังเกตถึงความแตกต่างของขิง ที่เห็นได้ชัดคืออาศัยดูสีของเหง้าขิง จึงทำให้แยกขิงออกได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกที่บริเวณใต้เซลล์ผิวจะมีสีม่วงปนแดงหรือสีม่วงปนน้ำเงิน กลุ่มที่สองบริเวณใต้เซลล์ผิวจะไม่มีสีหรืออาจมีสีเหลืองอ่อนๆ สำหรับที่ปลูกกันในปัจจุบัน เกิดจากการคัดเลือกจากสองกลุ่มนี้และมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามแหล่งปลูก ได้แก่ (อรรถพล, 2544)

1) ขิงจาไมก้า เป็นพันธุ์ขิงที่มีคุณภาพดีที่สุดในบรรดาขิงพันธุ์ต่างๆ ในโลก มีลักษณะของเหง้าเป็นรูปแบบนิ้วมือ ผิวด้านนอกมีสีเหลืองอ่อน หรือเหลืองอมน้ำตาลจนถึงเหลืองส้ม มีรสดีกลิ่นหอม เป็นที่ต้องการของประเทศสหรัฐอเมริกา และบางประเทศในยุโรป

2) ขิงอินเดีย เป็นขิงที่มีแป้งมากและมีรสเผ็ดเท่ากับขิงจาไมก้า แต่ขิงอินเดียมีกลิ่นที่ดีกว่า เพราะขิงอินเดียมีน้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นมะนาวสูงกว่าขิงจาไมก้า ขิงอินเดียสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ พวกแรกคือ ขิงโคชิน เมื่อลอกเปลือกออกจะมีสีน้ำตาลอ่อน หรือมีสีเหลืองปนเทา จัดว่าเป็นขิงที่ดีที่สุดของอินเดีย พวกที่สอง คือ ขิงคาลิกัต ขิงชนิดนี้มีกลิ่นมะนาวมากกว่าขิงโคชิน เมื่อลอกเปลือกออกแล้วมีสีส้มถึงน้ำตาลแดง

3) ขิงแอฟริกา เป็นขิงที่นำมาจากจาไมก้า แต่จะมีขนาดเล็กกว่าขิงจาไมก้า ขิงชนิดนี้เป็นขิงที่ไม่ปอกเปลือกหรือขูดเปลือกออกเมื่อนำไปตากแห้งผิวเปลือกนอกที่ติดอยู่จะมีลักษณะเหี่ยวย่น สีน้ำตาลเทา มีสีเข้มกว่าขิงโคชินของอินเดีย มีกลิ่นหอมแรง คุณสมบัติทางยาเหมือนกับขิงจาไมก้าแต่มีรสชาติไม่ดีเท่าขิงจาไมก้า เนื้อในมีสีเหลืองอ่อนถึงสีน้ำตาลอ่อน แต่มีเส้นใยมาก จึงไม่เหมาะในการนำมาทำขิงผง

4) ขิงจีน เป็นขิงที่มีเหง้าเป็นสีขาว ไม่มีเส้นใยในเนื้อขิงเลย แต่มีกลิ่นหอมน้อยกว่าขิงจาไมก้า มีเนื้อเป็นแบบขิงอ่อน จึงเหมาะที่จะทำขิงดองแต่ไม่เหมาะที่จะนำมาทำยารักษาโรค

5) ขิงญี่ปุ่น เป็นขิงที่มีขนาดเล็ก เปราะหักง่าย มีเส้นใยหรือเสี้ยนน้อยผิวด้านนอกเรียบมีสีขาว ส่วนเนื้อขิงมีสีเหลืองอ่อนถึงสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นหอมฉุนจัดมีรสเผ็ด

6) ขิงไทย สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท

1. ขิงใหญ่ ขิงหยวกหรือขิงขาว ลักษณะเหง้าใหญ่ ข้อห่าง เนื้อละเอียด เสี้ยนน้อย มากรสไม่เผ็ด เมื่อลอกเปลือกออกเนื้อในไม่มีสีหรือมีสีเหลืองเรื่อๆ ลักษณะของตาที่ปรากฏบนเหง้าจะกลมมน เมื่อเจริญเติบโตไปเป็นลำต้นและแตกใบแล้วจะมีปลายใบที่ป้านกว่าขิงเล็ก แต่ลำต้นจะมีความสูงมากกว่าขิงเล็ก การเก็บเกี่ยวจะแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ การเก็บเกี่ยวเป็นขิงอ่อนจะเริ่มเก็บเกี่ยวเมื่อขิงมีอายุประมาณ 4-6 เดือน และการเก็บเกี่ยวเป็นขิงแก่จะเริ่มเก็บเมื่อขิงมีอายุ 8-12 เดือน โดยสังเกตุได้จากใบและลำต้นจะเหี่ยวเฉาซึ่งขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของน้ำ ขิงแก่จะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคม ซึ่งเป็นฤดูหนาว ปริมาณฝนน้อย ทำให้ลำต้นและใบของขิงเหี่ยวเฉาจึงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวขิงแก่

2. ขิงเล็ก ขิงเผ็ด หรือขิงดำ บางแห่งเรียกว่า ขิงดำ ลักษณะเหง้าเล็กสั้น ข้อถี่ เนื้อมีเสี้ยนมากรสค่อนข้างเผ็ด เมื่อลอกเปลือกออกเนื้อจะมีสีน้ำเงินปนเขียว บางชนิดจะมีสีแดงเรื่อๆ ลักษณะของตาที่ปรากฏบนเหง้าแหลม เมื่อเจริญไปเป็นลำต้นและแตกใบแล้วจะมีปลายใบแหลม เหง้าของขิงเล็กจะแตกแขนงหรือแตกกอได้ดี ไม่นิยมปลูกขายเป็นขิงอ่อน นิยมนำมาทำยาสมุนไพรประกอบยารักษาโรค

2.1.2 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของขิง (อรนุช, 2536; เสาวนิตย์, 2545)

1) ฤทธิ์แก้ปวดไข้ เมื่อฉีด gingerol และ shogaol เข้าหลอดเลือดดำปริมาณ 1.75-3.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัมของน้ำหนักหนู พบว่ามีฤทธิ์ลดไข้ในหนูทดลอง

2) ลดระดับโคเลสเตอรอล ในการทดลองซึ่งให้หนูขาวกินอาหารที่ผสมด้วยขิงร้อยละ 10 (คำนวณเป็นน้ำหนักแห้ง)และโคเลสเตอรอลร้อยละ 1 ติดต่อกัน 24 วัน พบว่าระดับโคเลสเตอรอลในเลือดและในตับลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับสารจำพวกน้ำมันชันขิงและเพิ่มการขับถ่ายทางอุจจาระเมื่อทดลองในหนูขาวที่เพิ่งหย่านม

3) ลดอาการวิงเวียน ขิงผงมีฤทธิ์ลดอาการวิงเวียนสำหรับคนที่เมารถได้ดีกว่ายาแก้เมารถ

4) ฤทธิ์ขับลม ขิงสามารถลดอาการจุกเสียดได้ดีเนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหยซึ่งช่วยขับลม

5) ฤทธิ์เป็นยาชาเฉพาะที่ สารสกัดด้วยน้ำร้อนจากขิงมีฤทธิ์เป็นยาชาเมื่อทดลองกับเส้นประสาทของกบเมื่อใช้กับความเข้มข้นร้อยละ 1

2.1.3 คุณค่าทางอาหารของขิงและการใช้ประโยชน์ของขิงในอุตสาหกรรมอาหาร

ขิงเป็นพืชที่นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางทั้งในรูปสมุนไพรและพืชเครื่องเทศ ทั้งนี้เนื่องจากว่าเหง้าขิงมีองค์ประกอบของสารที่มีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญ อยู่หลากหลายชนิดด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณสูงเมื่ออยู่ในรูปขิงแห้งนอกจากนี้ในเหง้าขิงยังพบทั้งวิตามิน แร่ธาตุและสารประกอบอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคอีกด้วย

การนำขิงมาใช้ประโยชน์อาจจะใช้ในรูปของขิงแห้ง ขิงสดและขิงดอง ขิงแห้งนิยมใช้ในการตกแต่งกลิ่นอาหารหลายชนิด เช่น พาย ขนมนึ่ง คุกกี้ หรือนำมาทำเป็นขิงผงบดละเอียดสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในผงกะหรี่ เป็นส่วนผสมในเครื่องเทศที่ใช้หมักปลาและเนื้อบดและถือว่าเป็นเครื่องเทศที่ช่วยในการลดความหืนได้ดีในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรบางครั้งนำมาดองหรือใส่ในเครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอร์หรือผสมในค็อกเทล (Ganguly *et al.*, 2003) การใช้ประโยชน์ของขิงในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อใช้ในการบริโภคภายในประเทศและส่งออกเป็นผลิตภัณฑ์ดังนี้ (อรรถพล, 2544)

1) ขิงสดหรือขิงเขียว บริโภคในรูปผัก การเก็บเกี่ยวจะเป็นช่วงที่ขิงยังไม่แก่จัด คือ หลังการปลูก 5 เดือน ขิงสดส่วนใหญ่จะบริโภคภายในประเทศจึงมีความสำคัญน้อยกว่าในการค้าระหว่างประเทศ การทำขิงเขียว ทำได้โดยนำขิงที่ล้างน้ำสะอาดแล้ว ตัดรากและใบออก ตากแดดเป็นเวลา 1 วัน หรือบางครั้งอาจลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ขิงมีผิวที่สวยแล้วนำออกมาตากแดดนำส่งตลาดขายเป็นขิงเขียว

2) ขิงดอง (ในน้ำเชื่อมหรือเกลือ) การผลิตขิงดองจะใช้ขิงอ่อนเพราะเนื้อขิงอ่อนฉ่ำน้ำ มีรสเผ็ดน้อย และมีกลิ่นฉุนยังไม่มากนัก จุดประสงค์ของการใช้ขิงดอง จะใช้บริโภคภายในประเทศหรือ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป เช่น แยม มาร์มาเลด เค้ก และลูกกวาด

3) ขิงแห้ง ในตลาดภายในประเทศถึงแม้จะไม่แพร่หลายเหมือนขิงสด แต่สำหรับตลาดต่างประเทศนับว่าเป็นสินค้าที่มีความสำคัญมาก มีการซื้อขายในหลายประเทศ การทำขิงแห้งยังเป็นการเก็บรักษาขิงอีกวิธีหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ขิงแห้งอาจอยู่ในรูปขิงแห้งบดหรือขิงผง ซึ่งขิงแห้งบดจะใช้ในครัวเรือนให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขนมอบและลูกกวาด

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารที่พบในเหง้าขิงสดและขิงแห้ง

ส่วนประกอบ	เหง้าสด(ร้อยละ)[1]	เหง้าแห้ง(ร้อยละ)[2]
คาร์โบไฮเดรต	11.0	60-70
โปรตีน	2.5	9
ไขมัน	0.8	3-6
แร่ธาตุ แคลเซียม	20.0	-
เหล็ก	2.5	-
น้ำ	82	9-12
กากใย	2.1	3-8
วิตามิน บี1	0.02	-
วิตามิน บี2	0.04	-
วิตามิน ซี	4.0	-
nicotinamide	0.8	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก 1) สมพร(2542); 2) Ganguly และคณะ (2003)

ขิงมีเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนได้ ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนเอนไซม์โปรติเอส (protease enzyme) ถ้านำขิงมาตัดตามขวางจะมองเห็นวงแหวนสีน้ำเงินที่เหง้า ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ของเอนไซม์ พบว่าในเหง้าสดหนักประมาณ 60 กรัม จะให้เอนไซม์หนักประมาณ 1.356 กรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 2.26 ซึ่งมากกว่าปริมาณของเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากมะละกอดิบ เอนไซม์ในขิงประกอบด้วยเอนไซม์ 2 ชนิดเป็นอย่างน้อยหรืออาจเป็น iso-enzyme ก็ได้ (นิจศิริ, 2542)

2.1.4 ข้อควรระวังในการใช้ประโยชน์จากขิง (เสาวนิตย์, 2545)

1) การรับประทานขิงในปริมาณมาก อาจเกิดอาการหัวใจเต้นไม่ปกติ เนื่องจากเกิดการกดประสาทส่วนกลาง

2) ขิงอาจทำให้เกิดการแพ้ได้ มีรายงานน้ำคั้นจากขิงอาจทำให้เกิดอาการแพ้ผื่นได้และอาจทำให้เกิด Phototoxicity แต่ไม่รุนแรงมากนัก

3) การใช้ในหญิงมีครรภ์กรณีการใช้แก้อาเจียน ควรใช้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากไม่มีหลักฐานยืนยันความปลอดภัย มีเพียงการศึกษาในหนูขาวพบว่าไม่ทำให้แท้งแต่มีรายงานการใช้ในตำรับยาทำแท้ง จึงควรระมัดระวังไม่ใช้เกินขนาดในหญิงมีครรภ์

4) ไม่ควรใช้ในผู้ที่มีปัญหานิ่วในถุงน้ำดี เนื่องจากขิงมีฤทธิ์ขับน้ำดี ในกรณีผู้ป่วยที่เป็นนิ่วถุงน้ำดี จึงควรระมัดระวังในการใช้และอยู่ในการดูแลของแพทย์

2.2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในขิง

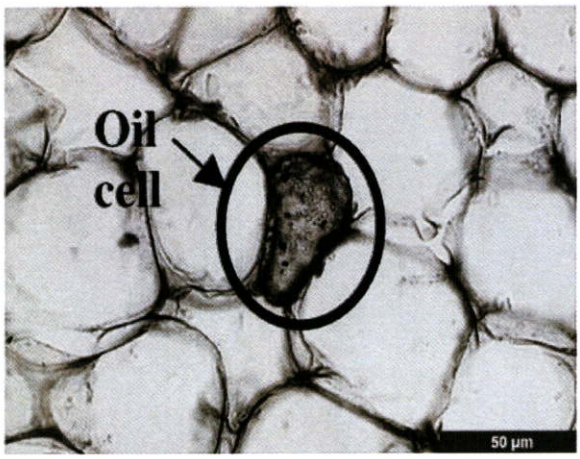
ขิงประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 1-2 น้ำมันชันร้อยละ 5-8 นอกจากนั้นจะเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ประเภทกัมและแป้ง (นิจศริ, 2542)

2.2.1 น้ำมันหอมระเหย (Essential oil)

น้ำมันหอมระเหยเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมประกอบด้วย sesquiterpene hydrocarbon ร้อยละ 50 นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆได้แก่ sesquiterpene alcohols, monoterpenoids, เอสเทอร์ของกรดซิตริก caprylic acid และสารประกอบฟีนอลิค

Zingiberene เป็นสารกลุ่ม sesquiterpene hydrocarbon ที่พบมากในน้ำมันหอมระเหยของขิง กล่าวคือพบประมาณร้อยละ 35.6 สาร sesquiterpene ชนิดอื่นๆที่พบก็มี curcumene ร้อยละ 17.7, farnesene ร้อยละ 9.8 และมีสารอื่นๆ อีกที่พบในปริมาณน้อย สารกลุ่ม sesquiterpene alcohols ที่พบในน้ำมันหอมระเหยขิงคือ zingiberol สารกลุ่ม monoterpenoids hydrocarbon ที่พบในน้ำมันหอมระเหยขิง ได้แก่ camphene, β- pinene, cumene, myrcene, limonene, cymene และ phellandrene สารกลุ่ม oxygenated monoterpene ที่พบ ได้แก่ 2-heptanol, 2-nonanol, linalool, geraniol และ neral

ในการศึกษาน้ำมันหอมระเหยขิงที่ได้จากแหล่งต่างๆกัน พบว่าน้ำมันหอมระเหยจะมีส่วนประกอบที่คล้ายๆกันแต่ต่างกันที่ปริมาณของสารเท่านั้น น้ำมันหอมระเหยขิงที่เก็บไว้ให้ถูกอากาศและแสงเป็นเวลานานจะทำให้ปริมาณของสาร zingiberene ซึ่งเป็นสารที่ระเหยลดลง แต่จะมีปริมาณสาร ar-curcumene ซึ่งเป็นสารที่ไม่ระเหยมากขึ้น



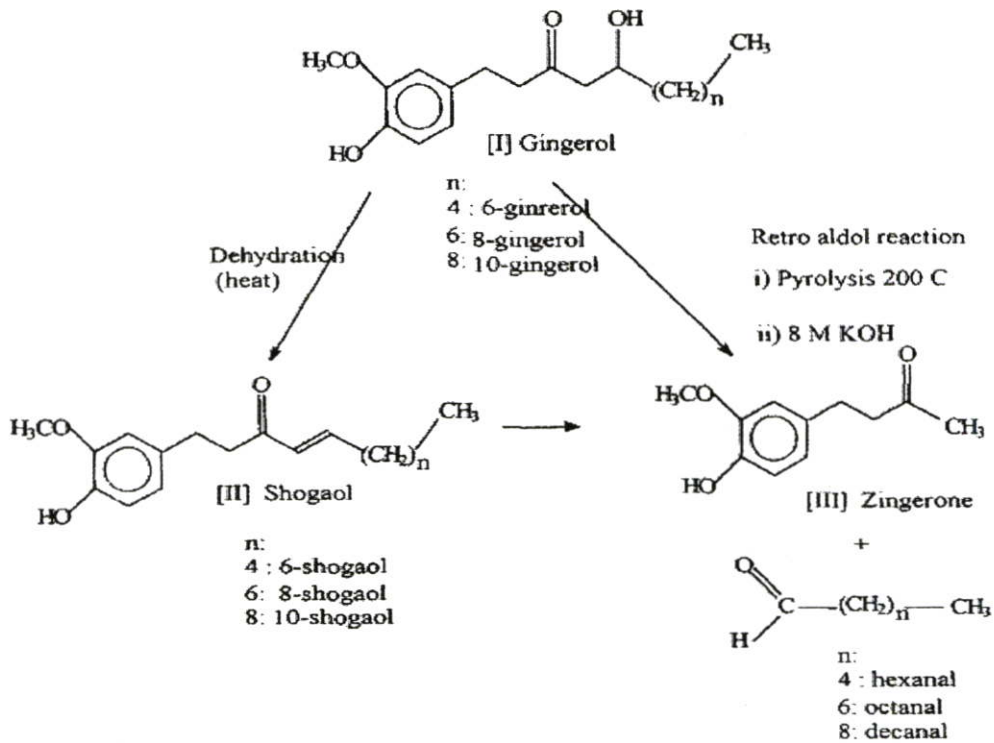
รูปที่ 2.2 ลักษณะของเซลล์น้ำมันที่บรรจุน้ำมันชันในขิง

ที่มา: Noor Azian และคณะ (2004)

2.2.2 น้ำมันชัน (Oleoresin)

น้ำมันชันหรือโอเลโอเรซิ่น เป็นของผสมระหว่างเรซิ่นกับน้ำมันหอมระเหย น้ำมันชันที่สกัดจากขิงจึงมีกลิ่นฉุนและรสเผ็ด รวมทั้งมีกลิ่นหอมของน้ำมันหอมระเหยด้วย จะพบมากในเซลล์ cortex และมีกระจายอยู่ทั่วไปในชั้นเซลล์ endodermis รูปที่ 2.2 เป็นลักษณะของเซลล์น้ำมันที่บรรจุน้ำมันชันขิง เมื่อสกัดออกมาจากขิงแห้งด้วยตัวทำละลายต่างๆ เช่น อะซิโตน เอธิลแอลกอฮอร์ หรือเอธิลอีเธอร์ เมื่อระเหยตัวทำละลายออกแล้วจะได้น้ำมันชันที่ข้นเหนียวสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งทางการค้าเรียกว่า จิงเจอริน (gingerin) ในน้ำมันชันจะประกอบด้วยสารสำคัญได้แก่ gingerol หรือ [1-(3-methoxy-4-hydroxyphenyl)-3-keto-5-hydroxyhexanel], shogaol, zingerone, paradol และสารประกอบอื่นๆอีกหลายชนิด น้ำมันชันที่เตรียมใหม่ๆจะมี gingerol เป็นองค์ประกอบหลักส่วน shogaol และ zingerone ไม่ได้เป็นสารที่เกิดจากธรรมชาติแต่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขณะที่เตรียมและการเก็บน้ำมันชัน โดย gingerol จะเปลี่ยนเป็น shogaol จากกระบวนการ dehydration ในการแปรรูปด้วยความร้อนหรือเกิดจากการเก็บไว้เป็นระยะเวลายาวนานและเปลี่ยนเป็น zingerone ด้วยปฏิกริยา retro-aldol (Balladin *et al.*,1997) ดังรูปที่ 2.3

จากรูปที่ 2.3 ยังได้อธิบายถึงโครงสร้างทางเคมีของ 6-, 8-, 10-gingerol, 6-, 8-, 10-shogaol และ zingerone ซึ่งสารประกอบทั้งสามชนิดมีความแตกต่างกันที่จำนวนคาร์บอนที่มาเกาะกับ aromatic ring และตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล(-OH) ดังนั้นน้ำมันชันที่คุณภาพต่ำจะมีปริมาณสาร shogaol และ zingeroneในปริมาณสูง และพบว่าสาร gingerol ที่มีอยู่ในขิงจะอยู่ในรูป 6-, 8-, 10-gingerol ในอัตราส่วนต่างๆ โดยขิงสดจะมี 6-gingerol ในปริมาณที่สูงสุดและจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาและสภาพที่เก็บรักษา (Kikuzaki and Nakatami, 1993)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบหลักที่พบในสารสกัดจากขิง ที่มา: Balladin และคณะ (1997)

นอกจากนี้ยังพบว่าสาร gingerol จะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี แต่เมื่ออยู่ในรูป shogaol และ zingerone คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระลดลง (Surh *et al.*, 1998) นอกจากนี้ในน้ำมันขันยังพบสารที่ให้กลิ่นหอม เช่น zingiberene, gingiberol, gingediol เป็นต้น

การวิเคราะห์น้ำมันขันขิงที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ สามารถแยกได้โดยวิธีโครมาโทกราฟี ที่นิยมที่สุดคือวิธีไฮเพอร์ฟอร์มานซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) และ วิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) โดย HPLC จะเหมาะกับการแยกสารหรือองค์ประกอบต่างๆที่ไม่ระเหยง่าย เช่น สารให้ความเผ็ดในขิง gingerol และ shogaol แต่ GC จะเหมาะกับการแยกสารที่ระเหยง่าย เช่น สารที่ให้กลิ่นในขิง zingiberene, camphene และ myrcene เป็นต้น (Yonei and Ohinata., 1995) ซึ่งได้มีวรรณกรรมต่างๆ ในการหาองค์ประกอบของน้ำมันขันขิง ดังนี้

Baranowski (1985) วิเคราะห์องค์ประกอบในสารสกัดจากขิงโดยใช้ HPLC คอลัมน์ PXS 10/25 ODS (25x4.25 mm I.D.) ใช้ อะซิโตไนไตร์ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ละลายกับ กรดอะซิติก โดยมีอัตราส่วน 2 ต่อ 3 เป็นเฟสเคลื่อนที่โดยมีอัตราการไหล 2.5 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ UV absorption ที่ความยาวคลื่น 270 นาโนเมตรเป็นเครื่องตรวจวัด ในการวิเคราะห์พบว่า retention time ของ 6- gingerol และ 6- shogaol เท่ากับ 3.0 และ 5.9 นาที ตามลำดับ

Chen และคณะ (1986) วิเคราะห์ total gingerol ในขิงอ่อนสดอบแห้งและขิงแก่สดอบแห้งที่เก็บเกี่ยวหลังการปลูก 4 และ 8 เดือน ตามลำดับ โดยใช้ HPLC คอลัมน์ RP (20 cm x 4.6 mm) ใช้เมธานอล 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นเฟสเคลื่อนที่โดยมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ UV absorption ที่ความยาวคลื่น 282 นาโนเมตรเป็นเครื่องตรวจวัดในการวิเคราะห์พบว่าปริมาณของ total gingerol โดยรวมในขิงอ่อนอบแห้งและขิงแก่อบแห้งอยู่ในช่วง 0.65-0.88% (w/w) และ 1.10-1.56%(w/w) ตามลำดับ

Balladin และคณะ (1998) วิเคราะห์องค์ประกอบในสารสกัดจากขิงแห้ง โดยใช้ HPLC คอลัมน์ Ultra Sphere ODS RP-C18 (15 cm x4.6 mm i.d.) การ์ดคอลัมน์ (2.5 cm x 4.6 mm i.d.) Injector loop (20µl) ใช้เมธานอล (70%) ต่อน้ำ (30%) เป็นเฟสเคลื่อนที่โดยมีอัตราการไหล 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ UV absorption ที่ความยาวคลื่น 282 นาโนเมตร เป็นเครื่องตรวจวัดในการวิเคราะห์พบว่า retention time ของ 6- gingerol และ 6- shogaol เท่ากับ 4 และ 7 นาที ตามลำดับ

2.3 คุณสมบัติการต้านออกซิเดชันในขิง

2.3.1 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ หมายถึง กลุ่มของสารที่มีอิเลคตรอนวงนอกที่ยังไม่ได้จับคู่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งอิเลคตรอน ดังนั้นจึงมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลในร่างกาย โดยทั่วไปภายในเซลล์อนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นระหว่างการถ่ายเทอิเลคตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า reactive oxygen species (ROS) ซึ่งสารในกลุ่มนี้ได้แก่ hydroxyl radical ($OH^{\cdot}$), superoxide radical ($O^{\cdot}_2$) อนุพันธ์ของออกซิเจนได้แก่ hydrogen peroxide (H_2O_2), hypochlorous acid (HOCl), alkoxyl radical ($RO^{\cdot}$), peroxyl radical ($RO^{\cdot}_2$) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของสารที่เรียกว่า reactive nitrogen species (RNS) ที่สำคัญได้แก่ nitric oxide (NO), nitrogen dioxide (NO_2) และ peroxynitrite (ONOO-) ทั้งกลุ่มของ ROS และ RNS จัดเป็นแหล่งอนุมูลอิสระที่สำคัญของร่างกาย (Aruoma *et al.*, 1997)

อนุมูลอิสระ สามารถเกิดขึ้นได้เองเมื่อร่างกายได้รับสารอินทรีย์บางชนิด และในขณะที่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันขึ้นเอง ซึ่งเรียกว่า ออโตออกซิเดชัน (autoxidation) กระบวนการดังกล่าวมักจะเกิดขึ้นกับไขมัน ดังนั้นจึงเรียกกระบวนการออกซิเดชันนั้นว่า ไลปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) อนุมูลอิสระเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนั้นยังสามารถเกิดจากปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อร่างกาย เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) โอโซน ควันจากท่อไอเสีย ควันบุหรี่ ความเครียด เป็นต้น อนุมูลอิสระเหล่านี้จะไปทำลายชีวโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และกรดนิวคลีอิก ก่อให้เกิดความเสียหายและเป็นอันตรายต่อเซลล์ร่างกาย อันเป็นสาเหตุให้เกิดพยาธิสภาพของโรคบางโรคได้หรือทำให้เซลล์ผิดปกติ เช่น เซลล์มะเร็ง โรคหลอด

เลือดหัวใจ โรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกันผิดปกติ โรคข้ออักเสบ โรคแก่ก่อนวัย โรคต้อกระจก โรคอัลไซเมอร์ (alzheimer) โรคพาร์กินสัน (parkinson) ฯลฯ (นวลศรี และ อัญชนา, 2545)

2.3.2 สารต้านออกซิเดชัน หรือ สารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant)

สารต้านออกซิเดชันหรืออาจจะเรียกว่าสารต้านอนุมูลอิสระพบในพืชสมุนไพรจำนวนมากในธรรมชาติรวมถึงผักและผลไม้ ตัวอย่างเช่น

1) Isopernoid derivatives เช่น carotenoids และ tocopherols (vitamin E)

2) Phenolic substances เป็นกลุ่มที่มีมากที่สุดประกอบไปด้วย polyphenol และ flavonoids ซึ่ง flavonoids ที่เป็น antioxidant เช่น

2.1 flavones เช่น luteolin ใน parsley, thyme

2.2 flavanones เช่น naringenin ในผลไม้พวกส้มที่มีวิตามินซี

2.3 flavonols เช่น quercetin ในหัวหอม บรอคโคลี แอปเปิล เบอร์รี ชาเขียว

2.4 flavanonol เช่น taxifolin

2.5 isoflavones เช่น genistein ในถั่วเหลือง

2.6 flavan-3 ols เช่น epicatechin

2.7 anhocyanidine เช่น cyaniding ในเชอรี่ กระเจี๊ยบแดง

2.8 catechins ในแอปเปิล และชา

3) คาร์โบไฮเดรตและโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง เช่น ascorbic acid (วิตามินซี)

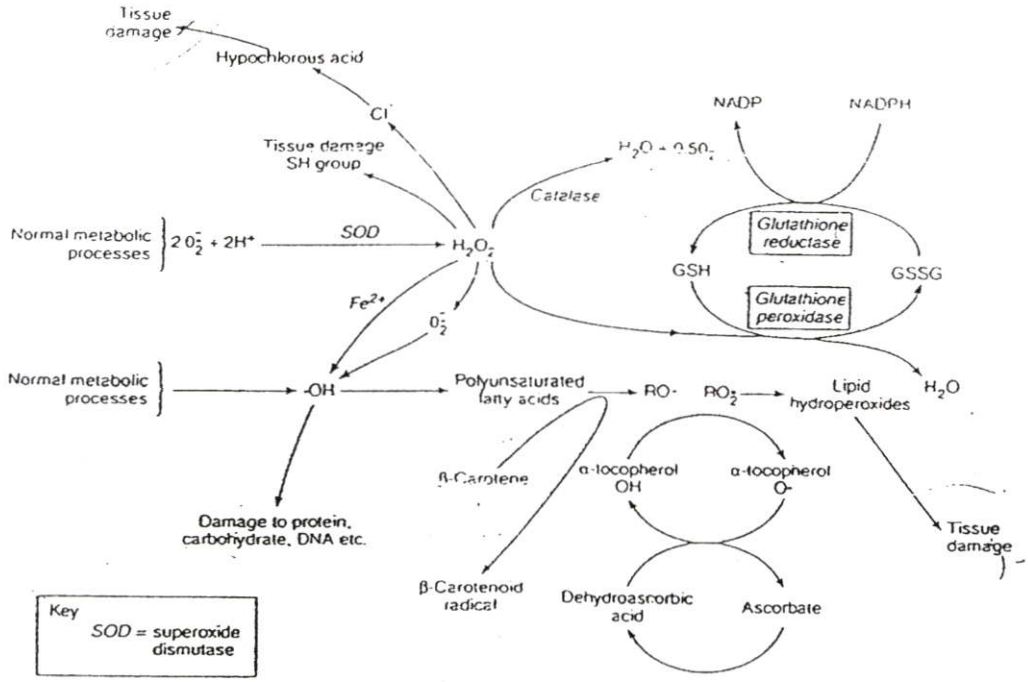
4) สารประกอบที่มีโครงสร้างของกรดอะมิโน เช่น glutathione

5) กรดไขมันและไขมันโครงสร้าง

6) แร่ธาตุ เช่น ซิลีเนียม (Se)

2.3.3 การป้องกันหรือควบคุมอนุมูลอิสระ

การป้องกันหรือควบคุมอนุมูลอิสระสามารถทำได้โดยการใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้ ไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ โดยปกติร่างกายจะมีระบบควบคุมป้องกันอนุมูลอิสระที่เรียกว่า antioxidant defense system แบ่งออกเป็นกลุ่มของเอนไซม์ ได้แก่ catalase, superoxide dismutase และ glutathione peroxidase เป็นต้น กลุ่มของสารและโปรตีนบางชนิดได้แก่ glutathione, urate, bilirubin, ubiquinol, albumin เป็นต้น และกลุ่มสารอาหารบางชนิด ที่สำคัญได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี และสารแคโรทีนอยด์ เป็นต้น (วัลยา และพัชรี, 2542) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอนุมูลอิสระและการทำงานของระบบแอนติออกซิแดนท์ในร่างกายจะแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอนุมูลอิสระและระบบแอนติออกซิแดนท์ในร่างกาย
ที่มา: วัลยา และพัชรี (2542)

สารต้านอนุมูลอิสระมีกลไกการทำงานดังนี้

$$R^{\cdot} + AH \longrightarrow RH + A^{\cdot} \quad (1)$$

$$RO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROH + A^{\cdot} \quad (2)$$

$$ROO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\cdot} \quad (3)$$

$$R^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow RA \quad (4)$$

$$RO^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow ROA \quad (5)$$

$$ROO^{\cdot} + A^{\cdot} \longrightarrow ROOA \quad (6)$$

จากสมการที่ (1), (2) และ (3) เมื่อ AH คือสารต้านอนุมูลอิสระที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระต่างๆ คือ $R^{\cdot}$, $RO^{\cdot}$ และ $ROO^{\cdot}$ ซึ่งโมเลกุลของสารอนุมูลอิสระจะอยู่ในรูปที่ไม่เสถียรมักจะแย่งอิเลคตรอนจากสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในร่างกายทำให้เกิดการเสียสมดุลและความผิดปกติของเซลล์ตามมา สารต้านอนุมูลอิสระจะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่สารดังกล่าวทำให้อนุมูลอิสระเหล่านี้อยู่ในรูปที่เสถียรและสารต้านอนุมูลอิสระจะกลายเป็นอนุมูลอิสระหลังจากที่เสียอิเลคตรอนไปแต่มีฤทธิ์อ่อนๆ เกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุมูลอิสระมากและเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัวดังสมการที่ (4), (5) และ (6) (พิชญ์อร, 2547)

สารต้านออกซิเดชันในปัจจุบันแบ่งได้ 4 กลุ่ม (พิชญ์อร, 2547) คือ

1. สารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิ (primary antioxidants)

สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้จะเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น BHA BHT เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอม หรือให้อิเลคตรอนกับอนุมูลอิสระแล้วเกิดเป็นสารที่มีความเสถียร สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนของเบนซีนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่ โดยหมู่ไฮดรอกซิลจะทำหน้าที่สำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ

2. สารต้านออกซิเดชันทุติยภูมิ (secondary antioxidants)

สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้เป็นสารประเภทเอสเทอร์ คือ เป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์กับแอลกอฮอล์และกรด แล้วเกิดเป็นของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมัน เช่น วิตามินซี แคโรทีนอยด์ สารในกลุ่มนี้จะไม่ได้ทำหน้าที่ต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรงแต่จะทำหน้าที่สลายเปอร์ออกไซด์ของไขมันที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ได้สารที่มีความเสถียร

3. สารเสริมฤทธิ์สารต้านออกซิเดชัน (synergistic antioxidants)

สารในกลุ่มนี้ไม่ได้ทำหน้าที่ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรงแต่จะช่วยเสริมการทำงานของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิ สารในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ 2 แบบ คือ ทำลายออกซิเจนที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและจับกับอนุมูลอิสระ ตัวอย่างเช่น กรดซิตริก ฟอสเฟต และกรดทาทาริค สารเหล่านี้ยังมีสมบัติเป็นสารส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ด้วย โดยสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะหนักแล้วส่งผลให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

4. สารต้านออกซิเดชันอื่นๆ (miscellaneous antioxidants)

สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ ทำหน้าที่เช่นเดียวกับสารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิและสารเสริมฤทธิ์สารต้านปฏิกิริยา ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้เช่น สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ กรดอะมิโน สารสกัดจากสมุนไพร เครื่องเทศ วิตามินอี และวิตามินเอ เป็นต้น

2.3.4 สารประกอบโพลีฟีนอล

สารประกอบฟีนอล หรือ ฟีนอลิค (phenolic compound) เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่สร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด โดยทั่วไปมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) มากกว่าหรือเท่ากับ 1 หมู่เกาะกับวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) โดยที่สารประกอบฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 1 หมู่ จะนิยมเรียกว่า สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอลในพืชแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันไป ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิค (phenolic acid) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลีเมอร์ เช่น เทนนิน สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่เป็นสารที่ละลายน้ำโดยทั่วไปพบรวมอยู่กับน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์ภายในเซลล์พืชในส่วนของแวคิวโอล (vacuole) แต่สารประกอบฟีนอลบางชนิดอาจมีสมบัติไม่ละลายในน้ำ รวมทั้งบางชนิดที่ถูกแทนที่

ด้วยหมู่เมธอกซิล (methoxyl group) จากเมธานอล ที่พบในไซโตรพลาสซึม (cytoplasm) หรือส่วนอื่นๆของเซลล์พืช เช่น ในสารเคลือบผิว (waxes) นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบฟีนอลหรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ (วิวัฒน์, 2545)

สารประกอบฟีนอลพบได้ในอาหารและเครื่องดื่มที่ได้จากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืชต่างๆ แต่จะพบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปในพืชแต่ละชนิด หรือแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันแต่มาจากสถานที่ผลิตต่างกัน เนื่องจากการสร้างสารประกอบฟีนอลิคของพืชจะมีปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการเพาะปลูก ระดับความสุก กระบวนการแปรรูป รวมทั้งวิธีการเก็บรักษา ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งสิ้น

สารประกอบฟีนอลจากพืชมีการศึกษาและนำมาใช้ประโยชน์มานานแล้ว เช่น ใช้เป็นสารฟอกสี (tannin agent) ในกระบวนการผลิตกระดาษ สี และเครื่องสำอาง ตลอดจนใช้ในลักษณะสีธรรมชาติ (nature colorants) และสารป้องกันการเสื่อมเสีย (preservatives) ในอุตสาหกรรมอาหาร แต่ในปัจจุบันงานวิจัยส่วนมากหันมาให้ความสนใจสารประกอบฟีนอลกับสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

สารประกอบโพลีฟีนอลที่ได้จากการสกัดจากส่วนต่างๆของพืชจะมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้จะต้องมีคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ (พิชญ์อร, 2547)

1. การกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavenging)
2. การให้ไฮโดรเจนอะตอม (hydrogen donators)
3. การกำจัดออกซิเจนที่ขาดอิเลคตรอน (anti-oxygen activity)
4. การรวมตัวกับโลหะ (metal chelating activity)

2.3.5 สารแอนติออกซิแดนท์และโปรออกซิแดนท์

สารแอนติออกซิแดนท์ คือสารที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถยับยั้งและควบคุมอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วน สารโปร-ออกซิแดนท์ คือสารที่ทำหน้าที่เหนี่ยวนำ หรือกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในที่นี้หมายถึงสารที่เหนี่ยวนำหรือกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ แต่ปัจจุบันพบว่าสารอาหารบางชนิดที่ทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ ยังสามารถทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนท์ได้ด้วย เช่น วิตามินซี เบตา-แคโรทีน วิตามินอี เป็นต้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) ความเข้มข้นของสารแอนติออกซิแดนท์ พบว่าสารบางชนิดเมื่อมีความเข้มข้นต่ำๆ จะทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ได้ดี แต่ในทางกลับกันเมื่อความเข้มข้นของสารดังกล่าวมีค่าสูงๆ จะทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนท์ ตัวอย่างเช่น วิตามินอีสามารถเป็นโปรออกซิแดนท์ได้ โดยทำการ

ทดลองพบว่า วิตามินอีในสภาวะความเข้มข้นสูงเท่ากับ 50 มิลลิโมล สามารถเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระในหลอดทดลองได้ (Mahoney and Graf, 1986)

2) ไอออนของโลหะทรานซิชัน เช่น เหล็ก หรือทองแดง พบว่าสารแอนติออกซิแดนท์บางชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนท์ได้ ในสภาวะที่มีไอออนของโลหะแทรนซิชันดังกล่าว ตัวอย่างเช่น วิตามินซี สามารถเป็นโปรออกซิแดนท์เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีไอออนของโลหะบางชนิดเช่น เหล็ก หรือทองแดง โดยทั่วไปในร่างกาย ไอออนของโลหะจะจับอยู่กับโปรตีน แต่มีผู้พบว่าวิตามินซีสามารถผ่านเข้าไปในช่องของโปรตีนเฟอริติน เร่งให้ไอออนเหล็กที่อยู่ในรูปที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา สามารถเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระโดยผ่านทางปฏิกิริยา Fenton reaction (Herbert *et al.*, 1996)

3) ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน มีผลในการทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแอนท์ของสารบางชนิดเช่นกัน สารบางชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ได้ดีเมื่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูงๆ สารดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นโปร-ออกซิแดนท์ ตัวอย่างเช่น เบตา-แคโรทีน มีรายงานการทดลองทั้งใน *in vitro* และ *in vivo* ว่าขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนต่ำเท่ากับ 150 มิลลิเมตรปรอท เบตา-แคโรทีนสามารถทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ได้ดี แต่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนสูงเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท เบตา-แคโรทีนสามารถเป็นโปรออกซิแดนท์โดยเร่งให้เกิด auto-oxidation ได้ (Palozza *et al.*, 1995)

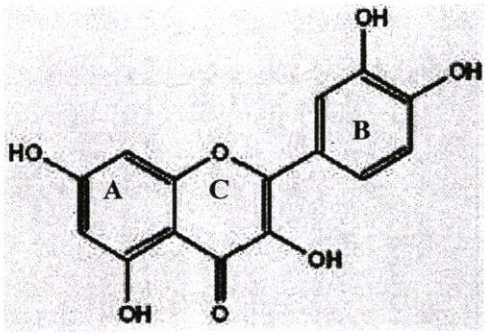
2.3.6 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอล ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ แสง เอนไซม์และการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ

เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลในแต่ละตำแหน่งของสารประกอบฟีนอล มีบทบาทต่อสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างซึ่งจะมีผลให้หมู่ไฮดรอกซิลเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงน่าจะมีผลต่อสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลด้วยเช่นกัน จากรายงานของ Yen และ Hung (2000) และรายงานของ Mansour และ Khalil (2000) พบว่าสารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่จะแสดงสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะกรด

อุณหภูมิในระหว่างการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลระเหยกลายเป็นไอได้ เช่น ฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 โดยลักษณะเป็นวงแหวน 3 วง ดังรูปที่ 2.5 ต่อกันจะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไป โดยวงแหวน B

จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์-บอกซิลิก และวงแหวน A จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์ตามลำดับและระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ (วิวัฒน์, 2545)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเคอร์ซิติน (Quercitin) สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์
ที่มา: วิวัฒน์ (2545)

2.3.7 สมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระจากขิง

สารประกอบหลักที่เป็นสารต้านออกซิเดชันในขิงคือ สารประกอบฟีนอลิค ในการสกัดจากขิงแห้ง 100 กรัม พบว่าขิงจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิคประมาณ 60.07 มิลลิกรัม (นวลศรีและ อัญชนา, 2545) และจากการวิจัยของ Kikuzaki และ Nakatami (1993) ศึกษาถึงสารประกอบในขิงที่มีผลต่อการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าสารสำคัญในขิงที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ 6-gingerol และ 6-shogaol ซึ่งประสิทธิภาพของสารจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารโดยเฉพาะตำแหน่งและจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลถ้ามีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลมากจะแสดงสมบัติต้านออกซิเดชันที่แข็งแรง ซึ่งในการวิจัยที่เกี่ยวกับคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของขิงที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันมีอยู่อย่างแพร่หลายทั้งรายงานการวิจัยที่ทำในหลอดทดลอง (in vitro) และผลิตภัณฑ์อาหาร ส่วนมากจะรายงานการวิจัยในผลิตภัณฑ์ประเภท เนื้อสัตว์ เครื่องดื่ม และน้ำมันพืช

Shobana และ Naidu (2000) ศึกษาถึงคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเครื่องเทศในประเทศอินเดีย 7 ชนิด ได้แก่ กานพลู อบเชย พริกไทย ขิง กระเทียม มินท์และหัวหอม พบว่าค่าความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant activity) ของสารสกัดกานพลูจะมีค่าสูงที่สุด ส่วนสารสกัดจากขิงจะอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับเครื่องเทศที่ทำการศึกษาทั้งหมด และยังพบว่าสารสกัดจากเครื่องเทศเหล่านี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิด ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ได้ นอกจากนี้ Mansour และ Khalil (2000) ได้ทดลองโดยนำขิงมาปั่นละเอียด จากนั้นสกัดต่อด้วยแอลกอฮอล์ นำสารสกัดที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้วนำไปใส่ในเนื้อบดที่ระดับ 500 และ 1000 พีพีเอ็ม พบว่าช่วยลด TBARS values และ rancid scores ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็น

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ว่าสำหรับเนื้อสัตว์ปรุงสุกที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นได้รวดเร็วก็สามารถใช้ขิงในการยับยั้งปฏิกิริยาได้เช่นกัน แต่ต้องใช้ในปริมาณที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ สุนทรีย์และคณะ (2548) พบว่าการนำขิงสดบดมาเติมในเนื้อหมูบดปรุงสุกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 4 สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อหมูปรุงสุกได้เนื่องจาก TBARS values ของตัวอย่างมีค่าต่ำมากและเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ

Rehman และคณะ (2003) ได้ทดลองเติมสารสกัดจากขิงในน้ำมันเมล็ดทานตะวันพบว่าสามารถลดค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่า PV (peroxide value) ของน้ำมันพืชเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียสได้ นอกจากนี้พบว่าสารสกัดจากขิงสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 185 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดเด่นที่พบในสารสกัดจากขิงเนื่องจากสารสกัดจากธรรมชาติส่วนใหญ่จะพบว่าประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านออกซิเดชันลดลงเมื่อได้รับความร้อนสูง (Hamama and Nawar, 1991)

2.4 อิทธิพลของกระบวนการแปรรูปขิง

การใช้ความร้อนเป็นวิธีที่สำคัญที่สุดวิธีหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหาร ทั้งนี้เพื่อให้อาหารมีคุณภาพการบริโภคตามต้องการ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อยับยั้งการเน่าเสียของอาหารและการสร้างสารพิษจากจุลินทรีย์ในอาหาร ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารรวมทั้งพยาธิและแมลงต่างๆ

การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ หมายถึง การใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็ง วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของกระบวนการทำแห้งจะไม่สูงแต่เพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการทำแห้งคือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งโดยมีการสูญเสียคุณภาพของการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด

การลวกเป็นปฏิบัติการเฉพาะหน่วยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนการแปรรูปหรือเพื่อป้องกันการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษา ขั้นตอนนี้มักจะเป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมวัตถุดิบก่อนจะเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง การลวกช่วยไม่ให้เกิดสีน้ำตาลของอาหารแห้งจากเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) หรือแคทาเลส (catalase) (จิตธนา และคณะ, 2545)

Zhang และคณะ(1994) ได้ศึกษาปริมาณของ 6-,8-,10-gingerol ในขิงสด ขิงลวก 3 นาที และขิงที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็น 5 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ขิงผง นำขิงสดหั่นบางแช่แข็งที่อุณหภูมิ -16 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดที่อุณหภูมิทำแห้ง -48.9 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 0.075 มิลลิปรอท แล้วนำมาบดเป็นผง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ ginger paste นำขิงสดหั่นบาง ลวกที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 703 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 3 นาที ปั่นให้ละเอียดได้ของเหลวข้นมีส่วนผสมของน้ำและเนื้อขิง เติมน้ำ แล้วเติมกรดซิตริกเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอชให้เท่ากับ 4.15 นำมาเคี่ยวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ ginger senbei เป็นอาหารของชาวญี่ปุ่น ซึ่งมีส่วนผสมโดยทั่วไปคือ แป้งสาลี(29.2%) น้ำตาล(35%) น้ำ(28.1%) ขิงสดบด(7.7%) นวดรวมกัน เทใส่บล็อกพิมพ์ อบจนเป็นสีน้ำตาล ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บรรจุใส่ถุงพลาสติกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์ cooked ginger ตัดขิงสดหนา 1 เซนติเมตรต่อชิ้น ให้ความร้อนที่เวลา 15, 30, 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 703 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในการวิเคราะห์พบว่าปริมาณของ 6-,8-,10-gingerol ในขิงสดเป็น 14.6, 2.0 และ 3.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในการเปรียบเทียบขิงสด ขิงผงและขิงลวก 3 นาที พบว่าปริมาณ 6-,8-,10-gingerol แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนขิงที่ผ่านกระบวนแปรรูปการเป็นผลิตภัณฑ์ ginger paste ginger senbei และ cooked ginger พบว่ามีปริมาณของ 6-,8-,10-gingerol น้อยกว่าขิงสดอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการลวกในเวลาสั้นๆ และการทำแห้งแบบระเหิดไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณ 6-,8-,10-gingerol แต่ในสภาวะที่เป็นกรดและกระบวนการแปรรูปที่อุณหภูมิสูงมีผลต่อการลดลงของปริมาณ 6-,8-,10-gingerol อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลิตภัณฑ์ steamed ginger paste โดยการนึ่ง ginger paste ที่เวลา 20, 60, 80, 100 และ120 นาที ความดัน 703 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ในการวิเคราะห์พบว่าปริมาณที่ลดลงของ 6-,8-,10-gingerol มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเวลานึ่งที่ 20 นาที และเวลานึ่ง ที่ 120 นาที โดยปริมาณของ 6-,8-,10-gingerol ที่เวลานึ่ง 120 นาทีลดลงจากที่เวลานึ่ง 20 นาที ร้อยละ 61 55 และ 73 ตามลำดับ

Zhang และคณะ (1994) ยังได้ศึกษาปริมาณของ 6-gingerol หลังการเก็บรักษาขิงผงที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 4, 8, 12, และ 16 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีการลดลงของปริมาณ 6-gingerol เร็วกว่าการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ โดยขิงผงเก็บที่อุณหภูมิห้องเริ่มมีการลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และสัปดาห์ที่ 8 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

Balladin และคณะ (1997) ได้ศึกษาปริมาณ 6-gingerol และ 6-shogaol ในขิงตากแห้งและขิงตากแห้งแล้วนำไปกลั่นด้วยไอน้ำ พบว่าเมื่อนำขิงตากแห้งไปกลั่นด้วยไอน้ำปริมาณของ 6-gingerol ลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณของ 6-gingerol ในขิงตากแห้งที่ไม่นำไปกลั่นด้วยไอน้ำ แต่

ปริมาณของ 6-shogaol ในขิงตากแห้งแล้วนำไปกลั่นด้วยไอน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณ 6-shogaol ในขิงตากแห้งที่ไม่นำไปกลั่นด้วยไอน้ำ โดยปริมาณ 6-gingerol ในขิงตากแห้งและขิงตากแห้งแล้วนำไปกลั่นด้วยไอน้ำเท่ากับร้อยละ 3.11 และ 1.88 ตามลำดับ ส่วนปริมาณ 6-shogaol ในขิงตากแห้งและขิงตากแห้งแล้วนำไปกลั่นด้วยไอน้ำเท่ากับร้อยละ 0.46 และ 2.47 ตามลำดับ (ร้อยละที่พบเทียบกับปริมาณน้ำหนักแห้งของขิง 100 กรัม) แสดงให้เห็นว่าความร้อนจากการนำไปกลั่นด้วยไอน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ 6-gingerol และ 6-shogaol โดยปริมาณของ 6-gingerol ลดลงเมื่อผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน เนื่องจากการแปรรูปด้วยความร้อนทำให้ 6-gingerol เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น 6-shogaol จากกระบวนการ ดีไฮเดรชัน ดังนั้น การนำขิงตากแห้งไปกลั่นด้วยไอน้ำจึงทำให้ปริมาณของ 6-gingerol ลดลงและปริมาณของ 6-shogaol เพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบปริมาณของ 6-gingerol โดยใช้เอธานอลและอะซิโตนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ พบว่าการสกัดด้วยอะซิโตนให้ปริมาณ 6-gingerol มากกว่าการสกัดด้วยเอธานอล ด้วยวิธีสกัดเดียวกัน

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ขิงสดพันธุ์หยวกจากตลาดไท

- ขิงแก่ ลักษณะปรากฏ เปลือกมีสีเหลืองเข้มเนื้อขิงเป็นสีเหลือง ดังรูปที่ 2.1 อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 8-10 เดือน
- ขิงอ่อน ลักษณะปรากฏ เปลือกบางสีอ่อนเหลือง เนื้อขิงเป็นสีขาวแกมเหลืองอ่อน เหง้าขิงยังติดกับลำต้นสีเขียว อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 4-6 เดือน

3.1.2 ผลิตภัณฑ์ขิงผง (ground ginger) Mccormick, USA

3.2 สารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง

3.2.1 เมธานอล เกรด HPLC	Merck, Germany
3.2.2 Standard 6-gingerol	Sigma, USA
3.2.3 2,2-diphynyl-1-picryhydrazyl (DPPH)	Sigma, USA
3.2.4 เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์	Sigma, USA
3.2.5 น้ำ DI เกรด HPLC	Merck, Germany

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

3.3.1 ตู้อบลมร้อนแบบถาด	Patch OV663, Thailand
3.3.2 เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	LABCONCO, USA
3.3.3 ตู้อบลมร้อน	Memmert, Germany
3.3.4 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	Spectro 22 Labo Neb, USA
3.3.5 เครื่องระเหยแบบสูญญากาศ	Rotavapor BUCHI R-114, Switzerland
3.3.6 ตู้แช่แข็งควบคุมอุณหภูมิ	CTL 821, Thailand
3.3.7 เครื่องเขย่า	Inova 2001, USA
3.3.8 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Sartorius BP 3100S, Germany
3.3.9 เครื่องวัดสี	KONICA MINOLTA CR 400, Japan
3.3.10 เครื่องปั่น (blender)	Philips Cucina, China

3.3.11 เครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) Agilent, HP 1100, Germany

3.3.12 อุปกรณ์ในการสกัดขิง ได้แก่ แท่งแม่เหล็ก ชุดกรองสูญญากาศ และกระดาษกรอง

3.3.13 อุปกรณ์การวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol ได้แก่ คอลัมน์ C18 (column:C18) การ์ดคอลัมน์(guard column) แผ่นกรองเฟสเคลื่อนที่ (0.45-μm cellulose acetate membrane) และ 0.2-μm nylon syringe filter

3.3.14 บรรจุภัณฑ์ได้แก่ ถุงพลาสติก (Polyethylene, PE)

3.4 สถานที่ทดลอง

ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol ในขิงสด

สุ่มตัวอย่างขิงสดจากตลาดสด (ตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี) มาทำการวิเคราะห์ ดังนี้

3.5.1.1 ความชื้น (AOAC, 2000)

3.5.1.2 ปริมาณ 6-gingerol

ตัวอย่างขิง 2 กรัม บดละเอียดด้วยเครื่องปั่น นำมาสกัดโดยการนำไปแช่ในเมธานอล 200 มิลลิลิตร ใช้แท่งแม่เหล็กกวนช่วยในการสกัด เป็นเวลา 1ชั่วโมง กรองภายใต้สูญญากาศแยกส่วนของกากขิงออกจากสารละลายสกัด กรองสารละลายผ่าน 0.2-μm nylon syringe filter (He *et al.*, 1998) นำตัวอย่างสารสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณของ 6-gingerol โดยใช้ High performance liquid chromatography ใช้คอลัมน์ C18 ใช้เมธานอลเกรด HPLC (70%) ต่อน้ำ (30%) เป็นเฟสเคลื่อนที่โดยมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ UV detector วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 282 นาโนเมตร (Balladin *et al.*, 1998).

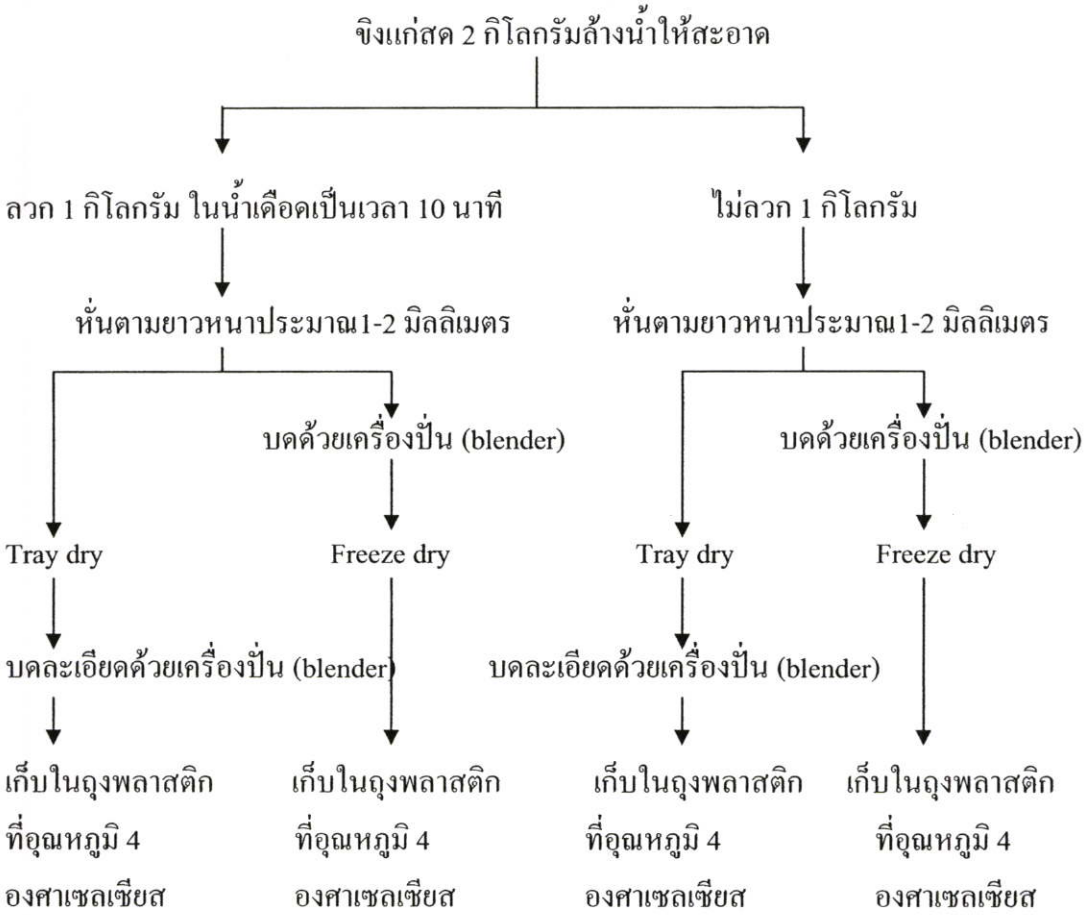
3.5.2 ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการลวกและวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของขิงแห้ง

เตรียมตัวอย่างขิงผง โดยศึกษาสภาวะการลวกและวิธีการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดและตู้อบลมร้อนแบบถาด มีสภาวะการทดลอง 4 สภาวะ ดังนี้

1. ลวกขิงและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด
2. ลวกขิงและทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด
3. ไม่ลวกขิงและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

4. ไม่ลวกขิงและทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตขิงผง

หมายเหตุ : สภาวะของการทำแห้ง

1) Tray dry ทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง หรือจนได้ความชื้นประมาณร้อยละ 10
2) Freeze dry นำขิงแก่สดไปบดแล้วนำไปแช่แข็งที่ -16 องศาเซลเซียส นำไป freeze – dried ที่ อุณหภูมิ -44 องศาเซลเซียส ความดัน 0.067 มิลลิบาร์ เวลา 16 ชั่วโมง หรือจนได้ความชื้นประมาณร้อยละ 10

นำขิงตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์ ดังนี้

3.5.2.1 ความชื้น (AOAC.2000) และปริมาณผลผลิต

3.5.2.2 สีใช้เครื่อง KONICA MINOLTA CR 400

3.5.2.3 ปริมาณของ 6-gingerol ทำการทดลองตามข้อ 3.5.1.2 โดยใช้ตัวอย่างขิง 0.2 กรัมต่อเมธานอล 20 มิลลิลิตร

3.5.2.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

เตรียมสารสกัดจากขิงโดยนำตัวอย่างขิงแช่ในเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนของตัวอย่างขิงต่อตัวทำละลาย 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) สกัดโดยใช้วิธีการเขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 24 ชั่วโมง กรองสารสกัดผ่านกระดาษกรอง จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เก็บสารสกัดเหลวไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ ก่อนการนำตัวอย่างสารสกัดมาวิเคราะห์ได้ทำการเจือจางตัวอย่างสารสกัดโดย ตัวอย่างสารสกัด 0.1 กรัม ละลายในเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายปฏิกิริยาโดยปิเปตสารละลายต่างๆ ต่อไปนี้ใส่ในหลอดทดลองดังนี้

1. Sample ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร สารละลายเอธานอล 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5.3 มิลลิลิตร และสารละลาย DPPH (0.8 มิลลิโมลาร์ ในเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
2. Sample blank ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร และสารละลายเอธานอล 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
3. Control สารละลายเอธานอล 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5.3 มิลลิลิตรและสารละลาย DPPH (0.8 มิลลิโมลาร์ ในเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

ก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสงให้ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (จันทร์เพ็ญ, 2549)

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ(\%)} = \frac{[A_{control} - (A_{sample} - A_{sample\ bank})] \times 100}{A_{control}}$$

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ Sample

$A_{sample\ blank}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ Sample blank

$A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ Control

ในการศึกษาทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.5.3 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพขิงแห้ง

ทำการเตรียมตัวอย่างขิงผง เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพขิงแห้ง โดยนำขิงแก่สด 3 กิโลกรัม ล้างให้สะอาด หั่นตามยาวหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 3 ส่วน นำไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จนได้ความชื้นร้อยละ 10 แล้วบดละเอียดด้วยเครื่องปั่น (blender) เก็บในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำขิงตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อที่ 3.5.2.1-3.5.2.4

3.5.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design ;CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple range Testใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาคุณภาพของขิงผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวกก่อนทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (freeze dry) และตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dry) และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ต่อคุณภาพขิงผง โดยจะวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH ปริมาณผลผลิต (%yield) และลักษณะทางกายภาพของขิงผงได้แก่ ความชื้นและสี

4.1 การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol ในขิงสด

ในการวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol ได้ทำการเตรียมกราฟมาตรฐานจากสารมาตรฐาน 6-gingerol ได้กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรง ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ y = 1.0904x - 0.0963 และมีค่า r^2 = 0.9993 (ภาคผนวก ก2)

ขิงสดที่นำมาวิเคราะห์ได้จากการสุ่มซื้อขิงสดในตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี โดยสุ่มตัวอย่างทั้งในรูปขิงอ่อนและขิงแก่ จากการทดลองพบว่าในขิงอ่อนสดและขิงแก่สดมีปริมาณ 6-gingerol เฉลี่ย 1.09 และ 4.29 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงให้ว่าขิงสดทั้ง 4 ชุดตัวอย่าง ไม่ว่าจะเป็นขิงอ่อนสดหรือขิงแก่สดมีปริมาณของ 6-gingerol แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05)

ในเหง้าขิงทั่วไปจะมี oil cells เป็นแหล่งเก็บสะสมน้ำมันชัน (oleoresin) ในน้ำมันชันประกอบด้วยสารสำคัญคือ gingerol เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ 6-gingerol ในขิงอ่อนจะมีปริมาณที่ต่ำกว่าขิงแก่ เนื่องจากในขิงอ่อนมีปริมาณ oil cell น้อยกว่าขิงแก่จึงทำให้ปริมาณ 6-gingerol น้อยกว่าเช่นกัน ตามลักษณะพฤษศาสตร์ของเหง้าขิงเซลล์บริเวณที่ติดกับเปลือกขิงมีปริมาณ oil cells อยู่ค่อนข้างสูงซึ่งในขิงแก่มีบริเวณที่เป็นเปลือกมากกว่าขิงอ่อน (ถนอมศรี, 2538)

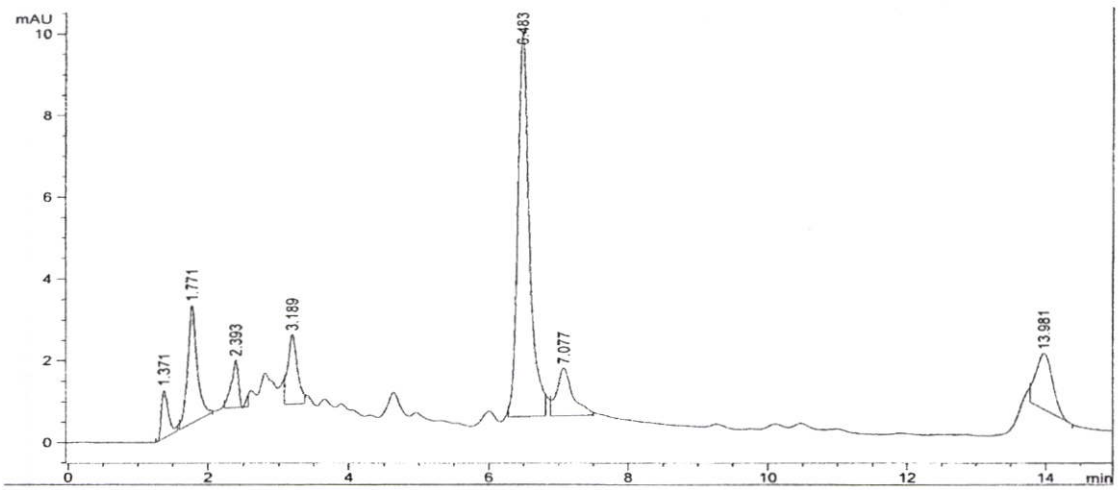
ด้วยเหตุนี้ในการทดลองการแปรรูปขิงผู้ทดลองในงานวิจัยนี้ไม่ปอกเปลือกขิงเพราะการปอกเปลือกอาจทำลาย oil cells นอกจากนี้การปอกเปลือกอาจทำให้เนื้อขิงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล อันเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่มีอยู่ในเนื้อขิง ซึ่งสารประกอบโพลีฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชเมื่อสัมผัสกับอากาศและเอนไซม์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน สารฟีนอลถูกออกซิไดส์ให้เป็นสารควิโนน (นิธิยา, 2545) จึงทำให้ขิงที่ปอกเปลือกมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลง

ตารางที่ 4.1 ความชื้นและปริมาณ 6-gingerol ในขิงสดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี

แหล่งตัวอย่างที่	ความชื้น (ร้อยละ)[ns]	ปริมาณ 6-gingerol (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)[ns]
ขิงอ่อน		
1	98.32±0.56	1.13±0.18
2	98.53±0.68	1.05±0.27
3	98.08±0.37	1.10±0.13
4	98.10±0.16	1.09±0.21
เฉลี่ย	98.26±0.21	1.09±0.03
ขิงแก่		
1	90.80±0.35	4.29±0.23
2	90.22±0.41	4.41±0.16
3	90.90±0.45	4.35±0.32
4	90.50±0.16	4.11±0.29
เฉลี่ย	90.61±0.31	4.29±0.13

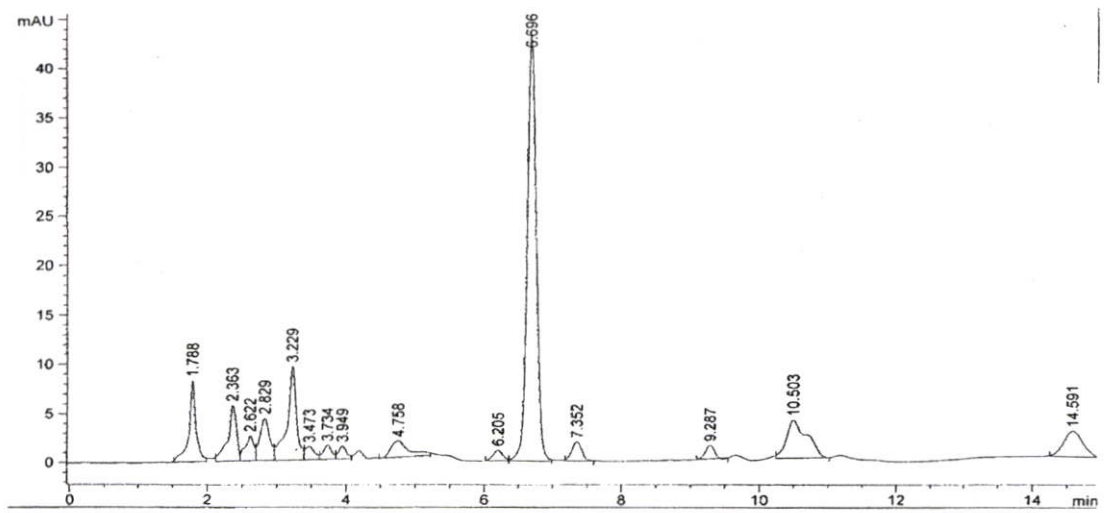
หมายเหตุ : [ns] หมายถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

Balladin และคณะ (1995) ได้ศึกษาปริมาณ 6-gingerol ในขิงสด ขิงตากแห้งและขิงตากแห้งไปกลั่นด้วยไอน้ำ โดยใช้เวลาในการตากแห้งมากกว่า 3 วัน โดยขิงตากแห้งมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 10.2 ในการวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol ใช้ HPLC คอลัมน์ Ultrasphere ODS RP-18 (250 mm x 4.6 mm , particle size 5 μm) ใช้เมธานอล (70%) ต่อน้ำ (30%) เป็นเฟสเคลื่อนที่โดยมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าในขิงแก่สด ขิงตากแห้งและขิงตากแห้งไปกลั่นด้วยไอน้ำ มีปริมาณ 6-gingerol เท่ากับ 32.4 16.3 และ 35.3 มิลลิกรัมกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบขิงแก่สดจากแหล่งตัวอย่างดังตารางที่ 4.1 พบว่ามีปริมาณ 6-gingerol ที่พบมากกว่าปริมาณ 6-gingerol ในขิงแก่สดจากการทดลองของ Balladin และคณะ (1995) อาจเกิดเนื่องจากหลายๆ ปัจจัย เช่น พันธุ์ขิง ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว สภาวะในการปลูก ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจริญเติบโต ชนิดของดินที่ใช้ปลูก เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อปริมาณ 6-gingerol ในขิง



รูปที่ 4.1 โครมาโตแกรมของขิงอ่อนสด

จากโครมาโตแกรมของขิงอ่อนสดและขิงแก่สดดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ในการวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol โดยใช้ High performance liquid chromatography ใช้คอลัมน์ C18 ใช้เมธานอลเกรด HPLC (70%) ต่อน้ำ (30%) เป็นเฟสเคลื่อนที่โดยมีอัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้ UV detector วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 282 นาโนเมตร (Balladin *et al.*, 1998) พบว่า 6-gingerol ในขิงอ่อนและขิงแก่มี retention time อยู่ในช่วง 6.4-6.8 นาที และในขิงแก่คาดว่ามีจำนวนชนิดสารต่างๆ มากกว่าขิงอ่อนโดยดูจากจำนวน peak ที่เกิดขึ้นบนโครมาโตแกรมของขิงอ่อนสดและขิงแกสดในรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของขิงแก่สด

4.2 ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการลวกและวิธีการทำแห้งต่อคุณภาพของขิงแห้ง

เนื่องจากการทดลองศึกษาวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol ในขิงสด พบว่าขิงแก่มีปริมาณ 6-gingerol มากกว่าขิงอ่อนในการทดลอง จึงใช้ขิงแก่เป็นวัตถุดิบในการทำขิงแห้ง

4.2.1 ความชื้นและปริมาณผลผลิต

จากการวิเคราะห์ความชื้นและปริมาณผลผลิต (% yield) พบว่าความชื้นและปริมาณผลผลิตของขิงทั้งผ่านการลวกและไม่ผ่านการลวกก่อนทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยความชื้นของขิงแห้งเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 10.31 และปริมาณผลผลิตที่เตรียมได้อยู่ในช่วงร้อยละ 10-11 โดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 10.46 ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความชื้นและปริมาณผลผลิต (%yield) ของตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

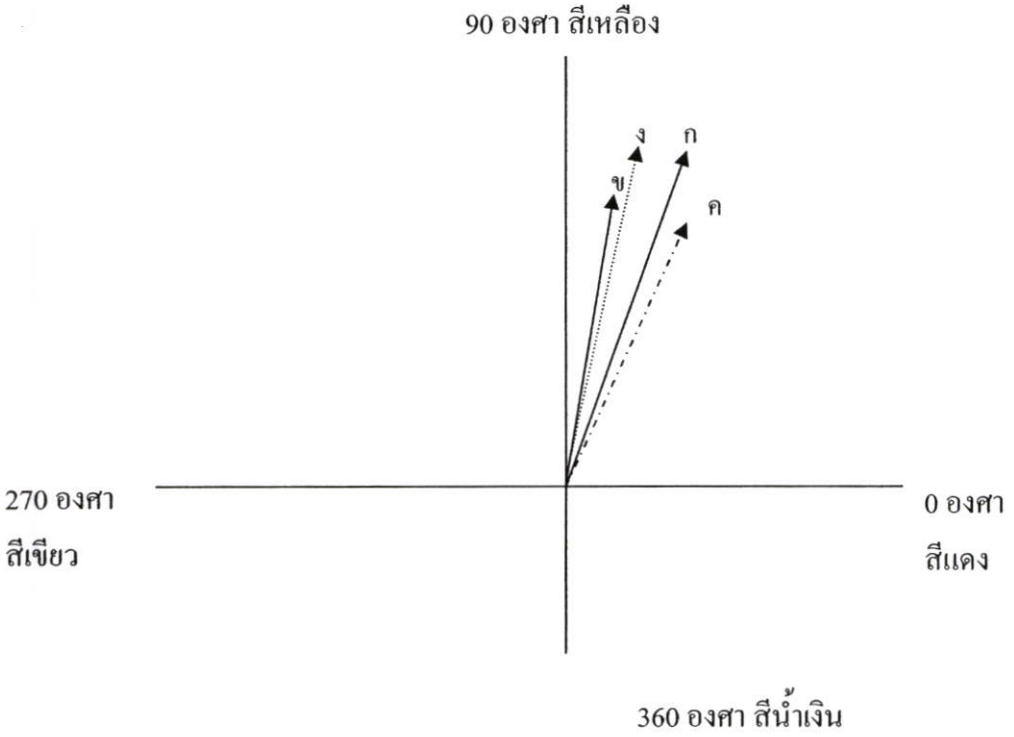
ตัวอย่าง	เครื่องทำแห้ง	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)^{ns}
ขิงสด	ตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C)	8	10.31±0.02	10.43±0.06
	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	16	10.37±0.03	10.48±0.03
ขิงลวก	ตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C)	8	10.01±0.62	10.42±0.04
	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	16	10.56±0.45	10.50±0.05

หมายเหตุ : ^{ns} แสดงถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.2.2 สี

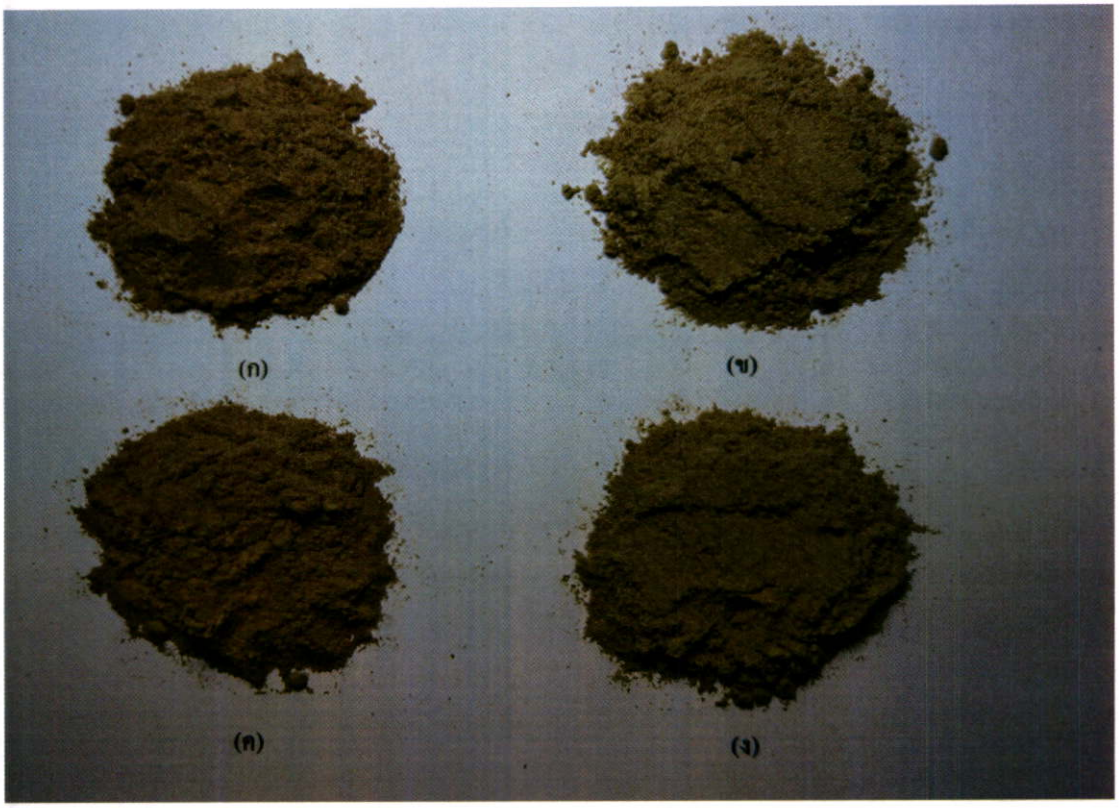
การวิเคราะห์ความแตกต่างของสีในขิงผงจะใช้ระบบ L*,a*,b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า +L* แสดงถึงสีขาว จนไปถึง –L* แสดงถึงสีดำ แกน a*จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว (-a*) ไปจนถึงแดง (+a*) ส่วนแกน b* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน (-b*) ไปเหลือง (+b*) และค่า Hue angle เป็นค่า arctan(b*/ a*) จากผลการทดลองตารางที่ 4.4 ตัวอย่างขิงผงที่ได้จากการทดลองมีสีที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดมีค่าของ L* เป็นบวกต่ำที่สุด a* เป็นบวกสูงที่สุด ค่าของ b* เป็นบวกและ ค่า Hue angle ต่ำที่สุด ทำให้ตัวอย่างขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดมีความเป็นสีแดงมากกว่า (จากรูปที่ 4.3) เปรียบเทียบกับตัวอย่างในการทดลอง แสดงว่า ตัวอย่างขิงลวกทำแห้งด้วย

ตู้อบลมร้อนแบบถาด มีลักษณะที่มีสีคล้ำและมีสีเหลืองปนน้ำตาลที่เข้มกว่าตัวอย่างขิงผงอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการสังเกตสีของขิงผงจากการทดลองในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ค่า hue angle (องศา) ของตัวอย่างขิงสดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ก) ขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ข) ขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ค) ขิงลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ง)

จากการวิเคราะห์ผลการวัดสีจะเห็นได้ว่ากระบวนการทำแห้งที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นการลวกหรือการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดมีผลต่อสีของขิงแห้งโดยจะทำให้ตัวอย่างขิงแห้งเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล การลวกอาจจะช่วยไม่ให้เกิด enzymatic browning แต่การลวกในอุณหภูมิน้ำเดือดหรือการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดทำให้เกิด non-enzymatic browning ซึ่งขิงมีองค์ประกอบของวิตามินซีเมื่อโดนกระตุ้นด้วยความร้อนหรืออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดหรือการสัมผัสออกซิเจน ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของวิตามินซีเป็นปฏิกิริยาสีน้ำตาลประเภทหนึ่ง (อมรรัตน์และลัดดา, 2545) จึงทำให้ตัวอย่างขิงที่ผ่านการลวกหรือทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลหรือเป็นสีเหลืองปนสีน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยตัวอย่างขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดจะมีสีน้ำตาลหรือสีแดงอยู่น้อยกว่าเนื่องจากตัวอย่างขิงไม่ได้ผ่านความร้อน



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างขิงสดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ก) ขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ข) ขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (ค) ขิงลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ง)

ตารางที่ 4.3 ค่าสี (L*,a*,b*) ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องระเหิดแบบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

ตัวอย่าง	เครื่องทำแห้ง	L*	a*	b*	Hue angle (tan^{-1} b*/ a*)
ขิงสด	ตู้อบลมร้อนแบบถาด(50°C)	74.4^{b}±0.01	3.2^{a}±0.08	26.3^{a}±0.09	83.06
	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	79.4^{a}±0.35	1.3^{c}±0.24	24.5^{a}±0.88	86.96
ขิงลวก	ตู้อบลมร้อนแบบถาด(50°C)	65.8^{c}±1.59	5.4^{b}±0.35	25.4^{a}±0.64	78.00
	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	76.5^{b}±5.51	2.2^{d}±0.02	24.9^{a}±2.41	84.95

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากตัวอย่างขิงแห้ง

การวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากตัวอย่างขิงที่ได้จากการแปรรูปขิงแก่สดเป็นผลิตภัณฑ์ขิงผง จากกรรมวิธีการแปรรูปมา 4 ตัวอย่างคือ ขิงสดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C) ขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด ขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C) และขิงลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

4.2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณ6-gingerol ในตัวอย่างขิงผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณ 6-gingerol (ตารางที่ 4.4) พบว่าขิงสดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และเครื่องทำแห้งแบบระเหิด มีปริมาณ 6-gingerol แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญกับปริมาณ 6-gingerol ที่มีในตัวอย่างควบคุม (ขิงสด)

สำหรับขั้นตอนการลวกขิงก่อนนำมาทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด พบว่าการลวกทำให้ปริมาณ 6-gingerol ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) อาจเป็นไปได้ที่การลวกขิงด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ก่อนการทำแห้ง ทำให้ 6-gingerol เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติของน้ำมันชัน (oleoresin) ในขิงสดที่ผ่านการเก็บเกี่ยวใหม่ๆ มี gingerol เป็นองค์ประกอบหลักจะไม่มีองค์ประกอบของ shogaol และzingerone อยู่เลย แต่เมื่อใดที่นำขิงสดมาผ่านการแปรรูปด้วยความร้อนหรือเก็บไว้เป็นระยะเวลายาวนานจะทำให้ gingerol เปลี่ยนเป็น shogaol โดยกระบวนการ dehydration หรือเปลี่ยนเป็น zingerone ด้วยปฏิกิริยา retro-aldol (Balladin *et al.*,1997) ดังนั้นการลวกขิงด้วยน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ 6-gingerol เป็น 6-shogaol และ 6-hexanal ดังรูปที่ 2.2 จึงทำให้ปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและขิงลวกทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

จากการทดลองยังได้ศึกษาปริมาณ 6-gingerol ในขิงผงที่ได้จากท้องตลาด (Mccormick) พบว่าขิงผงจากการทดลองทุกสภาวะการทำแห้งมีปริมาณ 6-gingerol สูงกว่าขิงผงที่ได้จากท้องตลาด ดังตารางที่ 4.4 ทั้งนี้เนื่องจากขิงผงจากการทดลองใช้เวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่นานก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์จึงทำให้การสูญเสียเกิดขึ้นน้อยกว่าขิงผงที่ได้จากท้องตลาดซึ่งอาจผลิตและถูกเก็บรักษามาแล้วระยะเวลาหนึ่ง หรือวัตถุดิบอาจเป็นสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.4 ปริมาณ 6-gingerol และร้อยละของการลดลงของปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

ตัวอย่าง	เครื่องทำแห้ง	ปริมาณ 6-gingerol (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	การลดลงของปริมาณ 6-gingerol (ร้อยละ)
ขิงสด	ตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C)	3.74^{a}±0.95	5.92
	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	3.80^{a}±0.16	4.41
ขิงลวก	ตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C)	3.11^{b}±0.44	21.67
	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	3.26^{b}±0.04	17.89
ขิงสด(control)		3.97^{a}±0.07	-
ground ginger (Mccormick)		2.03^{c}±0.33	-

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ซึ่งเวลาการเก็บรักษาเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นสาเหตุทำให้ขิงผงมีปริมาณ 6-gingerol ที่แตกต่างกันได้ ซึ่งจากการศึกษาของ Zhang และคณะ (1994) พบว่าปริมาณของ 6-gingerol หลังการเก็บรักษาขิงผงที่อุณหภูมิห้องและ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 2 4 8 12 และ 16 สัปดาห์ พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีการสูญเสียปริมาณของ 6-gingerol เร็วกว่าการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยขิงผงเริ่มมีการสูญเสียในสัปดาห์ที่ 2 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องและสัปดาห์ที่ 8 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

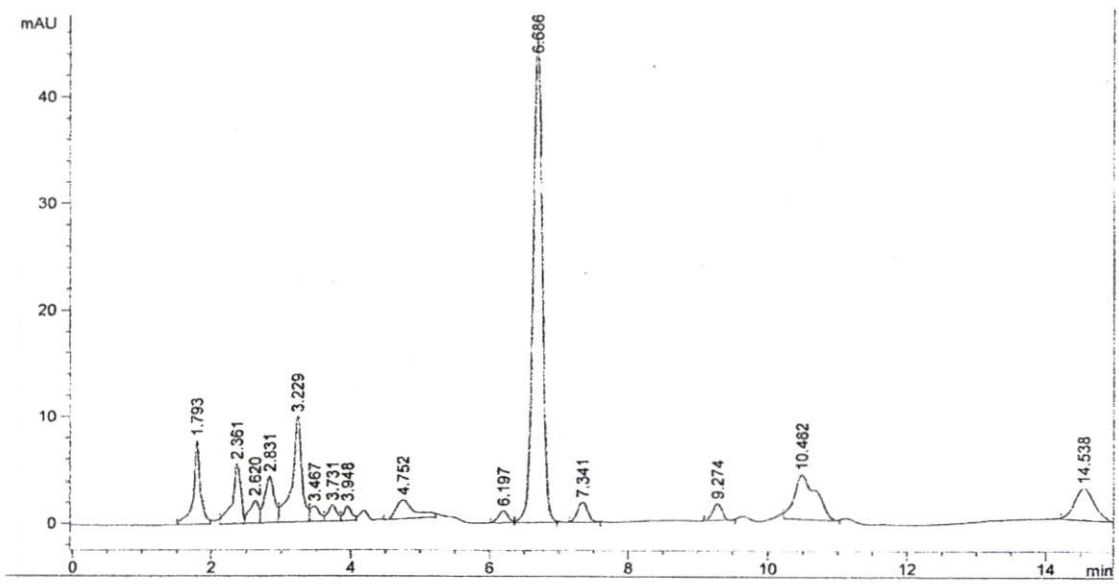
การลวกมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ในผัก และผลไม้บางชนิดก่อนการแปรรูปหรือเพื่อป้องกันการทำงานของเอนไซม์ในระหว่างการเก็บรักษา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมวัตถุดิบก่อนจะเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Zhang และคณะ (1994) พบว่าการลวกขิงสดหั่นตามยาวเป็นเวลา 3 นาที ไม่ทำให้ปริมาณ 6-gingerol สูญเสียไปเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ 6-gingerol ในขิงสด

จากการทดลองผู้ทำวิจัยได้ทำการลวกขิงสด 10 นาที เนื่องจากการลวกขิงสดจะลวกทั้งเหง้าจะไม่นำขิงสดมาหั่นตามยาวก่อน ด้วยเหตุนี้ต้องใช้เวลาในการลวกเพียงพอต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (Mazaud *et al.*, 2002)

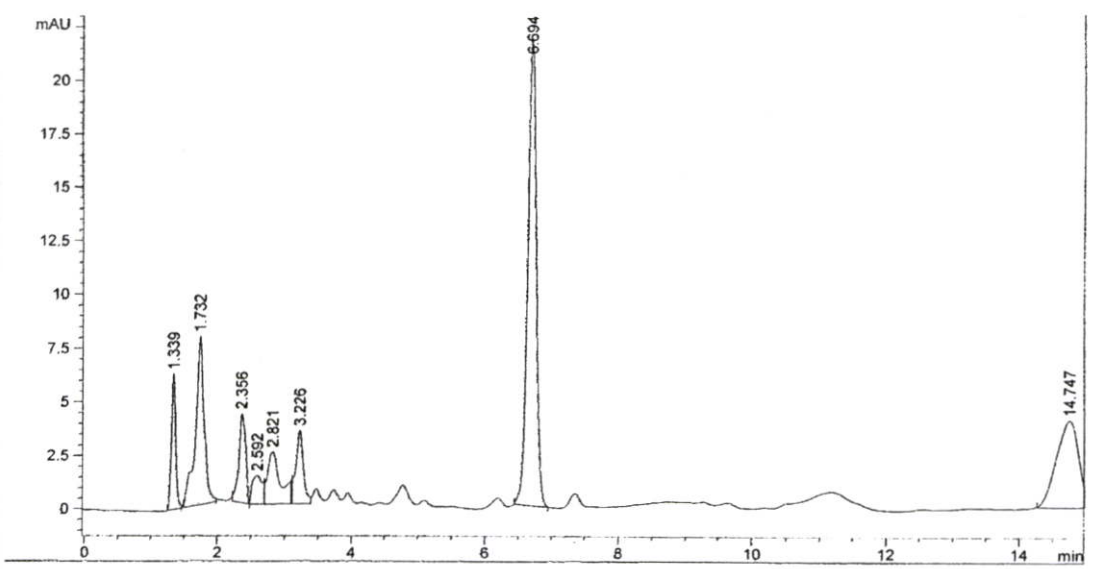
การวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสีย 6-gingerol โดยการนำปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับปริมาณ 6-gingerol ในขิงสด (control) ดังตารางที่ 4.4 พบว่าขิงสดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C) และเครื่องทำแห้งแบบระเหิด มีปริมาณการสูญเสีย 6-gingerol ร้อยละ 5.92 และ 4.41 ตามลำดับ ซึ่งมีการสูญเสียน้อยกว่าขิงลวกที่ทำแห้งด้วยวิธีเดียวกัน

อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดมีปริมาณการสูญเสีย 6-gingerol มากที่สุดเปรียบเทียบกับตัวอย่างในการทดลอง โดยสูญเสียไปร้อยละ 21.67

จากโครมาโตแกรมของขิงผงจากการทดลองและขิงผงสำเร็จรูปจากท้องตลาดซึ่งนำเข้าจากประเทศสหรัฐอเมริกา (Mccormick) ดังรูปที่ 4.4 สังเกตพบว่าในขิงผงจากการทดลองคาดว่ามีจำนวนชนิดสารต่างๆ มากกว่าขิงผงจากท้องตลาดดูจากจำนวน peak ที่เกิดขึ้นบนโครมาโตแกรมของขิงผงจากการทดลองและจากท้องตลาด (รูปที่ 4.4)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 โครมาโตแกรมของขิงสดทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด (ก) และขิงผงจากท้องตลาด (Mccormick) (ข)

4.2.3.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากตัวอย่างขิงผง

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากขิงในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด พบว่าขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง มีประสิทธภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยที่สุดโดยมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 84.83 ซึ่งน้อยกว่าการนำขิงสดมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดและขิงสดทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่สภาวะเดียวกัน สาเหตุเนื่องจากปริมาณ 6-gingerol ในขิงอาจจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีผลตอบสนองต่อการทำปฏิกิริยาต่อสารอนุมูลอิสระ DPPH ได้น้อยลง โดยทั่วไป gingerol ที่พบในขิงเป็นสารที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มสารประกอบที่พบในขิงสด แต่สารตัวนี้จะเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็น shogaol และ zingerone ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อนหรือจัดเก็บในสภาวะที่ไม่เหมาะสม (Kikuzaki and Nakatami, 1993) เนื่องจากประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งและจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล(-OH) ของสารต้านอนุมูลอิสระ ถ้ามีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิล(-OH) มากจะแสดงสมบัติต้านออกซิเดชันที่แข็งแรง จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของ gingerol เป็นสารประกอบ shogaol ซึ่งเป็นการเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ตำแหน่ง C5 เป็นพันธะคู่อยู่ระหว่าง C4-C5 ทำให้มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระลดลง (Jalad *et al.*, 2004) ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้เมื่อปริมาณ 6-gingerol ลดลงทำให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระลดลงด้วย อย่างไรก็ตามสารสกัดที่ได้จากขิงถือว่าเป็นสารสกัดจากธรรมชาติที่ทนต่อความร้อนได้สูงอีกชนิดหนึ่ง (Hamama and Nawar, 1991)

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิงในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

ตัวอย่าง	เครื่องทำแห้ง	ปริมาณสารสกัด (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ร้อยละ)
ขิงสด	ตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C)	9.81	88.26^{a}±0.48
	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	9.94	89.89^{a}±1.63
ขิงลวก	ตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 °C)	9.66	84.83^{b}±0.39
	เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	9.73	86.74^{ab}±0.21

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.3 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพของขิงแห้ง

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำแห้งขิงสดด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดได้เลือกระดับอุณหภูมิการทำแห้งที่ 50 60 และ70 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการลวกขิงก่อนนำมาทำแห้งและให้มีความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 10

4.3.1 ความชื้นและปริมาณผลผลิต

จากการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตและลักษณะทางกายภาพของขิงผงโดยการหาความชื้นและสี พบว่าความชื้นและปริมาณผลผลิตของขิงที่ผ่านการทำแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ มีปริมาณความชื้นและปริมาณผลผลิตของแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยความชื้นของขิงแห้งเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 10.39 และปริมาณผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 8.58 ในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่ระดับอุณหภูมิ 50 60 และ70 องศาเซลเซียส พบว่าใช้เวลาในการทำแห้งที่แตกต่างกันคือ 8 6 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ เพื่อให้ได้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 10 ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความชื้นและปริมาณผลผลิต (%yield) ของตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

อุณหภูมิในการอบ	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)^{ns}
50 องศาเซลเซียส	8	10.44±0.43	8.53±0.01
60 องศาเซลเซียส	6	10.48±0.62	8.76±0.01
70 องศาเซลเซียส	4	10.26±0.11	8.44±0.15

หมายเหตุ : ^{ns} แสดงถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

4.3.2 สี

จากการวัดสี (L*,a*,b*) ในตัวอย่างขิงผงทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ70 องศาเซลเซียสด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด พบว่าค่า L*-a*-b* มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) และค่า Hue angle ไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่4.7 จากการสังเกตขิงผงจะมีสีเหลืองนวลเหมือนกันทั้ง 3 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้นในการทดลองไม่ได้ทำให้สีของขิงแห้งมีการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.7 ค่าสี (L*,a*,b*) ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

อุณหภูมิในการอบ	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	Hue angle ($\tan^{-1}$ b*/ a*)
50 องศาเซลเซียส	75.98±0.79	1.38±0.33	22.01±0.16	86.41
60 องศาเซลเซียส	75.41±1.21	1.30±0.43	21.43±0.45	86.53
70 องศาเซลเซียส	76.81±0.47	1.01±0.19	21.97±0.34	87.37

หมายเหตุ : ^{ns} แสดงถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณ6-gingerol และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

4.3.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณ6-gingerol ในตัวอย่างขิงผง

การวิเคราะห์ปริมาณ6-gingerol จากตัวอย่างขิงที่ได้จากการแปรรูปขิงแก่สดเป็นผลิตภัณฑ์ขิงผงจากการทำแห้งขิงที่อุณหภูมิต่างกันคือ 50 60 และ70 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ70 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้ปริมาณ 6-gingerol แตกต่างไปจากปริมาณ 6-gingerol ในขิงสดมากนัก ในทางสถิติการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ70 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณ 6-gingerol มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05) อย่างไรก็ตามปริมาณ 6-gingerol มีแนวโน้มลดลงโดยปริมาณ 6-gingerol ที่พบเท่ากับ 3.89 3.71 และ 3.67 กรัมต่อ100กรัมน้ำหนักแห้ง ของตัวอย่างที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการสูญเสียเท่ากับ 6.22 9.07 และ10.05 ตามลำดับ

การใช้ความร้อนที่ไม่สูงมากนักในการอบแห้งไม่ทำให้ gingerol เปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็น shogaol และ zingerone จากรายงานของ Mansour และ Khalil (2000) พบว่าการลดลงของปริมาณ gingerol ในสารสกัดจากขิงผงจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง โดย gingerol ในสารสกัดจากขิงที่เป็นสารในกลุ่มฟีนอลิคคีโตนจะไม่ถูกทำลายถ้าใช้อุณหภูมิในการทำแห้งไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะลดลงร้อยละ 25

ตารางที่ 4.8 ปริมาณ 6-gingerol และร้อยละของการลดลงของปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

อุณหภูมิในการอบ	**ปริมาณ 6-gingerol** (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)^{ns}	**การลดลงของปริมาณ 6gingerol** (ร้อยละ)
50 องศาเซลเซียส	3.89±0.34	6.22
60 องศาเซลเซียส	3.71±0.11	9.07
70 องศาเซลเซียส	3.67±0.18	10.05
ขิงสด(control)	4.08±0.19	-

หมายเหตุ : ^{ns} แสดงถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิง ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

อุณหภูมิในการอบ	**ปริมาณสารสกัด** (กรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)	**ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH** (ร้อยละ)^{ns}
50 องศาเซลเซียส	10.70	87.59^{a}±0.33
60 องศาเซลเซียส	10.25	87.53^{a}±0.14
70 องศาเซลเซียส	10.95	87.07^{a}±0.62

หมายเหตุ : ^{ns} แสดงถึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.2.3.2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากตัวอย่างขิงผง

จากผลการทดลองความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในตารางที่ 4.9 พบว่าสารสกัดจากขิงตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05) เนื่องจากไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ 6-gingerol จึงทำให้สารสกัดจากตัวอย่างขิงผงยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง โดยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เฉลี่ยร้อยละ 87.40 และปริมาณสารสกัดที่สกัดได้เฉลี่ย 10.63 กรัมต่อ100กรัมน้ำหนักแห้ง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของกระบวนการแปรรูปและอุณหภูมิ (50 60 และ70 องศาเซลเซียส) ในการแปรรูปต่อคุณภาพขิง โดยได้ศึกษาปริมาณ 6-gingerol และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เพื่อเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของขิงผงจากการแปรรูป จากการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ขิงแก่จะมีปริมาณ 6-gingerol สูงกว่าขิงอ่อน เนื่องจากอายุของขิงมีผลต่อปริมาณน้ำมันชันที่อยู่ในขิง ซึ่งในขิงแก่จะมีน้ำมันชันที่มากกว่า และจะมีปริมาณ 6-gingerol ที่มากตามไปด้วย โดยขิงแก่และขิงอ่อนมีปริมาณ 6-gingerol เฉลี่ย 4.29 และ 1.09 กรัมต่อ100กรัมน้ำหนักแห้ง (จากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 4 ตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี)

2. เมื่อนำขิงแก่มาแปรรูปเป็นขิงผงโดยการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 องศาเซลเซียส) และเครื่องทำแห้งแบบระเหิด จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 การลวกขิงที่อุณหภูมิน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ก่อนการทำแห้งทำให้ปริมาณ 6-gingerol ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) การแปรรูปตัวอย่างขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดทำให้ปริมาณ 6-gingerol ลดลงร้อยละ 21.67 แต่การทำแห้งขิงสดด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 องศาเซลเซียส) และการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดทำให้ปริมาณ 6-gingerol ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) (เปรียบเทียบกับปริมาณ 6-gingerol ในขิงสด) ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีผลไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณ 6-gingerol นั่นคือ เมื่อขิงผงมีปริมาณ 6-gingerol ลดลงจะทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงเช่นกัน โดยขิงลวกทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (50 องศาเซลเซียส) มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH คือร้อยละ 84.83 และขิงสดที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH คือร้อยละ 89.89

3. การศึกษาถึงอิทธิพลของระดับอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ในการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดต่อคุณภาพของขิงตัวอย่าง พบว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณ 6-gingerol แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยตัวอย่างทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีปริมาณ 6-gingerol เท่ากับ 3.89 3.71 และ 3.67 กรัมต่อ100กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และการทำแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างกันโดยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 87.40 นั่นคือการทำแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงไม่ทำให้ปริมาณ 6-gingerol สูญเสียไป

บรรณานุกรม

จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์. 2549. ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารคณะบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จิตธนา แจ่มเมฆ สายสนม ประดิษฐวง ทนง ภัครัชพันธุ์ ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์ เนื้อทอง วนานุวัธมาลัยวรรณ อารยะสกุล ศิวาพร ศิวเวชช สมจิต สุรพัฒน์ นภาศรี ไวศยะนันท์ สุคนธ์ชื่น ศรีงาม อรอนงค์ นัยวิกุล วรรณวิบูลย์ กาญจนกุญชร โชคชัย ธีรกุลเกียรติ อนุกูล วัฒนสุขธนะบูลย์ สัจจาอนันตกุล วราภา มหากาญจนกุล สิริ ชัยเสรี และ ปริศนา สุวรรณาภรณ์. 2539. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 164-169.

ถนอมศรี วงศ์รัตนาสถิต. 2538. เอกลักษณ์สมุนไพร. ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญชนา เจนวิถีสุข. 2545. แอนติออกซิแดนท์สารต้านมะเร็งในผักสมุนไพรไทย. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิจศิริ เรืองศรี. 2542. เครื่องเทศ. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 206 หน้า.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพมหานคร. 504 หน้า.

พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล. 2547. ศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระและการตรวจประเมินกิจกรรมการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารจากพืช. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 24:18-35.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. วารสารอาหาร. 32(4): 245-253.

วัลยา เนาวรัตน์วัฒนา และ พัชรี บุญศิริ. 2542. โปรออกซิแดนท์ : อีกโฉมหน้าของแอนติออกซิแดนท์. วารสารวิทยาศาสตร์. 196-198.

สมพร ภูติยานันต์ 2542. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการแพทย์แผนไทยว่าด้วยสมุนไพรกับการแพทย์แผนไทย. ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 3. โครงการพัฒนาตำรา สถาบันการแพทย์ไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 389 หน้า.

เสาวนิตย์ ดาวรัตนชัย. 2545. ขิงแก้อาเจียน. จุลสารข้อมูลสมุนไพร 20: 4-12.

สุนทรี วราอุบล กมลพร ปัญญะภาโส และ เพ็ญศิริ อัศวศิริทรัพย์. 2548. ประสิทธิภาพในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ของชาเขียวและเครื่องเทศบางชนิดในเนื้อหมูบดปรุงสุก. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อมรรัตน์ จงสวัสดิ์วรกูล และ ลัดดา เหมาะสุวรรณ. 2545. การเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาล. วารสารโภชนบำบัด. ปีที่ 13 ฉบับที่ 1.

อรนุช โชคชัยเจริญพร. 2536. ขิง. จุลสารข้อมูลสมุนไพร 10 :16-21.

อรรถพล นุ่มหอม. 2544. รายงานเกณฑ์คุณภาพและวิธีการตรวจวัดคุณภาพวัตถุดิบ "ขิง" เพื่ออุตสาหกรรมเกษตร. เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีการแปรรูป สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย.

AOAC. 2000. Method of the Association of Official Analytical Chemists. 17th ed. Volume 43.

Aruoma, O.I., Spencer, J.P.E., Warren, D., Jenner, P., Butler, J. and Halliwell, B. 1997. Characterization of food antioxidation illustrated using commercial garlic and ginger preparation. *Food Chemistry.* 60: 149-156.

Balladin, D.A., Headley, O., Chang-yen, I., McGaw D.R. 1995. Solar drying of West Indian ginger (*Zingber officinale roscoe*) rhizome using a wire basket dryer. *J. Renewable Energy* 7 : 409-418.

Balladin, D.A., Headley, O., Chang-yen, I., McGaw D.R. 1997. Extraction and evaluation of the main pungent principles of solar dried West Indian ginger (*Zingber officinale roscoe*) rhizome. *J. Renewable Energy* 12 : 125-130.

Balladin, D.A., Headley, O., Chang-yen, I., Mcgaw D.R. 1998. High pressure liquid chromatographic of the main pungent principle of solar dried West Indian ginger(*Zingber officinale roscoe*). *J. Renewable Energy*. Vol 13. No.4, 531-536.

Baranowski, J.D. 1985. High-performance liquid chromatographic separation of pungency components of ginger. *J. Chromatography* 319 : 471-474.

Chen, C.C., Kuo, M.C., Ho, C.T. 1986. Pungent compounds of ginger (*Zingber officinale roscoe*) extracted by liquid carbon dioxide. *J. Agri. Food Chem.* 34 : 477-480.

Francois Mazaud, Alexandra Rottger, Katja Steffel and Larissa D'Aquilio. 2002. GINGER: Post-production management for improved market access for herbs and spices-ginger. *Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO).*

Ganguly, N.K., Medappa, N. and Srivastava, V.K. 2003. Ginger : its role in xenobiotic metabolism. *ICMR BULL.* 33 : 57-63.

Hamana, A.A. And Nawar, W.W. 1991. Thermal decomposition of some phenolic antioxidant. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1063-1069.

He, X.G., Bernart, M.W., Lian, L.Z., LIN, L.Z. 1998. High-performance liquid chromatography-electrospray mass spectrometric analysis of pungent constituents of ginger. *J. Chomatography A.* 796 : 327-334.

Herbert, V., Shaw, S. and Jayatilleke. E. 1996. Vitamin C driven free radical generation from iron. *J. Nutrition.* 126 : 1213S-1220S.

Jalad, S.D., Lantz, R.C., Solyom, A.M., Chen, G.J., Bates, R.B. and Timmermann, B.N. 2004. Fresh organically grown ginger (*Zingber officinale*): composition and effect on LPS-induced PGE_2 production. *Phytochemistry.*65: 1937-1954.

Kikuzaki , H. and Nakatami, N. 1993. Antioxidant effect of some ginger constituent. *J. Food Sci.* 58 : 1407-1410.

Mahoney, J.R. and Graf, E. 1986. Role of alpha-tocopherol, ascorbic acid, critic acid, and EDTA as oxidants in model system. *J. Food Science.* 51(5) : 1293-1296.

Mansour, E. H. and Khalil, A.H. 2000. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their application to ground beef patties. *J. Food Chem.* 69 :135-141.

Noor Azian , M.N., Mustafa Kamal, A.A. and Azlina, M.N. 2004. Changes of structure in ginger during processing . *J. Food Engineering.* 62: 359-364.

Prasad, S.V., Gholap, A.S and Thomas, P. 2000. Estimation in fresh gingers : a new fluorimeteric. *J. Food Comp. Anal.* 13 : 219-225.

Palozza, P., Calviello, G. and Bartoli, G.M. 1995. Pro oxidant activity of beta-carotene under 100% oxygen pressure in rat liver microsomes. *Free Radical Biology and Medicine.* 19(6): 887-892.

Rehman, Z.U., Salariya, A.M. and Habib , F. 2003. Antioxidant activity of ginger extract in sunflower oil. *J. Sci. Food Agric.* 83 : 624-629.

Shobana, S. and Naidu, A. 2000. Antioxidant activity of selected Indian spices. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty acid.* 62 : 107-110.

Surh, Y.J., Lee, E. and Lee, J.M. 1998. Chemoprotective properties of some pungent ingredient present in red pepper and ginger. *Mutation Res.* 402 : 259-267.

Yamahara, J., Huang, Q., Li, Y., Xu, L. and Fugimura, H. 1990. Gastriointestinal motility enhancing effect of ginger and its active constituments. *Chem. Pharm. Bull.* 38: 430-431.

Yen, G.C. and Hung, C.Y. 2000. Effects of alkaline and heat treatment on antioxidant activity and total phenolics of extracts from Hsian-tsao(*Mesona procumbens Hemsl.*). *Food Res. Int.* 33 : 487-492.

Yonei, Y., Ohinata, H. 1995. Extraction of ginger flavor with liquid or supercritical carbon dioxide. *J. Supercritical Fluids.* 8 : 156-161.

Zancan, K.C., Marques, M.O.M., Petenate, A.J. and Meireles, M.A.A. 2002. Extraction of ginger (*Zingber officinale roscoe*) oleoresin with CO_2 and co-solvents : a study of the antioxidant action of the extracts. *J. Supercritical Fluids.* 24 : 57-76.

Zhang, X., Iwaoka, W.T., Huang, A.S., Nakamoto, S.T., Wong, R. 1994. Gingerol decreases after processing and storage of ginger. *J. Food Science.* 59 : 1338-1343.

ภาคผนวก ก

ก1. วิธีการหาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.1.1 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 100-102 องศาเซลเซียส

1.1.2 ถ้วยใส่ตัวอย่าง (moisture can) ทำด้วย นิเกล หรือเหล็กปลอดสนิม หรืออะลูมิเนียม

1.1.3 desiccator บรรจุ ซิลิกา เจล

1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ทำแห้ง moisture can พร้อมฝาในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100-102 องศาเซลเซียส เก็บไว้ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก moisture can พร้อมฝา ด้วยเครื่องชั่งละเอียด

1.2.2 กวนผสมหรือบดตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตักตัวอย่างใส่ moisture can ประมาณ 3.000-5.000 กรัม แล้วปิดฝา นำไปชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็ว พร้อมฝา ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งละเอียด

1.2.3 นำ moisture can (เปิดฝา)ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100-102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

1.2.4 นำ moisture can (ปิดฝา) ออกจากตู้อบลมร้อน และทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator เมื่อเย็นแล้วนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด

1.3 การคำนวณ

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

ก2. การเตรียมกราฟมาตรฐานของ 6-gingerol

2.1 อุปกรณ์ สารเคมี และ เครื่องมือ

2.1.1 เครื่องแก้ว

2.1.2 Standard 6-gingerol

2.1.3 เมธานอล เกรด HPLC

2.1.4 0.2-μm nylon syringe filter

2.1.5 เครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC)

2.1.6 กระดาษกรองเฟสเคลื่อนที่ (0.45-μm cellulose acetate membrane)

2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานก่อนฉีด HPLC

2.2.1 ละลาย Standard 6-gingerol 5 มิลลิกรัม ลงใน volumetric flask 10 มิลลิลิตร ด้วยเมธานอลและปรับปริมาตร จะได้สารละลาย Standard 6-gingerol ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม (สมการที่1)

2.2.2 นำสารละลาย 500 พีพีเอ็ม มาเจือจางด้วยเมธานอลให้ได้ความเข้มข้น 20, 50, 100, 150, 200, 250 และ 500 พีพีเอ็ม โดยใช้สูตรการคำนวณในสมการที่ 2

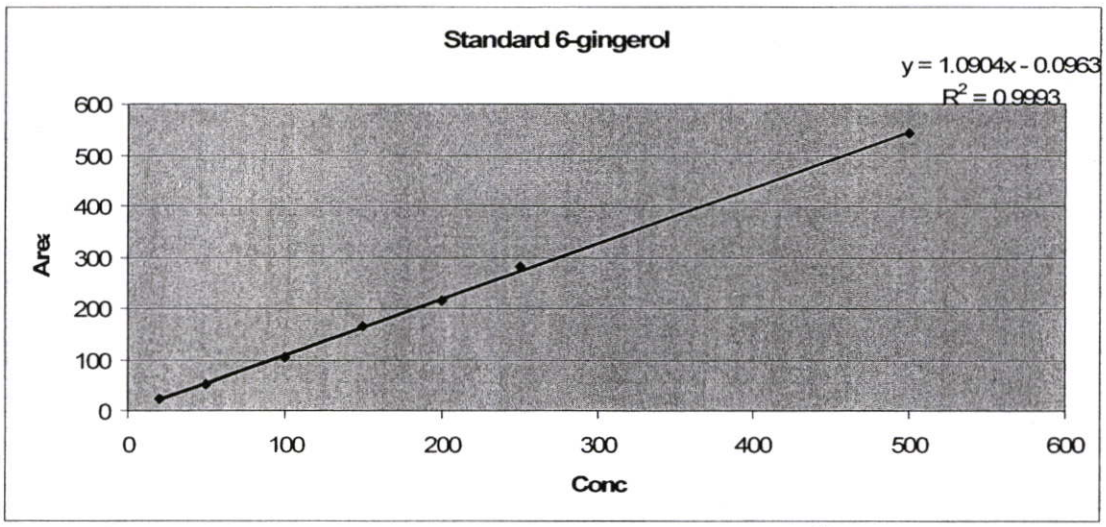
2.3.3 กรองตัวอย่างด้วย 0.2-μm nylon syringe filter ก่อนฉีด HPLC

$$\text{จำนวนส่วนในล้านส่วน(พีพีเอ็ม)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times 10^6}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)}} \qquad \text{(สมการที่ 1)}$$

$$C_1V_1 = C_2V_2 \qquad \text{(สมการที่ 2)}$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย (พีพีเอ็ม)

V คือ ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)



รูปที่ ก1 กราฟมาตรฐานของ 6-gingerol เป็นความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟ (mAU) กับความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)

ตารางที่ ก1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟ (mAU) กับความเข้มข้น (พีพีเอ็ม) ของ Standard 6-gingerol

ความเข้มข้น(พีพีเอ็ม)	พื้นที่ใต้กราฟ (mAU)
20	22.6452
50	52.2737
100	105.1517
150	164.1688
200	215.5763
250	282.5713
500	541.7740

ก3. การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องแก้ว

3.1.2 2,2-diphynyl-1-picryhydrazyl (DPPH)

3.1.3 เอธานอล 40 เปอร์เซ็นต์

3.1.4 เอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์

3.2 การเตรียมสาร DPPH ความเข้มข้น 0.8 มิลลิโมลาร์

ชั่งสาร DPPH 0.0175 กรัม ละลายในตัวทำละลายเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นปรับปริมาตรของสารละลายให้ได้ 50 มิลลิลิตร

3.3 วิธีวิเคราะห์

ก่อนการนำตัวอย่างสารสกัดมาวิเคราะห์ได้ทำการเจือจางตัวอย่างสารสกัดโดย ตัวอย่างสารสกัด 0.1 กรัม ละลายในเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายปฏิกิริยาโดยปิเปตสารละลายต่างๆ ต่อไปนี้ใส่ในหลอดทดลองดังนี้

1. Sample ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร สารละลายเอธานอล 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5.3 มิลลิลิตร และสารละลาย DPPH (0.8 มิลลิโมลาร์ ในเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
2. Sample blank ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร และสารละลายเอธานอล 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
3. Control ปิเปตสารละลายเอธานอล 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5.3 มิลลิลิตรและสารละลาย DPPH (0.8 มิลลิโมลาร์ ในเอธานอล 95 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

ก่อนวัดค่าการดูดกลืนแสงให้ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (จันทร์เพ็ญ, 2549)

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ(\%)} = \frac{[A_{control} - (A_{sample} - A_{sample\ bank})] \times 100}{A_{control}}$$

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ Sample

$A_{sample\ blank}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ Sample blank

$A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ Control

ในการศึกษาทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความชื้นในขิงอ่อนสดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.736	3	0.245	1.822	0.283
Within Groups	0.538	4	0.135		
Total	1.274	7			

ตารางที่ ข2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของความชื้นในขิงแก่สดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ. ปทุมธานี

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.565	3	0.188	0.774	0.566
Within Groups	0.973	4	0.243		
Total	1.538	7			

ตารางที่ ข3 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ 6-gingerol ในขิงอ่อนสดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.007	3	0.002	0.161	0.917
Within Groups	0.055	4	0.014		
Total	0.062	7			

ตารางที่ ข4 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ 6-gingerol ในขิงแก่สดจากการสุ่มตัวอย่างจากตลาดไท รังสิต จ.ปทุมธานี

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.101	3	0.034	1.437	0.357
Within Groups	0.094	4	0.023		
Total	0.194	7			

ตารางที่ ข5 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นของตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.331	3	0.110	0.754	0.575
Within Groups	0.584	4	0.146		
Total	0.915	7			

ตารางที่ ข6 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณผลผลิต (%yield) ของตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.009	3	0.003	1.570	0.328
Within Groups	0.008	4	0.002		
Total	0.017	7			

ตารางที่ ข7 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี L* ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	209.589	3	69.863	104.530	0.000
Within Groups	2.673	4	0.668		
Total	212.262	7			

ตารางที่ ข8 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี a* ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18.276	3	6.092	132.184	0.000
Within Groups	0.184	4	0.046		
Total	18.460	7			

ตารางที่ ข9 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสี b* ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.525	3	1.175	0.671	0.613
Within Groups	7.004	4	1.751		
Total	10.529	7			

ตารางที่ ข10 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.077	5	1.015	67.138	0.000
Within Groups	0.091	6	0.015		
Total	5.168	11			

ตารางที่ ข11 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิงในตัวอย่างขิงทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและเครื่องทำแห้งแบบระเหิด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	79.906	4	19.976	9.412	0.015
Within Groups	10.612	5	2.122		
Total	90.518	9			

ตารางที่ ข12 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณความชื้นของตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.055	2	0.027	0.143	0.872
Within Groups	0.576	3	0.192		
Total	0.631	5			

ตารางที่ ข13 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณผลผลิต (%yield) ของตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.105	2	0.053	7.800	0.065
Within Groups	0.020	3	0.007		
Total	0.126	5			

ตารางที่ ข14 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า L* ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.308	2	0.154	1.376	0.301
Within Groups	1.006	9	0.112		
Total	1.314	11			

ตารางที่ ข15 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า a* ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.950	2	1.975	2.584	0.130
Within Groups	6.880	9	0.764		
Total	10.831	11			

ตารางที่ ข16 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของค่า b* ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.855	2	0.428	3.705	0.067
Within Groups	1.039	9	0.115		
Total	1.894	11			

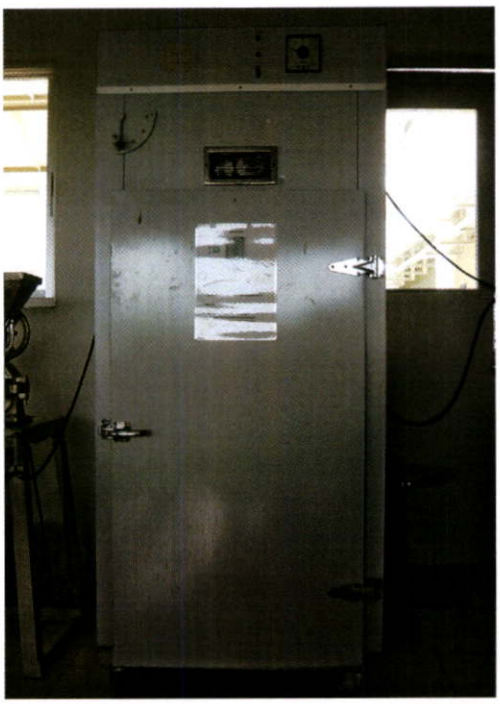
ตารางที่ ข17 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณ 6-gingerol และร้อยละของการสูญเสียปริมาณ 6-gingerol ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.210	3	0.070	1.433	0.358
Within Groups	0.196	4	0.049		
Total	0.406	7			

ตารางที่ ข18 ผลวิเคราะห์ทางสถิติของประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิง ในตัวอย่างขิงทำแห้งที่อุณหภูมิต่างกันด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.636	2	0.318	1.871	0.209
Within Groups	1.529	9	0.170		
Total	2.165	11			

ภาคผนวก ค



(ก)

(ข)

รูปที่ ค1 ตู้อบลมร้อนแบบถาด ด้านหน้าตู้ (ก) ด้านในตู้ (ข)

รูปที่ ค2 เครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC)

รูปที่ ค3 เครื่องทำแห้งแบบระเหิด

ประวัติผู้เขียน

ว่าที่ร้อยตรี วุฒิไกร จันมาศ เกิดวันที่ 7 กรกฎาคม 2525 ที่จังหวัดมหาสารคาม สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการจากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จ. มหาสารคาม ปีการศึกษา 2547 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารในปี พ.ศ. 2548 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2552