



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีระบบเกษตร)

ปริญญญา

เทคโนโลยีระบบเกษตร

เกษตรกลวิธาน

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การศึกษาหาแนวทางการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสมสำหรับจิงแป้น

A Study of Optimum Hot-Air Drying for Sliced Ginger

นามผู้วิจัย

นางสาวชโรธร โพธิ์วังค์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์คณฤดี ใจสุทธิ, ปร.ค.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ยรรดิยา ชูพานิชยานันท์, ปร.ค.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

สืบสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาหาแนวทางการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสมสำหรับขิงแผ่น

A Study of Optimum Hot-Air Drying for Sliced Ginger

โดย

นางสาวชโรธร โพธิ์วงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีระบบเกษตร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชโรธร โพธิ์วงศ์ 2557: การศึกษาหาแนวทางการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสม
สำหรับชิงแป้น ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีระบบเกษตร) สาขา
เทคโนโลยีระบบเกษตร ภาควิชาเกษตรกลวิธาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดลฤดี ใจสุทธิ, ปร.ค. 98 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอบแห้งชิงแป้นที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยวิธีการลวกและการ
แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก หลังจากนั้นนำมาอบแห้งด้วยอากาศร้อน โดยศึกษาผลมีที่ต่อ
जनพลศาสตร์และคุณภาพทั้งด้านปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC), สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ
(DPPH และ ABTS), ค่าสี และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) จากผลการทดลองพบว่า
TPC ของชิงที่ผ่านและไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้นหลังการอบแห้ง ซึ่งชิงที่ผ่านการพรีทรีท
เมนต์มี TPC เพิ่มขึ้นมากกว่าชิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ เนื่องจากการพรีทรีทเมนต์สามารถยับยั้ง
การทำงานของเอนไซม์ ซึ่งเป็นสาเหตุการลดลงของสารประกอบฟีนอลิก การวิเคราะห์สมบัติการ
ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS พบว่าสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับ
TPC กล่าวคือ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของชิงอบแห้งมีค่าสูงกว่าชิงสด โดย
ชิงอบแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมี TPC และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง
ที่สุด กรณีชิงอบแห้งที่ผ่านการลวกมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (ΔE) ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามชิง
อบแห้งที่ผ่านการลวกมี TPC และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าชิงอบแห้งที่ผ่านการแช่ใน
สารละลายกรดแอสคอร์บิก เนื่องจากการสูญเสีย TPC ไปกับน้ำร้อนในกระบวนการลวก เมื่อ
วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิอบแห้ง (60 ถึง 80°C) พบว่าไม่มีผลต่อ TPC, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ
และค่าสี อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ
นอกจากนี้การพรีทรีทเมนต์ไม่มีผลต่อ SEC และชิงอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C มีค่า SEC ต่ำกว่าชิง
อบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เล็กน้อย โดยแนะนำว่าในการผลิตชิงแป้นนั้นควรพรีทรีทเมนต์ด้วยการแช่ใน
สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.1% และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Charotorn Phowng 2014: A Study of Optimum Hot-Air Drying for Sliced Ginger.
Master of Science (Agricultural System Technology), Major Field: Agricultural System
Technology, Department of Farm Mechanics. Thesis Advisor: Assistant Professor
Donludee Jaisut, Ph.D. 98 pages.

This work was to study the effects of 2 pretreatments, blanching and dipping in ascorbic acid solution, and drying temperatures on the drying kinetics and the qualities of the dried ginger slices in terms of TPC, antioxidant activities (as assessed by DPPH and ABTS methods), color and SEC. The TPC in un-pretreated and pretreated ginger slices increased markedly after drying. A greater increase in TPC was obtained for pretreated samples due to the inactivation of browning enzymes responsible for the reduction of phenolic compounds. The DPPH and ABTS radical scavenging activities of ginger slices had a positive correlation with TPC. The DPPH and ABTS radical scavenging activities of the dried samples were higher than those of the un-dried samples, justifying the use of dried ginger for antioxidant properties. Dried ascorbic acid solution dipped ginger exhibited the highest values of TPC and antioxidant activities while dried blanched ginger powder had the lowest value of total color difference. However, the dried blanched sample had lower TPC and antioxidant activities than the dried ascorbic acid solution dipped sample, probably due to the loss of TPC into the hot water during blanching. The tested drying temperatures, ranging from 60 to 80°C, did not affect the TPC, antioxidant activities and the color of the ginger samples. However, drying at higher drying temperatures required a shorter drying time. Moreover, the pretreatment did not affect SEC. The SEC of drying at 80°C was slightly lower than that of 60°C. To produce ginger powder, pretreatment of ginger slices by dipping in 0.1% ascorbic acid solution prior to drying at a temperature of 80°C is recommended.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. คลฤดี ใจสุทธี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ
อ. ดร. รติยา ฐวพาณิชยานันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การ
ค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ด้วยความดูแลเอาใจใส่
และความเมตตากรุณาตลอดงานวิจัย

ขอกราบขอบคุณ อ. ดร. ชลิดา เนียมนุ้ย และ ผศ. ดร. ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์ กรรมการ
ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไข และให้แนวคิดรวมทั้งคำแนะนำอันมีคุณค่าแก่
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อ. ดร. ศิริพร เรียบร้อย รองหัวหน้าภาควิชา ภาควิชาคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความกรุณาอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือในการทำงาน ทำให้เกิดความ
สมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอพระคุณอาจารย์ภาควิชาเกษตรกลวิธานทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบ
ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณ คุณกฤตภัทร
คล้ายรัมย์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาเกษตรกลวิธาน และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเกษตรกล
วิธานทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ และมอบความดีหรือประโยชน์ใดๆ เนื่องจากวิทยานิพนธ์
เล่มนี้แก่ มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ รวมถึงกัลยาณมิตรทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ และให้ความ
ช่วยเหลือเสมอมาทำให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ชโรธร โพธิ์วงศ์

มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	44
สรุป	70
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	93
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	98

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในเหง้าชิงสด	23
2	คุณค่าทางโภชนาการของชิงอ่อนและชิงแก่ในอัตราส่วนบริ โภค 100 กรัม	25
3	เปรียบเทียบระยะเวลาอบแห้งของชิงอบแห้งแบบผ่านการฟรีทรีทเมนต์และไม่ผ่านการฟรีทรีทเมนต์ที่อุณหภูมิ 60-80°C	47
4	เปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของตัวอย่างชิงที่ไม่ได้ทำการอบแห้งและชิงที่ไม่ผ่านการฟรีทรีทเมนต์และฟรีทรีทเมนต์ด้วยวิธีต่างๆ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60-80° C	53
5	ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของตัวอย่างชิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้า	55
6	เปรียบเทียบสีของตัวอย่างชิงที่ไม่ได้ทำการอบแห้งและชิงที่ไม่ผ่านการฟรีทรีทเมนต์และฟรีทรีทเมนต์ด้วยวิธีต่างๆ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60-80° C	56
7	ระยะเวลาในการอบแห้ง, ปริมาณน้ำที่ระเหย, ค่าการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) และพัดลม (Blower) และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ทั้งหมดของชิงอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการฟรีทรีทเมนต์	58
8	ผลของระยะเวลาในการลวกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของชิงอบแห้ง	60
9	ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของชิงอบแห้ง	64
10	ค่า Predicted Response Optimization	69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของแ่งจิง	5
2	ดอกและช่อดอก	6
3	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้น	9
4	ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO	13
5	อนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิก	19
6	กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน กรดแกลลิกและค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร	21
7	โครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบหลักที่พบในสาร สกัดของจิง	27
8	ตำแหน่งการทดลองแบบ 2^2 factorial (กรณี k ในที่นี้ คือ ปัจจัย 2 ตัว)	31
9	กราฟ 3 มิติของพื้นผิวตอบสนอง	33
10	เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อน	36
11	เปรียบเทียบการลดความชื้นของการอบแห้งจิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์และ พรีทรีทเมนต์ด้วยวิธีต่างๆ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60-80°C	46
12	เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งจิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์และพรีทรีทเมนต์ ด้วยวิธีต่างๆ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60-80°C	48
13	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้าน อนุมูลอิสระ DPPH (a) และ ABTS (b)	54
14	Contour plot ของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (a) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (b), สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (c), การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (d) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (e) ของจิงอบแห้งที่ผ่านการ พรีทรีทเมนต์ด้วยการลวก	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- | | | |
|----|---|----|
| 15 | Contour plot ของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (a) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (b), สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (c), การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (d) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (e) ของชิงอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก | 65 |
| 16 | กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมชิงอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวก | 68 |
| 17 | กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมชิงอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก | 69 |

การศึกษาหาแนวทางการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่เหมาะสมสำหรับขิงแผ่น

A Study of Optimum Hot-Air Drying for Sliced Ginger

คำนำ

เหง้าขิง (*Zingiber officinale* Roscoe.) นอกจากจะนิยมนำมาใช้เป็นเครื่องเทศและเป็น ส่วนประกอบในอาหารแล้ว ยังนำมาใช้เป็นยารักษาโรค เช่น ปวดหัวจากไมเกรน, ปวดเมื่อย กล้ามเนื้อ, เจ็บคอ, ไข้หวัด, ไข้หวัดใหญ่, อาหารไม่ย่อย และปวดเนื่องจากประจำเดือน (Dugasani *et al.*, 2010; El-Ghorab *et al.*, 2010) โดยในขิงประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิก เช่น gingerols, zingerone และ shogaols ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ, ด้านการอักเสบ และต้าน โรคมะเร็ง รวมทั้งโรคหลอดเลือดและหัวใจ (Kaur and Kapoor, 2002; Stoilova *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2008; Chew *et al.*, 2008; Dugasani *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2010) ซึ่งปริมาณสารฟีนอลิก ทั้งหมดในขิงนั้นมีปริมาณสูง มีปริมาณมากกว่า 200 mg catechol/100 g fresh weight โดยมีค่า มากกว่าขมิ้น, พริกเขียว, มันฝรั่ง, กระเทียม, กะหล่ำปลี, กะหล่ำดอก และถั่ว สำหรับสมบัติการ ต้านอนุมูลอิสระของขิง ซึ่งหาด้วยวิธี β -carotene bleaching นั้น พบว่าขิงมีสมบัติการต้านอนุมูล อิสระสูง โดยมีค่ามากกว่า 70% (Kaur and Kapoor, 2002)

ขิงผงเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ขิงแปรรูปซึ่งเป็นที่นิยมมาก มีการนำไปใช้เป็นเครื่องดื่มและใช้ เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง โดยการอบแห้งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตขิงผง และมักมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ Puengphian and Sirichote (2008) พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติในการต้านอนุมูล อิสระของขิงเพิ่มขึ้นหลังการอบแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสาร 6-gingerol ไป เป็นสาร 6-shogaol ในระหว่างการอบแห้ง นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งก็มีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงของสาร 6-gingerol เช่นกัน โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณสาร 6-gingerol

ลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (Balladin *et al.*, 1996; Ali *et al.*, 2008; Phoungchandang *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่าสาร 6-shogaol มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าสารในกลุ่ม gingerol (Dugasani *et al.*, 2010) โดยพบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของเหง้าจิงที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (Chumroenphat *et al.*, 2011) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของจิงจะมีมากเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูง (Phoungchandang *et al.*, 2009)

การยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลสามารถทำได้ด้วยการพรีทรีทเมนต์ โดยการใช้สารเคมีหรือการลวกก่อนการอบแห้ง (Nilnakara *et al.*, 2009) ซึ่ง Phoungchandang *et al.* (2009) พบว่าจิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกเมื่อถูกนำไปอบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีรวมต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริก แสดงว่าการเกิดสีน้ำตาลลดลงในตัวอย่างที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ นอกจากนี้การพรีทรีทเมนต์ยังมีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในผักและผลไม้ Rocha and Morais (2005) พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในขึ้นแปปิ้ลซึ่งผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ ซึ่งกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ เช่น เอนไซม์ Polyphenoloxidase (PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล (Piližota and Šubarić, 1998) นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนสาร *o*-quinones ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา hydroxylation ของ monophenols กับเอนไซม์ PPO (Gil *et al.*, 1998; Piližota and Šubarić, 1998; Altunkaya and Gökmen, 2011) ให้กลับเป็นสารประกอบฟีนอลิกก่อนที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบสีน้ำตาล (Gil *et al.*, 1998)

ในกรณีของการลวกอาจมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกสูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ในกระบวนการลวกได้ โดย Nilnakara *et al.* (2009) พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในกะหล่ำปลีลดลงหลังจากการลวกในน้ำร้อนนาน 2 นาที ซึ่งพบลักษณะเช่นนี้ในผักและผลไม้ชนิดอื่นๆ เช่น เปลือกแครอท (Chantaro *et al.*, 2008) และเปลือกมะนาว (Kuljarachanan *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามการลวกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO (Piližota and Šubarić, 1998) จึงส่งผลต่อการคงเหลือของสารประกอบฟีนอลิกในระหว่างการอบแห้ง โดยกะหล่ำปลีที่ผ่านการลวกเมื่อถูก

อบแห้งจะสามารถรักษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดได้ดีกว่ากะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านการลวกเล็กน้อย นอกจากนี้กะหล่ำปลีลวกที่นำไปอบแห้งมีการสูญเสียสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่ากะหล่ำปลีที่ไม่ผ่านการลวก (Nilnakara *et al.*, 2009) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาถึงผลกระทบของการฟริทเทเมนต์ และการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของจิงแป้น รวมทั้งหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งจิงแป้น



วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการพรีทรีทเมนต์ซึ่งก่อนการอบแห้ง และอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง และคุณภาพของขิงอบแห้ง ได้แก่ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ และสี
2. เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งขิงด้วยเครื่องอบแห้งแบบตู้โดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง
3. เพื่อศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งขิงแผ่น

การตรวจเอกสาร

1. จิง

จิงเป็นพืชเขตร้อนในวงศ์ Zingiberaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Zingiber officinale* Roscoe. และชื่อสามัญคือ Ginger จิงเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) ตระกูลเดียวกับข่า ขมิ้นและกระวาน มีแหล่งกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่ในปัจจุบันมีการกระจายไปทั่วโลก จิงเป็นพืชล้มลุกอายุหลายปี แต่มันิยมปลูกเป็นพืชฤดูเดียว เพื่อนำส่วนของลำต้นใต้ดิน ที่เรียกว่า Rhizome ทั่วไปเรียกว่า “แง่งจิง” หรือ “เหง้าจิง” ดังแสดงในภาพที่ 1 ไปใช้ในการบริโภค



ภาพที่ 1 ลักษณะของแง่งจิง

ที่มา : วิภาดา (2554)

1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของจิง

1.1.1 ลำต้นและทรงพุ่มมีการเจริญเติบโตแบบแตกกอ มีความสูงของทรงพุ่ม 30 - 100 เซนติเมตร ส่วนของลำต้นใต้ดิน (Rhizome) มีการเจริญแบบทอดขนานไปกับผิวดิน แตกเหง้าเป็น

แขนงสั้นๆ ซึ่งจะเป็นการเกิดลำต้นเทียม (Shoot) ที่จะเจริญโผล่พ้นดินขึ้นมา เมื่ออ่อนมีสีขาว และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มเมื่อแก่ มีลักษณะแข็ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 - 2.5 เซนติเมตร เนื้อภายในมีสีเหลืองอ่อน

1.1.2 ราก ระบบรากเป็นแบบรากฝอย (Fibrous root) ซึ่งอยู่บริเวณผิวดินเป็นส่วนใหญ่

1.1.3 Shoot และใบ Shoot หรือลำต้นเทียม (Pseudostem) เป็นกาบใบที่ห่อรวมตัวกันแล้วแทงโผล่พ้นดินขึ้นมา สูงประมาณ 30 - 100 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ลำต้นเทียมจะมีอายุเพียงปีเดียวโดยบนลำต้นเทียมแต่ละอันมีใบ 8 - 10 ใบ รูปใบคล้ายหอก ด้านบนมีสีเขียวเข้ม ด้านใต้ใบมีสีเขียวอ่อน กว้าง 1 - 3 เซนติเมตร ยาว 5 - 25 เซนติเมตร เส้นใบจะขนานกับเส้นกลางใบ (Midrib)

1.1.4 ดอกและช่อดอก เจริญขึ้นจากส่วนเหง้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 - 2.5 เซนติเมตร ยาว 15 - 25 เซนติเมตร มีลักษณะแท่งคล้ายกระบอง อาจมีใบแต่เป็นใบขนาดเล็กกว่าใบปกติ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ดอกและช่อดอก

ที่มา : วิชาดา (2554)

1.1.5 ผล มีลักษณะแบบแคปซูลเปลือกผลบาง ภายในมีเมล็ดขนาดเล็กสีดำจำนวนมาก

2. พื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการนำน้ำหรือความชื้นออกจากวัสดุ โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทจากตัวกลางไปยังวัสดุ น้ำภายในวัสดุจะระเหยเมื่อได้รับความร้อนเท่ากับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (สมชาติ, 2540) โดยทั่วไปนิยมใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยประโยชน์ของการอบแห้งมีดังนี้

1. เพื่อการถนอมอาหาร อาหารที่ถูกลดความชื้นแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน เนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์เกิดได้น้อย
2. เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนัก อาหารที่นำมาทำการอบแห้งจะเกิดการสูญเสียน้ำ ทำให้มีปริมาตรและน้ำหนักลดลง จึงช่วยลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่งได้
3. ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตผลทางการเกษตร เช่น ทุเรียนอบแห้ง, กุ้งอบแห้ง, ลำไยอบแห้ง เป็นต้น
4. เกษตรกรสามารถเก็บผลิตผลไว้เพื่อขายขณะที่ผลิตผลมีราคาดี

การอบแห้งด้วยอากาศร้อน แบ่งการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Drying Period) และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Drying Period) แต่ในผลิตภัณฑ์บางชนิด อาจแบ่งการอบแห้งออกเป็น 3 ช่วง โดยเกิดช่วงเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ (Heat up Period) ในช่วงแรกของการอบแห้ง

1. ช่วงเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ (Heat up Period)

ช่วงแรกของการอบแห้ง (ช่วง AB ดังแสดงในภาพที่ 3) เป็นช่วงเวลาที่เริ่มจากอุณหภูมิเริ่มแรกจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก ช่วงนี้จะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งการระเหยของน้ำในช่วงนี้จะเกิดน้อยมากหรือแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย

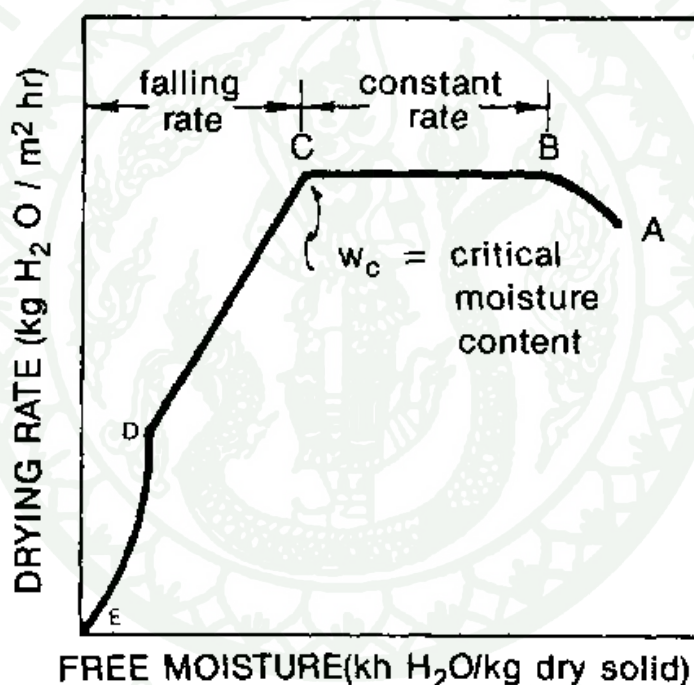
2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Drying Period)

ความชื้นหรือปริมาณน้ำภายในวัสดุในช่วงนี้มีอยู่มาก อัตราการระเหยน้ำที่ผิวของวัสดุเท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุและอากาศจะเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลของเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกคือ เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศร้อนไปยังผิววัสดุถูกใช้ในการระเหยน้ำที่ผิววัสดุ ขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุไปยังอากาศโดยการแพร่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไอน้ำ หากผิววัสดุมีน้ำปกคลุมตลอดเวลา อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำจะคงที่ ซึ่งทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย (ช่วง BC ดังแสดงในภาพที่ 3)

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Drying Period)

เป็นช่วงที่วัสดุมีความชื้นต่ำกว่าความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) โดยทั่วไปแล้วจะใช้ระยะเวลามากกว่าช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่เกิดการถ่ายเทในเนื้อวัสดุด้วย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมาเติมเต็มยังผิววัสดุช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ในขณะที่อัตราการถ่ายเทความร้อนจากอากาศมายังวัสดุยังคงเท่าเดิม เมื่อน้ำจากภายในวัสดุมีไม่เพียงพอที่จะเติมเต็มน้ำที่ระเหยออกไปจากผิววัสดุ ทำให้ผิววัสดุบางส่วนเริ่มแห้งและอุณหภูมิของวัสดุเพิ่มสูงขึ้น เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงช่วงแรก (First Falling

Rate Drying Period) คือ ช่วง CD ดังแสดงในภาพที่ 3 และในช่วงนี้อุณหภูมิของวัสดุจะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก เมื่อการอบแห้งดำเนินต่อไปผิววัสดุแห้งอย่างสมบูรณ์ ชั้นของความแห้งจะค่อยๆ เคลื่อนตัวเข้าไปภายในเนื้อวัสดุ เรียกช่วงนี้ว่า ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงช่วงที่สอง (Second Falling Rate Drying Period) หรือช่วง DE ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยการระเหยน้ำจะเกิดขึ้นที่ผิวรอยต่อระหว่างโซนแห้ง (Dry zone) และโซนเปียก (wet zone) ผิวรอยต่อนี้เรียกว่า ผิวของการระเหย (Evaporation Front) อัตราการระเหยของน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้น

ที่มา : Naewbanij and Thepent (n.d.)

Loha *et al.* (2012) ศึกษาอัตราการอบแห้งของชิงที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบตู้ที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60°C พบว่ามีเพียงการอบแห้งชิงที่อุณหภูมิ 45°C ที่เกิดช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ส่วนการอบแห้งชิงที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60°C เกิดเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ในช่วงเริ่มต้นอัตราการอบแห้งมีค่าสูงและลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความชื้นลดลง และอัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Thorat *et al.* (2012) ซึ่งศึกษาอัตราการอบแห้งของชิงที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 65°C ความดัน 8 kPa พบว่าเกิดเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยอัตราการอบแห้งมีค่าสูงในช่วงเริ่มต้น และค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง

3. การอบแห้งชิง

การอบแห้งชิงโดยทั่วไปนิยมอบแห้งด้วยอากาศร้อน เพราะใช้ต้นทุนและการบำรุงรักษาต่ำกว่าเทคนิคการอบแห้งอื่นๆ อีกทั้งยังมีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ง่ายไม่ซับซ้อน โดยกระบวนการผลิตชิงอบแห้งทั่วไปเริ่มจากการล้างทำความสะอาดเหง้าชิงหลังจากถอนขึ้นมาจากแปลงปลูก เพื่อกำจัดเศษดินที่ติดตามเหง้าชิง จากนั้นทำการตัดแยกเอาส่วนของรากและส่วนเหนือดินอื่นๆ ทิ้งไปทำการปอกเปลือกและหั่นเหง้าชิงให้เป็นชิ้นเล็กๆ ตามขนาดที่ต้องการ หลังจากนั้นเริ่มกระบวนการอบแห้ง โดยก่อนเริ่มการอบแห้งอาจทำการปรุงแต่งเหง้าชิงให้มีคุณภาพสีตามต้องการ เช่น การแช่น้ำเดือดประมาณ 10 นาที หรือแช่ในน้ำปูน หรืออบด้วย SO_2 จากนั้นจึงนำไปอบแห้ง

โดยในปัจจุบันมีการผลิตชิงอบแห้งเพื่อแปรรูปเป็นชิงแห้งปั่นใช้ซึ่งเป็นเครื่องดื่มมากยิ่งขึ้น ฉะนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมในประเทศ และเพื่อประโยชน์ของผู้บริโภค จึงมีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของชิงแห้งปั่น (มอก. 600-2528) และชิงผงสำเร็จรูป (มอก. 584-2528) ขึ้นเพื่อให้ความหมายและกำหนดลักษณะของชิงแห้งปั่นดังนี้

ชิงแห้งปั่น หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชิงที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า ซินจิเบอร์ ออฟฟิซินาเล รอสซี่ (*Zingiber officinale* Roscoe.) ที่แก่ นำมาอบให้แห้งแล้วนำไปบดใช้ซึ่งเป็นเครื่องดื่ม โดยมีลักษณะทั่วไปดังต่อไปนี้

1. ชิงแห้งปั่นชนิดไม่ผสมน้ำตาลมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ หรือเป็นผง ส่วนชิงแห้งปั่นชนิดผสมน้ำตาลต้องเป็นผงละเอียด
2. ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ การตรวจสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
3. ต้องมีกลิ่นรสเฉพาะของชิง

4. เถ้าทั้งหมดต้องไม่เกิน 0.75 %

5. ความชื้นแห้งป่นชนิดไม่ผสมน้ำตาลต้องไม่เกิน 10 % ส่วนชื้นแห้งป่นชนิดผสมน้ำตาล ต้องไม่เกิน 2.5 %

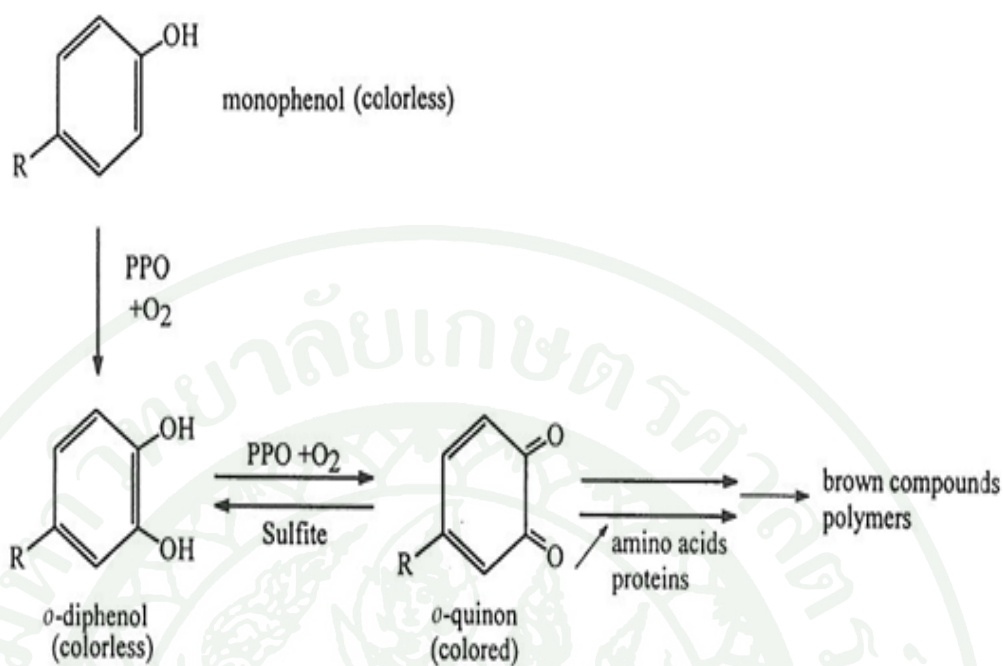
จึงผงสำเร็จรูป หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดขิงแก่ที่สด ด้วยน้ำผสมน้ำตาล นำไปอบแห้งแล้วทำให้เป็นผงหรือเกล็ด โดยมีลักษณะทั่วไปดังต่อไปนี้

1. ต้องมีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ด แห้ง ไม่จับตัวเป็นก้อน
2. ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใดๆ การตรวจสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
3. ต้องมีกลิ่นรสเฉพาะของขิง
4. เถ้าทั้งหมดต้องไม่เกิน 0.75 %
5. ความชื้นผงสำเร็จรูป ต้องไม่เกิน 2.5 %

4. ปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาล

4.1 ปฏิบัติการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ (Enzymatic Browning Reaction)

เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ยังทำงานอยู่ในอาหารในภาวะที่มีออกซิเจนในอากาศ สารประกอบฟีนอลจะถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเอนไซม์เป็นกลุ่มของฟีนอลเลส (phenolases) เช่น เอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบโมโนฟีนอล (monophenol) ได้ออร์โท-ไดฟีนอล (*o*-diphenol) ต่อมาสารออร์โท-ไดฟีนอลเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเอนไซม์ PPO จนได้เป็นสารออร์โท-ควิโนน (*o*-quinon) ซึ่งอาจรวมตัวกับสารประกอบฟีนอล หรือกรดอะมิโนอื่นๆ เป็นสารประกอบสีน้ำตาล ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยสามารถสังเกตได้จากผลไม้บางชนิดที่ถูกปอกเปลือกหรือหั่นวางทิ้งไว้ โดยพบว่าค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์ PPO อยู่ในช่วง 5-7 อย่างไรก็ตามเอนไซม์ PPO เป็นเอนไซม์ที่ไม่คงตัว ถูกทำลายได้ด้วยความร้อน และถูกยับยั้งได้ด้วยกรดฟีนอลิกและรีดิวซิงเอเจนต์ (reducing agents) เช่น กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) (Piližota และ Šubarić, 1998)



ภาพที่ 4 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ PPO

ที่มา : Piližota and Šubarić (1998)

4.2 ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Non-Enzymatic Browning Reaction)

ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้เกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน จะเกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) ทำให้เกิดการสลายตัว (degradation) และการรวมตัวกัน (condensation) ของหมู่อะมิโนกับสารประกอบรีดิวซิง พัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล อาจส่งผลทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติเฉพาะอีกด้วย การเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลงด้วย ปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง เช่น การทอด การอบ การปิ้งย่าง และการเผาอาหาร เป็นต้น อาหารบางชนิดเมื่อเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลจะทำให้คุณภาพด้านสี, กลิ่น และรสชาติดีขึ้น แต่ก็มีอาหารบางชนิดที่ไม่พึงประสงค์จะให้เกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้ ปฏิกริยาดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. ปฏิกริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization) เป็นการใช้ความร้อนสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก และเกิดพอลิเมอร์เซชันกลายเป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกริยานี้มีสารเริ่มต้นเป็นน้ำตาลเท่านั้น ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นกับโปรตีนในอาหารที่ไม่มีองค์ประกอบของสารประกอบของไนโตรเจน เมื่อได้รับความร้อนที่สูงและมากเกินไป

2. ปฏิกริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) เป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเมื่ออาหารมีองค์ประกอบของสารไนโตรเจนอยู่ เนื่องจากการทำปฏิกริยากันระหว่างกรดอะมิโนไลซีน กับน้ำตาลที่ไวต่อการเกิดปฏิกริยา (Reducing Sugar) ได้สารประกอบพอลิเมอร์ของเมลานอยดินส์ (Melanoidins) ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้มโดยปฏิกริยานี้จะเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเช่นกัน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง มีผลต่อการเกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อบแห้ง

4.3 การยับยั้งการเกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล

การควบคุมหรือการยับยั้งการเกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ เพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

4.3.1 การควบคุมการเกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยวิธีทางเคมี

สารเคมีหลายชนิดมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถนำมาใช้ในผักและผลไม้ ได้แก่

4.3.1.1 สารละลายเกลือ (Salt solution dip)

กรณีผลไม้ที่ปอกเปลือกวางทิ้งไว้ เช่น แอปเปิ้ลหรือกล้วยจะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลบริเวณที่ปอก การใช้สารละลายเกลือ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) สามารถควบคุมการเกิดปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ โดยโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 - 1.0 % มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผลไม้ โดยคลอไรด์มีบทบาทในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล ส่วนโซเดียมหรือแคลเซียมไม่มีบทบาทในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล

4.3.1.2 สารประกอบพอกซัลไฟต์ (Sulfiting agent)

สารประกอบพอกซัลไฟต์เป็นสารทั่วไปที่นิยมนำมาใช้ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ระหว่างขั้นตอนการแปรรูปและการเก็บรักษา ได้มีการนำก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมของอาหารนานแล้ว ต่อมาได้ใช้เกลือในรูปต่าง ๆ เช่น โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3), โซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) รวมทั้งเกลือในรูปของโพแทสเซียมด้วย นิยมเรียกสารประกอบกลุ่มนี้ว่า “sulfiting agents” สารเหล่านี้จะยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ได้ (นภกรณ, 2548)

4.3.1.3 สารละลายกรด (Acid solution)

การใช้สารละลายกรดเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร สารละลายกรดที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) และกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ซึ่งเป็นสารที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค โดยกรดซิตริกจะเข้าจับกับโลหะทองแดงในเอนไซม์ PPO ซึ่งจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ ขัดขวางไม่ให้เอนไซม์เข้าทำปฏิกิริยากับสารตัวกลางเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบสีน้ำตาล และสภาพความเป็นกรดมีผลทำให้เอนไซม์ PPO ทำงานไม่ได้ สำหรับกรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซีเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้อาหารเกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการลดการเกิดสีน้ำตาลสูง ราคาไม่แพงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยกรดแอสคอร์บิกมีสมบัติเป็นสาร reducing agent สามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล ให้กลับมาอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลตามเดิม ก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารประกอบสีน้ำตาล

เกษร และคณะ (2548) ทำการศึกษาผลของการแช่จิงสดหั่นฝอยในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพของจิงสดหั่นฝอย โดยแช่จิงสดหั่นฝอยในสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5% นาน 2 นาที และผึ่งให้แห้งเป็นเวลา 20 นาที พบว่าโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ช่วยในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่ากรดแอสคอร์บิก เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเหลือง (b^*) พบว่าจิงสดหั่นฝอยที่แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีค่า L^* และ b^* สูงกว่าจิงสดหั่นฝอยชุดควบคุมและชุดที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบจิงสดหั่นฝอย

ชุดควบคุมและชุดที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก พบว่าจึงสดหั่นฝอยที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าชุดควบคุม โดยจึงสดหั่นฝอยที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีค่า L^* และ b^* สูงกว่าจึงสดหั่นฝอยชุดควบคุม และมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ต่ำกว่าจึงสดหั่นฝอยชุดควบคุม แม้ว่าสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO ได้ดีกว่ากรดแอสคอร์บิก แต่การใช้ซัลไฟต์มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทำให้เกิดอาการหอบหืดและอาการแพ้ ซึ่งจะรุนแรงในกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้สารนี้ จึงทำให้มีข้อจำกัดในการใช้สารซัลไฟต์ โดยสำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration ; FDA) กำหนดปริมาณสารตกค้างของซัลไฟต์ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด เช่น อาหารประเภทผักและผลไม้บางอย่างต้องมีซัลไฟต์ตกค้างไม่เกิน 1,000 ppm ส่วนกรดแอสคอร์บิกมีความปลอดภัยในการใช้มากกว่าสารซัลไฟต์ (นภาพรณ, 2548)

ศิรินทิพย์ และ สิงหนาท (2551) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (ΔE^*) ของจึงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกก่อนนำไปอบแห้ง โดยอบแห้งด้วยอากาศร้อน และป้อนความร้อน โดยใช้จึงที่มีอายุเก็บเกี่ยว 10-12 เดือน นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C จากผลการทดลองพบว่าจึงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกเมื่อถูกนำไปอบแห้ง มีค่า ΔE^* ต่ำกว่าจึงที่ไม่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริก และเมื่อเปรียบเทียบค่า ΔE^* ของตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกทั้งที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน และอบแห้งด้วยป้อนความร้อน พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Phoungchandang *et al.* (2009) ศึกษา ΔE^* ของจึงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกก่อนนำไปอบแห้งด้วยเครื่อง mixed-mode solar dryer ซึ่งแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5% นาน 5 นาที โดยตัวอย่างจึงที่ผ่านการแช่สารละลายกรดซิตริกเมื่อนำไปอบแห้งมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 63.30 ± 0.32 , ค่าความแดง (a^*) เท่ากับ 2.62 ± 0.16 , ค่าความเหลือง (b^*) เท่ากับ 15.64 ± 0.26 และค่า ΔE^* เท่ากับ 9.27 ± 0.24 ส่วนตัวอย่างจึงที่ไม่ผ่านการแช่กรดซิตริกเมื่อนำไปอบแห้งมีค่า L^* เท่ากับ 58.23 ± 0.13 , ค่า a^* เท่ากับ 3.32 ± 0.10 , ค่า b^* เท่ากับ 14.57 ± 0.12 และค่า ΔE^* เท่ากับ 12.65 ± 0.20 จึงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดซิตริกหลังการอบแห้งมีค่า L^* และ b^* เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นค่า a^* และ ΔE^* ลดลง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรดซิตริกสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้

Rababah *et al.* (2011) ศึกษาผลของการแช่สตรอเบอร์รี่, แอปเปิ้ล และ ลูกพีชในสารละลายกรดแอสคอร์บิก โดยทำการสไลด์ตัวอย่างผลไม้ แล้วแบ่งส่วนหนึ่งมาแช่ใน สารละลายแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.1% นาน 2 นาที แล้วทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40.4°C เป็น เวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่ากรดแอสคอร์บิกมีผลต่อค่าความสว่าง (L), ค่าความแดง (a) และค่าความเหลือง (b) ของสตรอเบอร์รี่, แอปเปิ้ล และลูกพีชที่ผ่านการอบแห้งโดยสารละลาย แอสคอร์บิกช่วยเพิ่มค่าความสว่าง (L*) ลดค่าความแดง (a*) และค่าความเหลือง (b*) ของสตรอ เบอร์รี่, แอปเปิ้ล และลูกพีช เมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ที่อบแห้งแต่ไม่มีการแช่ในสารละลายกรด แอสคอร์บิก

4.3.2 การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยวิธีทางกายภาพ

4.2.2.1 การลวกด้วยไอน้ำ (Steam blanching)

วิธีการลวกอาจใช้เครื่องลวก หรือใช้หม้อต้มน้ำให้เกิดไอน้ำไหลผ่าน ขึ้นผัก เช่น ซึ่ง คล้ายกับการนึ่ง เพื่อทำลายการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล ผักที่นิยมทำการลวกด้วยไอน้ำ ได้แก่ หัวบีท ใช้ระยะเวลาในการลวก 25 - 30 นาที บรอกโคลีใช้ ระยะเวลาในการลวก 3 - 5 นาที กะหล่ำปลีใช้ระยะเวลาในการลวก 2 - 3 นาที ถั่วลันเตาใช้ ระยะเวลาในการลวก 3 - 4 นาที มันฝรั่งใช้ระยะเวลาในการลวก 6 - 8 นาที ข้าวโพดใช้ระยะเวลาใน การลวก 5 - 10 นาที พริกทองใช้ระยะเวลาในการลวก 2 - 3 นาที (นภาพกรณ์, 2548)

4.2.2.2 การลวกด้วยน้ำร้อน (Water blanching)

การลวกด้วยน้ำร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสี น้ำตาลของอาหารได้ แต่ในอาหารแต่ละชนิดจะมีการใช้อุณหภูมิ และระยะเวลาในการลวกแตกต่าง กัน การลวกด้วยน้ำร้อนจะเกิดการสูญเสียสารประกอบที่ละลายน้ำได้ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ ต่างๆ และวิตามินซีที่อาจสูญเสียไปกับน้ำในระหว่างการลวก (Liu *et al.*, 2002) รวมทั้งจำพวกเกลือ แร่ และน้ำตาลในปริมาณสูงกว่าการลวกด้วยไอน้ำ (วิไล, 2546) โดยปริมาณน้ำที่ใช้ควรเพียงพอ กับปริมาณของผักที่จะทำการลวก ควรใช้เวลาในการลวกสั้นๆ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของ เซลล์ผักซึ่งเป็นผลจาก cooking effect

5. การต้านอนุมูลอิสระ (Free radical scavenging)

5.1 อนุมูลอิสระ (Free radicle)

อนุมูลอิสระ คือ สารหรือโมเลกุลที่ไม่เสถียรและมีความไวต่อการทำปฏิกิริยา เนื่องจากการสูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนมาอีกหนึ่ง ทำให้มีอิเล็กตรอนหนึ่งตัวที่ขาดคู่ (วัชร, 2549) โดยอนุมูลอิสระนั้นมีทั้งที่ได้รับจากภายในและนอกร่างกาย ซึ่งอนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายในร่างกายนั้นอาจเกิดจากการเผาผลาญของเซลล์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในขณะที่มีออกซิเจน โดยการเกิดกระบวนการออกซิเดชันขึ้นเองนั้น เรียกว่า ออโตออกซิเดชัน (Autoxidation) หรืออาจเกิดจากสารตั้งต้นได้รับความร้อนหรือได้รับการกระตุ้นจากอนุมูลอิสระให้เปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ ส่วนอนุมูลอิสระที่ได้รับจากนอกร่างกาย อาจมาจากอาหารที่มีมันมาก, แอลกอฮอล์, คาร์บอน, และแสงแดด เป็นต้น โดยชีวโมเลกุลที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยอนุมูลอิสระจะถูกทำลายหรือทำงานบกพร่อง อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรค เช่น โรคหัวใจและสมองขาดเลือด, โรคเบาหวาน และโรคอัลไซเมอร์ (อังค์วรา, 2551)

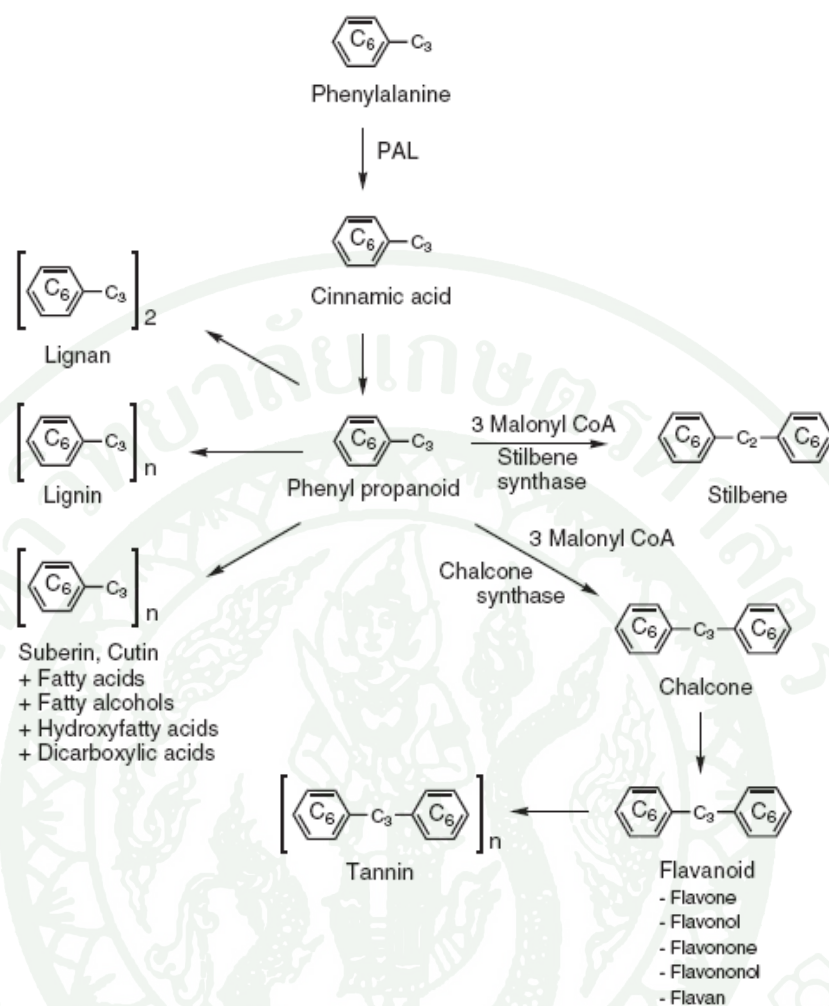
อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในร่างกายนั้นมีทั้งที่เป็นประโยชน์และโทษ ประกอบด้วยอนุมูลอิสระที่หลุดรอดจากการเผาผลาญออกซิเจนเป็นพลังงาน โดยประโยชน์ของอนุมูลอิสระนั้นมีหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณต่อเซลล์ และมีฤทธิ์ต่อการทำงานของเซลล์หรืออวัยวะ อย่างไรก็ตามร่างกายมีการสร้างกลไกเพื่อควบคุมปริมาณของอนุมูลอิสระไม่ให้สูงจนเกิดอันตรายต่อร่างกาย หากกลไกเกิดความบกพร่องจะทำให้สารอนุมูลอิสระมีมากจนสูญเสียสมดุล สภาวะนี้เรียกว่า Oxidative stress โดยกลไกสำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของอนุมูลอิสระ ได้แก่ เอนไซม์, สารคีเลทโลหะ และสารต้านอนุมูลอิสระ (อังค์วรา, 2551)

5.2 สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants)

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรงเพื่อกำจัดหรือยับยั้งการทำงานของอนุมูลอิสระ ไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ มีทั้งสารที่มาจากธรรมชาติ (natural antioxidants) และสารสังเคราะห์ (synthetic antioxidants) โดยสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากธรรมชาติ สามารถได้รับจากอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นส่วนประกอบ สารดังกล่าว ได้แก่ เบต้าแคโรทีน (β-carotene), วิตามินอี (tocopherols), วิตามินซี (ascorbic acid) รวม

ไปถึงสารกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenol) เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoids), ฟลาโวน (flavones), กรดแกลลิก (gallic acid), ลิกนิน (lignin), แทนนิน (tannin), แอนโทไซยานิน (anthocyanins), แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และอนุพันธ์ของกรดซินนามิก (cinnamic acid) (นันทน์ภัส, 2551) ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสารสังเคราะห์นั้นมีมากมายหลายชนิด เช่น tert-butyl-4-hydroxytoluene (BHT) และ tert-butylthioquinone (TBHQ) เป็นต้น

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ โดยจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายนอก โดยพบมากในผัก, ผลไม้, ชาเขียว และไวน์แดง ซึ่งพบว่ามีการประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8000 ชนิดในธรรมชาติ โดยโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิก คือ หมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ เกาะกับวงแหวนอะโรมาติก หากมีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 1 หมู่จะนิยมเรียกว่า สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอลิกจึงแตกต่างกันไป ตั้งแต่โมเลกุลที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acid), ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และฟีนิลโพรพานอยด์ (phenylpropanoid) จนไปถึงโมเลกุลที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น ลิกนิน (lignin) และแทนนิน (tannin) เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยบางครั้งสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันอาจมีการรวมตัวกัน หรืออาจรวมตัวกับสารประกอบอื่นๆ ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกจะแตกต่างกันตามชนิดของพืช หรือแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันหากปลูกจากต่างแหล่งผลิต นอกจากนั้นมียางานยืนยันถึงคุณสมบัติทางเภสัชวิทยา ที่มีฤทธิ์ในการป้องกันและต้านการอักเสบ, การแพ้ และต้านไวรัส เป็นต้น (อังคัรวา, 2551) และมีการนำมาใช้เป็นสารฟอกสี (tannin agent) ในกระบวนการผลิตกระดาษ, สี และเครื่องสำอาง



ภาพที่ 5 อนุพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา : นิตยา (2550)

5.3 การตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะกลไกการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ การตรวจสอบแบบ Hydrogen atom transfer (HAT) ซึ่งเป็นการหาพลังงานที่ทำให้พันธะของหมู่ที่จะทำให้อะตอมไฮโดรเจนแตกออก โดยวิธีที่ใช้หลักการนี้ ได้แก่ วิธี Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) และ Total Radical Trapping Antioxidant Parameter (TRAP) เป็นต้น อีกวิธีหนึ่ง คือ การตรวจสอบแบบ Electron transfer reaction (ET หรือ SET) ซึ่งเป็นการหาความสามารถในการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปรีดิวซ์สารอื่น

ได้แก่ วิธี Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) ซึ่งเหมาะสมกับการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ไปในอาหาร และวิธี DPPH assay และ ABTS assay ซึ่งเหมาะสมกับการตรวจสอบสารที่สกัดจากผักและผลไม้ ทั้งวิธี 2 นี้ มีความรวดเร็ว เสียค่าใช้จ่ายน้อยและสะดวก และวิธี Total phenols assay by Folin-Ciocalteu reagent เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการตรวจสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไม่สามารถทำได้โดยสมบูรณ์เพียงวิธีการเดียว ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระตัวเดียวกันอาจมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันเมื่อใช้วิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน (รัชยาพร และ นาถธิดา, 2548) เนื่องจากสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติย่อมมีความซับซ้อนของคุณสมบัติทางเคมี การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสำคัญ เพื่อใช้ออกประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ หากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดอนุมูลอิสระสูงด้วยเช่นกัน วิธีการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในปัจจุบัน ได้แก่

5.3.1 Total phenolic content by Folin-Ciocalteu Reagent

วิธีนี้เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด โดยเป็นการวัดความสามารถในการรีดิวซ์ของสาร ซึ่งมีหลักการคือ สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดปฏิกิริยากับโฟลีน-ซีโอเคาทูล (Folin-Ciocalteu Reagent: FCR) ภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง (เมื่อเติมด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) ซึ่งมีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 10) สารประกอบฟีนอลิกจะเกิดการแตกตัวได้เป็นฟีนอลเอทแอนไอออน (phenolate anion) สามารถรีดิวซ์กับโฟลีน-ซีโอเคาทูลทำให้เกิดสารประกอบที่ให้สีน้ำเงิน ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยสีของสารที่ทำการทดสอบก็จะมีสีเข้มมากขึ้นหากสารดังกล่าวมีสารประกอบฟีนอลิกปริมาณมาก การรายงานผลจะรายงานค่าเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg GAE/g dry matter) ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของกรดแกลลิกและค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 6



โดยกลไกการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารต้านอนุมูลอิสระเกิดจากการให้อิเล็กตรอนของสารต้านอนุมูลอิสระแก่อนุมูลอิสระ DPPH โดยที่อนุมูลอิสระ DPPH ในสารละลายจะมีสีม่วง เมื่อสารต้านอนุมูลอิสระให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ DPPH จะได้เป็นสาร DPPH ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระต่อไป ซึ่งจะเห็นเป็นสีเหลืองนวล ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 nm ลดลง (ระวีวรรณ และ ทรงพร, 2549)

5.3.3 ABTS free radical decolorization assay

วิธีนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ มีหลักการคล้ายกับวิธี DPPH คือ สร้างอนุมูลอิสระที่มีสีโดยสร้างอนุมูลอิสระจากการทำปฏิกิริยาของสารละลาย ABTS กับ oxidizing agent คือ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) เมื่อ ABTS ถูกออกซิไดซ์ด้วย oxidizing agent จะเกิด ABTS free radical ($\text{ABTS}\cdot+$) จะได้สารละลายที่มีสีเขียวเข้ม สารต้านอนุมูลอิสระที่ต้องการนำมาทดสอบจะขจัด $\text{ABTS}\cdot+$ ที่เกิดขึ้น แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm ซึ่งความยาวคลื่นนี้จะมีการรบกวนต่างๆ น้อยมาก ปฏิกิริยาของ $\text{ABTS}\cdot+$ กับสารต้านอนุมูลอิสระดังสมการที่ 4



โดยวิธีการทดสอบทั้งแบบ DPPH assay และ ABTS assay สามารถรายงานผลเป็น % Inhibition ดังสมการที่ 5 และอาจแสดงผลเป็น 50% inhibition concentration (IC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณหรือความเข้มข้นของสารที่ใช้เพื่อลดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระลงไปเหลือ 50% ซึ่งทำโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % Inhibition กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง เพื่อหาค่า IC_{50}

$$\% \text{ Inhibition} = \left(\frac{Abs_{\text{blank}} - Abs_{\text{sample}}}{Abs_{\text{blank}}} \right) \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ Abs_{blank} และ Abs_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารควบคุมและสารตัวอย่าง ตามลำดับ

5.4 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระในขิง

สารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญของขิง คือ สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่ม gingerols ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นที่ฉุนและเผ็ด มีคุณสมบัติในการช่วยลดการอักเสบ (anti-inflammatory) ลดอาการปวด (analgesic) ในผู้ป่วยโรคปวดตามข้อ ตามกล้ามเนื้อ (rheumatism) และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) นอกจากนั้นยังช่วยป้องกันเลือดจับตัวแข็งเป็นก้อน (ศิรินทิพย์ และ สิงหนาท, 2551) Kadnur and Goyal (2005) รายงานว่าสารสกัดขิงมีผลต่อการลดระดับไขมัน น้ำหนักตัว ภาวะระดับน้ำตาลในเลือดสูง (Hyperglucemia) ภาวะระดับอินซูลินสูง (Hyperinsulinemia) ในหนูทดลอง และสารในกลุ่ม gingerol ประกอบด้วย 6,8 และ 10-gingerol ซึ่งมีอยู่ประมาณ 75, 8 และ 11% ตามลำดับ (Chen *et al.*, 1986a) โดยตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่มีปริมาณมากที่สุดในขิงสด คือ สาร 6-gingerol

ตารางที่ 1 ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในเหง้าขิงสด

Antioxidants	Quantity (ppm)	Antioxidants	Quantity (ppm)
6-gingerol	130.0-7138.0	Lauric acid	390.0-3630.0
6-shogaol	40.0-330.0	Methionine	130.0-737.0
Alanine	310.0-1793.0	Myrcene	2.0-950.0
Ascorbic acid	0.0-317.0	Myristic acid	180.0-1650.0
β-carotene	0.0-4.0	p-coumaric acid	0.0-19.0
Camphene	28.0-6300.0	Palmitic acid	1200.0-11220.0
γ-terpinene	0.4-25.0	Selenium	10

ที่มา : Suhaj, M. (2006)

เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน ดังนั้นในการศึกษาสารสกัดจึงมีการศึกษาทั้งสารประกอบฟีนอลิกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ Kaur and Kapoor (2002) ศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในขิงและวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด 221.30 ± 9.40 mg catechol/100 g fresh weight ส่วนการวิเคราะห์สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสารสกัดขิงที่สกัดด้วย 80% เอทานอล มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสูงกว่าการสกัดด้วยน้ำ โดยมีค่าเท่ากับ 71.8 และ 65.0% ตามลำดับ

นอกจากนี้พบว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ ดังแสดงในตารางที่ 2 และยังพบว่าระยะเวลาการปลูกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร gingerol เช่นกัน โดย Chen *et al.* (1986b) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร gingerols (6-, 8- และ 10-gingerol) ในขิงอ่อนซึ่งเก็บเกี่ยวที่ 4-5 เดือน เปรียบเทียบกับขิงแก่ที่เก็บเกี่ยวที่ 8-9 เดือน โดยใช้วิธี High Performance Liquid Chromatophy (HPLC) และพบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น ปริมาณสาร gingerols ในขิงจะเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยขิงอ่อนมีปริมาณสาร gingerols อยู่ในช่วง 0.65-0.88% และขิงแก่มีปริมาณ สาร gingerols อยู่ในช่วง 1.10-1.56% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ ศิริินทิพย์ และ สิงหนาท (2551) ซึ่งเปรียบเทียบขิงที่มีอายุ 3-5 เดือน และ 10-12 เดือน โดยขิงที่มีอายุ 10-12 เดือนจะมีปริมาณ 6-gingerol มากกว่าขิงที่มีอายุ 3-5 เดือน โดยมีค่าเท่ากับ 330.06 และ 139.07 mg/100 g ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ธิดารัตน์ และ ศศิธร (2554) ซึ่งศึกษาผลของอายุการเก็บเกี่ยวของเหง้าขิงต่อปริมาณ 6-gingerol และสมบัติในการต้านออกซิเดชัน โดยใช้วิธี Total phenols assay และ DPPH assay พบว่าขิงแก่อายุการเก็บประมาณ 12 และ 14 เดือนมีปริมาณ 6-gingerol และคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณ 6-gingerol ในช่วง 17.1 และ 17.5 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมีค่า 30.9 - 31.2 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมีค่า 27.9 - 28.3 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

ศิริินทิพย์ และ สิงหนาท (2551) ทำการศึกษาการพัฒนาระบวนการทำแห้งขิง โดยการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน และการทำแห้งโดยใช้บั้งความร้อน จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ 6-gingerol ที่วัดได้จากการอบแห้งแบบบั้งความร้อนมีปริมาณที่สูงกว่าการอบแห้งแบบใช้ลมร้อน เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อนใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งแบบบั้งความร้อน เป็นผลทำให้สาร 6-gingerol ถูกทำลายและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่นมากกว่าการอบแห้งแบบบั้งความร้อน อีกทั้งพบว่าสภาพความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อปริมาณ 6-gingerol โดยการแช่

จึงในสภาพที่มีความเป็นกรดจะทำให้ปริมาณของ 6-gingerol มีการเปลี่ยนแปลง จากผลการทดลองที่นำginger มาแช่กรดซิตริก พบว่าginger ที่ไม่ผ่านการแช่กรดซิตริกมีปริมาณ 6-gingerol สูงกว่าginger ที่ผ่านการแช่กรดซิตริก เนื่องจาก 6-gingerol ไม่คงตัวที่สภาวะกรด

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของgingerอ่อนและgingerแก่ในอัตราส่วนบริโภคน้ำ 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	gingerอ่อน เก็บเกี่ยวที่ 4-6 เดือน	gingerแก่ เก็บเกี่ยวที่ 8-10 เดือน
Moisture (%)	96.40	93.50
Fat (%)	0.30	0.60
Fiber (%)	0.60	0.80
Protein (%)	0.50	0.40
Carbohydrate (%)	1.90	3.80
Energy (kcal)	12.00	22.00
Calcium (mg)	34.00	18.00
Phosphorus (mg)	5.00	22.00
Iron (mg)	0.40	1.20
Vitamin A (I.U.)	Traces	30.00
Vitamin C (mg)	Traces	4.00
Vitamin B1 (mg)	0.20	0.02
Vitamin B2 (mg)	0.05	0.02
Niacin (mg)	0.14	1.00

ที่มา : ไฉน (2542)

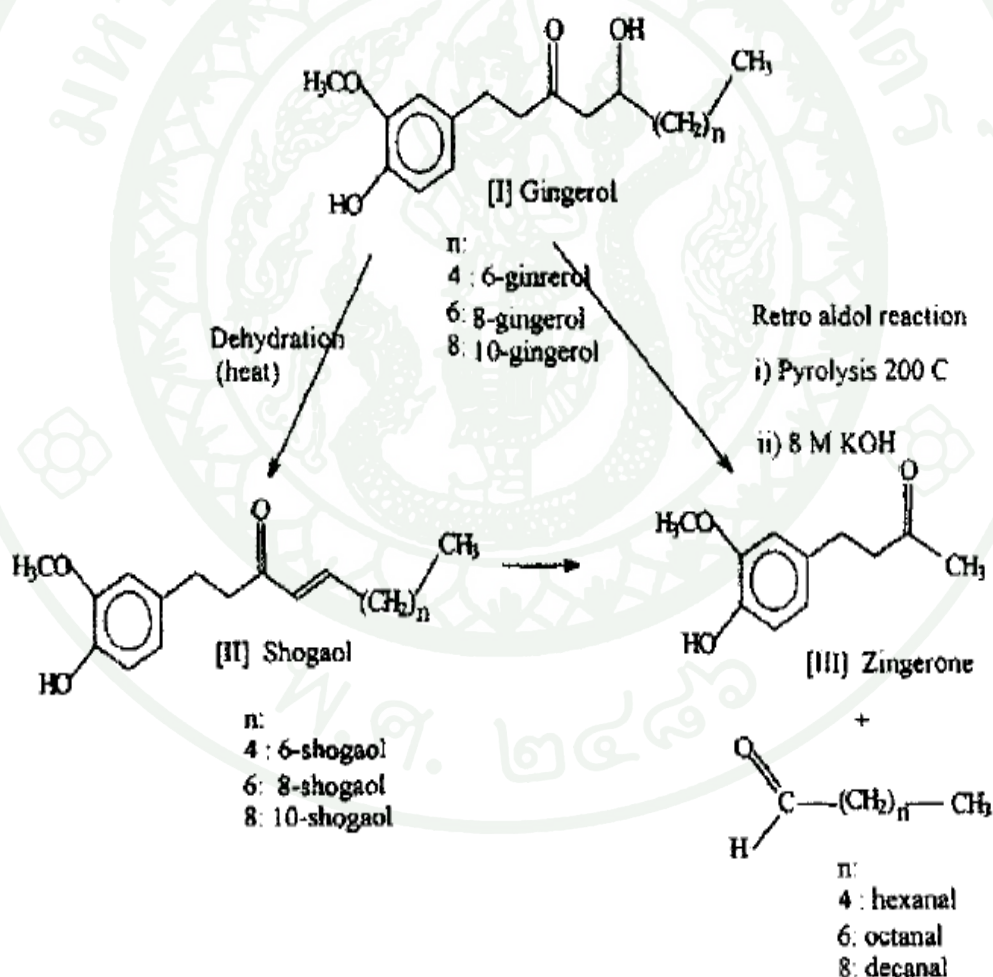
สุภาวณิ และ สิงหนาท (2553) ศึกษาผลของการทำแห้งแบบระเหยเดียว และแบบสองระยะต่อคุณภาพของginger โดยใช้gingerที่ช่วงอายุ 10-12 เดือน อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบตู้ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วอบแห้งต่อด้วยอากาศร้อนและปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C เปรียบเทียบกับการอบแห้งgingerแบบระเหยเดียวด้วยอากาศร้อน และปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งgingerโดยใช้ปั๊มความร้อนใช้เวลาในการอบแห้งสั้น

กว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และการอบแห้งแบบสองระยะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งแบบระยะเดียวประมาณ 21-44% การอบแห้งจึงด้วยป้้มความร้อนมีปริมาณ 6-gingerol มากกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน เพราะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า จากการอบแห้งในทุกเงื่อนไขพบว่า การอบแห้งแบบสองระยะโดยใช้การอบแห้งในระยะที่สองด้วยป้้มความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C สามารถรักษาปริมาณ 6-gingerol ได้มากที่สุด

ธิดารัตน์ และ ศศิธร (2553) ศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณ 6-gingerol, สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันของขิง โดยใช้ขิงที่มีอายุ 4 เดือน และแบ่งการอบแห้งเป็น 2 วิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 50±2°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง และการอบแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ 6-gingerol ของขิงอบแห้งด้วยอากาศร้อนมีค่าไม่แตกต่างกับขิงอบแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง โดยมีค่า 18.41±0.05 และ 18.10±0.05 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH assay พบว่าขิงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าการอบแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง โดยมีปริมาณเท่ากับ 30.72±3.41 และ 23.06±1.10 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งผลการทดสอบสมบัติการต้านออกซิเดชันพบว่า ขิงที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อนมีสมบัติการต้านออกซิเดชันมากกว่าการอบแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีค่า 35.27±4.00 และ 25.87±2.85 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งด้วยอากาศร้อนนั้นเมื่อสารในกลุ่ม gingerols ได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยา dehydration กลายเป็นสาร shogaol ซึ่งมีสมบัติในการต้านออกซิเดชันเช่นกัน (Balladin *et al.*, 1997; Dugasani *et al.*, 2010)

อย่างไรก็ตามสาร gingerol สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นสาร shogaol และ zingerone ได้เมื่อได้รับความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 7 โดย Balladin *et al.* (1996) พบว่าขิงสดมีสาร 6-gingerol และ 6-shogaol เท่ากับ 32.44 และ 1.06 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ ซึ่งภายหลังการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 3 วัน จนกระทั่งมีความชื้นคงเหลือประมาณ 10.20% ทำให้ปริมาณของสาร 6-gingerol และ 6-shogaol เปลี่ยนแปลงไป โดยมีปริมาณสาร 6-gingerol และ 6-shogaol เท่ากับ 16.34 และ 48.90 มิลลิกรัมต่อกรัมแห้ง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสาร 6-gingerol ลดลงโดยสาร shogaol ซึ่งให้กลิ่นฉุนมากกว่าสาร gingerol อย่างไรก็ดีตาม Dugasani *et al.* (2010) พบว่าสาร 6-shogaol มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสาร 6, 8 และ 10-gingerol ซึ่งอาจส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของขิงเพิ่มสูงขึ้นหลังการอบแห้ง สอดคล้องกับผลการทดลองของ

Puengphian and Sirichote (2008) ซึ่งพบว่าหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ $55 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ปริมาณสาร 6-gingerol ลดลงจาก 21.15 ± 0.13 เป็น 18.81 ± 0.15 mg/g dry weight basis และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก 24.63 ± 0.43 เป็น 59.80 ± 0.14 mg gallic acid/gextract นอกจากนี้พบว่าสมบัติการต้านทานอนุมูลอิสระสูงขึ้น จากการทดสอบด้วยวิธี DPPH assay เพื่อหาค่า 50% Effective Concentration (EC_{50}) หรือปริมาณสารต้านออกซิเดชั่นที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระลดลง 50% โดยค่า EC_{50} ลดลงจาก 64.60 ± 0.18 เป็น 32.95 ± 1.32 $\mu\text{g/ml}$ และวิธี ABTS assay ทำการเปรียบเทียบเป็นปริมาณของ Trolox พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 169.06 ± 3.96 เป็น 403.71 ± 7.24 μmol Trolox/g extract



ภาพที่ 7 โครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบหลักที่พบในสารสกัดของขิง

ที่มา : Balladin *et al.* (1997)

6. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การวางแผนการทดลองก่อนการทดลองจะทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการและมีคุณภาพ รวมทั้งสามารถนำผลการทดลองมาวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้อีกด้วย การออกแบบการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม มีคุณภาพตามต้องการ โดยการหาค่าที่มีความเหมาะสมที่สุด (Optimization) จะอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

6.1 การออกแบบการทดลองแบบ One-Variable-at-a-Time (OVAT)

การวางแผนการทดลองแบบดั้งเดิมที่ใช้กัน คือ วิธี One-Variable-at-a-Time (OVAT) เป็นการทดลองทีละปัจจัย โดยมีประสิทธิภาพในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น อาจนำมาศึกษาผลรวมของปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ผลที่ได้ อาจมีความคลาดเคลื่อน (Heck, 2006) ซึ่งการทดลองจะศึกษาทีละปัจจัย โดยแบ่งปัจจัยออกเป็นหลายระดับ และทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยทำเช่นเดียวกันกับปัจจัยอื่นๆ ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย จึงเป็นวิธีที่ต้องใช้เวลานาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการออกแบบการทดลองขึ้น เพื่อสามารถศึกษาผลของหลายๆ ปัจจัยพร้อมกัน โดยใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษทีละปัจจัย จึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของ input (factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ output (response) ที่เกิดขึ้น กระบวนการที่มีปัจจัย (factor) หรือ input (X_1, X_2, X_3, X_4) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (quality characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ X และ Y ต่างๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

6.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Experiment of Factorial Design) หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ประโยชน์ของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ได้แก่ ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากอันตรกิริยาของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ เนื่องจากการออกแบบการทดลองที่มี

ประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองทีละปัจจัย และทำให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ รวมทั้งสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้ ซึ่งการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

6.2.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 2 ปัจจัย เช่น ปัจจัย A และปัจจัย B โดยปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับ ส่วนปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งในแต่ละซ้ำของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ $a \times b$ การทดลอง และโดยปกติจะมีจำนวนซ้ำทั้งหมด n ครั้ง

6.2.2 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีมีปัจจัย k ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้จะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณหรือข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เครื่องจักร คนงาน ซึ่งภายใน 2 ระดับ จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำของปัจจัยหนึ่งๆ ใน 1 ซ้ำจะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2^k ข้อมูล การออกแบบการทดลองชนิดนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่ต้องการตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำได้

6.2.3 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ซึ่งใช้สัญลักษณ์ตัวเลขแทนระดับทั้ง 3 คือ -1, 0 และ 1 ตามลำดับ โดยสังเกตว่าการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะลักษณะที่เป็นสมการแบบ quadratic ได้

6.3 การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

วิธีนี้เป็นวิธีในการหาพื้นผิวตอบสนองที่นิยมใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสม โดยในกรณีนี้จะยกตัวอย่างการทดลองของ 2^2 แฟกทอเรียล คือ มีปัจจัย 2 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีระดับของปัจจัยคือ 2 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ และระดับสูง ซึ่งใช้สัญลักษณ์ตัวเลขแทนระดับต่ำและระดับสูง คือ -1 และ 1 ตามลำดับ โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วน

1. การหาจำนวนของตำแหน่งการทดลองของ 2^2 แฟกทอเรียล หาได้จากสมการที่ 6

$$n = \text{level}^{\text{factor}} \quad (6)$$

เมื่อ

n = จำนวนตำแหน่งการทดลอง

level = จำนวนระดับของปัจจัย

factor = จำนวนปัจจัยทั้งหมด

ในกรณีตัวอย่างนี้ n มีค่าเท่ากับ 2^2 ดังนั้นจะมีตำแหน่งการทดลองทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ $(-1,-1)$, $(+1,-1)$, $(-1,+1)$ และ $(+1,+1)$ ดังแสดงในภาพที่ 8

2. ส่วนของ axial point หรือ ตำแหน่งการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยจำนวนของ axial point หาได้จากสมการที่ 7

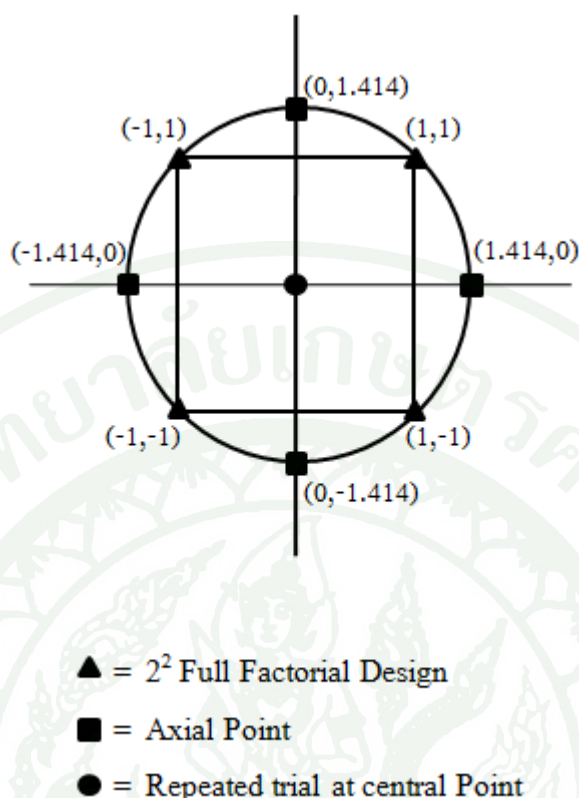
$$\text{axial point} = 2 \times \text{จำนวน factor} \quad (7)$$

ในกรณีตัวอย่างนี้ (แบบ 2^2 แฟกทอเรียล) จะมีตำแหน่งการทดลองที่เพิ่มขึ้นมาเท่ากับ 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง $(+\alpha,0)$, $(-\alpha,0)$, $(0,+\alpha)$ และ $(0,-\alpha)$ โดยค่า α สามารถหาได้จากสมการที่ 8

$$\alpha = n^{1/4} \quad (8)$$

จากกรณีตัวอย่าง ค่า α จะมีค่าเท่ากับ 1.414

3. ตำแหน่งตรงกลางของพื้นที่การทดลองอีก 1 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง $(0,0)$ เรียกว่า central point



ภาพที่ 8 ตำแหน่งการทดลองแบบ 2^2 factorial (กรณี k ในที่นี้คือ ปัจจัย 2 ตัว)

ในการกำหนดค่ารหัส (code) ของระดับปัจจัย กำหนดให้ 0 แทนค่ากลาง (central point) กรณีค่าสูงสุด กำหนดค่ารหัสด้วย +1 และค่าต่ำสุด กำหนดค่ารหัสด้วย -1 ส่วนของ axial point ให้ค่า $+\alpha$ และ $-\alpha$ แทนค่าสูงและต่ำ ตามลำดับ เมื่อนำไปคำนวณเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสามารถใช้ได้ทั้งค่าจริงและค่ารหัส โดยในการเปลี่ยนจากค่ารหัสเป็นค่าจริงสามารถหาได้จากสมการที่ 9

$$\text{code} = \frac{\text{real} - \text{Mean}}{\frac{\text{range}}{2}} \quad (9)$$

เมื่อ

code = ค่ารหัสที่ได้จากคำนวณด้วยสมการ

real = ค่าจริง

Mean = ค่าเฉลี่ยระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุด

range = ค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุด

จากสมการข้างต้นหากให้ค่ารหัสจากการทดลองแบบ 2^2 แฟกทอเรียล โดยให้ค่า -1 และ +1 มีค่าในการทดลองเท่ากับ 60 และ 80 ตามลำดับ และค่ารหัสของ α มีค่าเท่ากับ 1.414 ดังนั้นค่าจริงในการทดลองที่ตำแหน่ง α สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$1.414 = \frac{\text{real} - \frac{80 + 60}{2}}{\frac{80 - 60}{2}}$$

$$1.414 = \frac{\text{real} - 70}{10}$$

$$\text{real} = 84.14$$

7. การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology, RSM)

วิธีการหาพื้นผิวตอบสนองเป็นการศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองที่ต้องการ โดยใช้วิธีการทางสถิติขั้นสูง พื้นผิวตอบสนองสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยสาขาต่างๆ เช่น วิศวกรรม วิทยาศาสตร์การอาหาร ชีววิทยา และอุตสาหกรรม เป็นต้น เช่น ผลตอบสนอง Y เป็นฟังก์ชันของปัจจัย x_1 และ x_2 สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังสมการด้านล่าง

$$Y = f(x_1, x_2) + \epsilon$$

เมื่อ

x = ปัจจัย

ϵ = ค่าความคลาดเคลื่อน

Y = ผลที่ได้จากการทดลอง

หากกำหนด $E(Y) = f(x_1, x_2) = n$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการของพื้นผิวได้ คือ

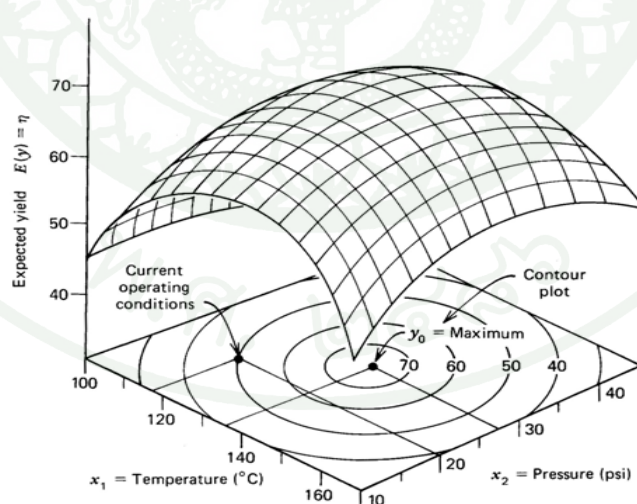
$$n = f(x_1, x_2)$$

นำค่า n มาพล็อตกราฟกับค่า x_1 และ x_2 แสดงเป็นผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว เพื่อช่วยในการมองรูปร่างของพื้นผิวตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 9 อย่างไรก็ตามในการศึกษาโดยใช้วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิวนั้น จำเป็นต้องค้นหาฟังก์ชันที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตามหรือค่าตอบสนองต่อตัวแปรอิสระต่างๆ เป็นลำดับแรก การค้นหาฟังก์ชันต่างๆ มักใช้ความสัมพันธ์แบบพหุนาม (Polynomial) ลำดับต้นๆ เช่น ลำดับหนึ่งหรือกำลังหนึ่ง (First order) ลำดับสองหรือกำลังสอง (Second order) เป็นต้น โดยทั่วไปฟังก์ชันซึ่งประมาณความสัมพันธ์แบบกำลังหนึ่ง มีรูปแบบดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + \epsilon$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเกี่ยวข้องกับระบบ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง ดังสมการ

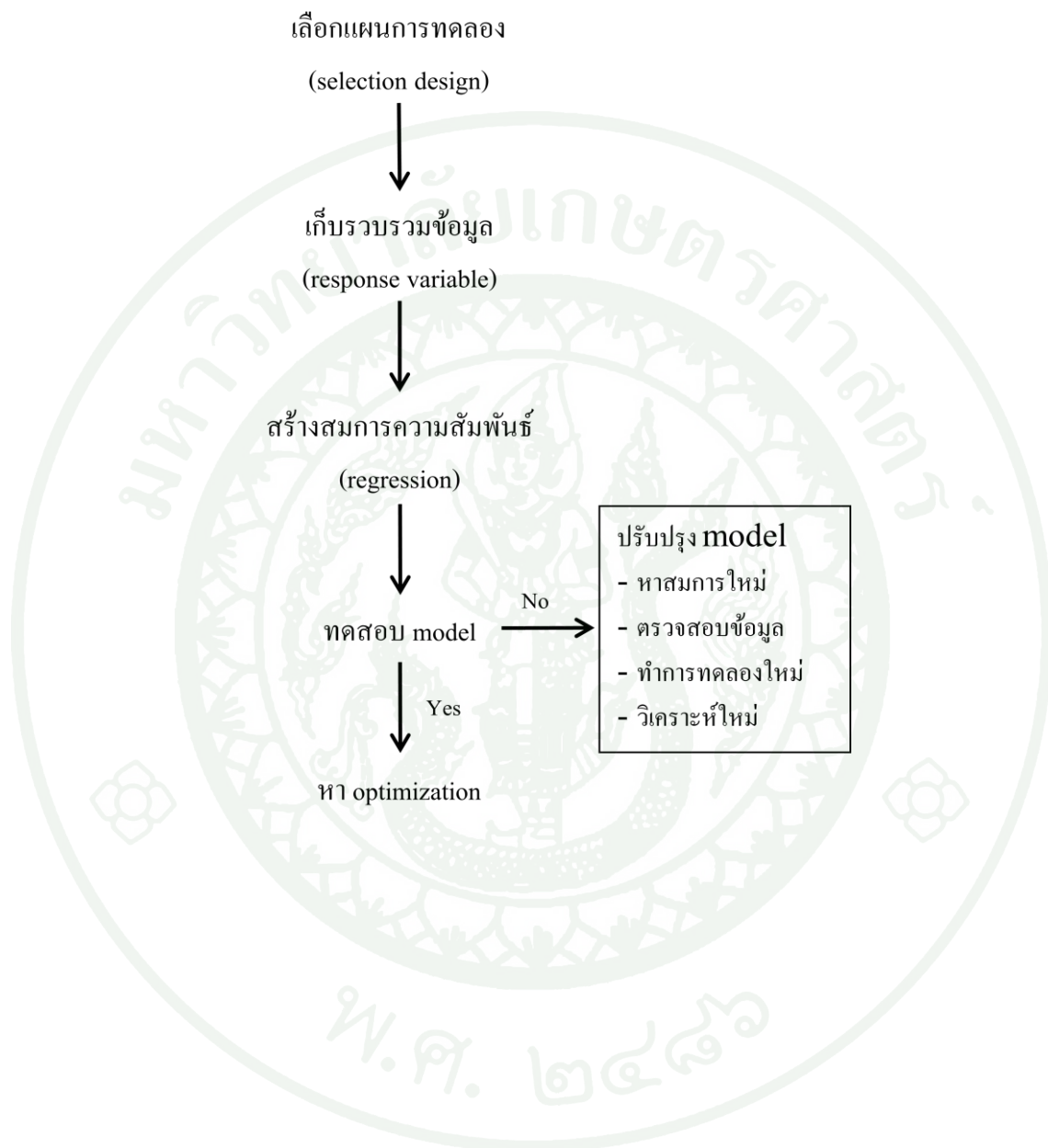
$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon$$



ภาพที่ 9 กราฟ 3 มิติของพื้นผิวตอบสนอง

ที่มา : อิศรพงษ์ (2550)

ขั้นตอนการทำ RSM จะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ (นงเยาว์, 2554)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 จิงแก่สด พันธุ์จิงใหญ่ (*Zingiber officinale* Roscoe) จากตลาดสี่มุมเมือง จังหวัดปทุมธานี

1.2 จิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้า

2. สารเคมี

2.1 กรดแกลลิก (Gallic acid monohydrate; $C_7H_6O_5 \cdot H_2O$; ACS reagent, $\geq 98.0\%$, Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)

2.2 สารโฟลีน-ซีโอเคาทุ (Folin & Ciocalteu's phenol reagent; 2 M (with respect to acid), Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)

2.3 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate; Na_2CO_3 , Analytical grade, Ajax Finechem, NSW, Australia)

2.4 เมทานอล (Methanol; CH_3OH , HPLC grade, Lab-Scan Analytical Sciences, Thailand)

2.5 กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid; $C_6H_8O_6$, ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์, Thailand)

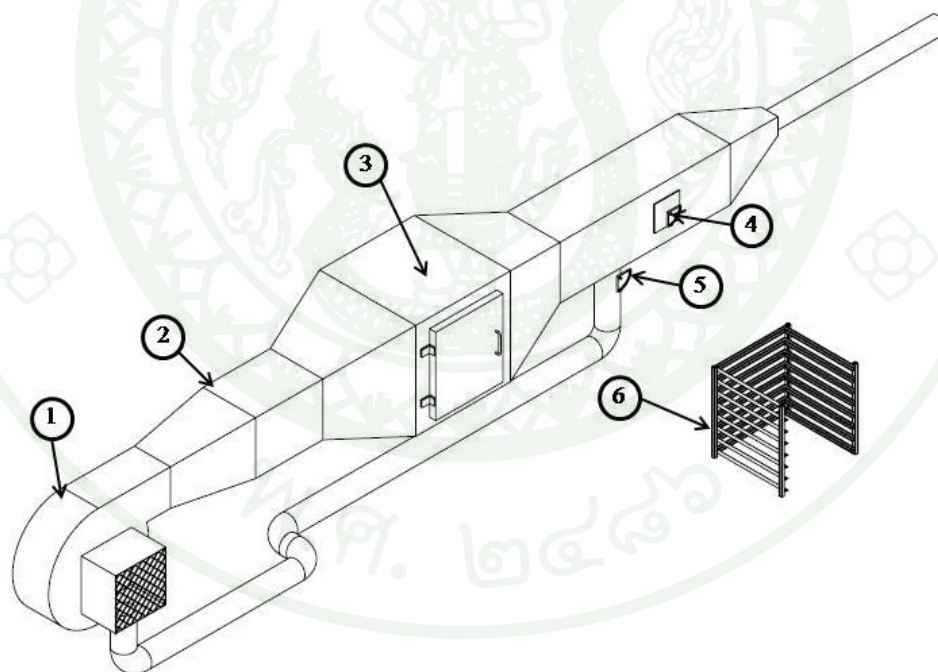
2.6 สารอนุมูลอิสระ ABTS (2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) ($C_{18}H_{24}N_6O_6S_4$, purum $\geq 99.0\%$ (HPLC), Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)

2.7 สารอนุมูลอิสระ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radicals) ($C_{18}H_{12}N_5O_6$, Sigma-Aldrich, Steinheim, Germany)

2.8 โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium Persulfate; $K_2S_2O_8$, Analytical grade, Ajax Finechem, NSW, Australia)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 เครื่องอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องอบแห้งแบบตู้ (cabinet dryer) โดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง (ดังแสดงในภาพที่ 12) ซึ่งประกอบด้วย 1) พัดลมชนิดแรงเหวี่ยงใบโค้งหน้า (Forward curved blade centrifugal fan) ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 2.2 kW, 2) ฮีตเตอร์ไฟฟ้า (electrical heater) ขนาด 2.5 kW จำนวน 5 ตัว, 3) ห้องอบแห้งขนาด $0.51 \times 0.51 \times 0.51$ เมตร ซึ่งหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว, 4) และ 5) วาล์ว และ 6) ชั้นวางถาดใส่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งถาดมีขนาด 0.23×0.29 เมตร อากาศจากภายนอกจะถูกดูดเข้าสู่เครื่องอบแห้งโดยพัดลม และถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าซึ่งควบคุมอุณหภูมิอากาศร้อนด้วยระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (Proportional-Integral-Derivative:PID) ความเร็วลม 0.3 m/s ตัวอย่างวางเรียงโดยมีทิศทางขนานกับลม



ภาพที่ 10 เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อน : 1—blower; 2—heater chamber; 3—drying chamber; 4—valve; 5—valve; และ 6—tray rack.

3.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Datalogger) ใช้บันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่วัดโดยสายเทอร์โมคัปเปิล ที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องอบแห้ง

3.3 อุปกรณ์อ่านค่าน้ำหนัก (Weighing indicator, Model AD-4329, A&D, Japan) ซึ่งต่อเข้ากับ Load cell ความละเอียด 0.5 g และบันทึกข้อมูลน้ำหนักลงเครื่องคอมพิวเตอร์ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง

3.4 โพรบวัดความชื้นสัมพัทธ์ (RH meter, Model AP-1701, คิลารีเลิร์ซ) ใช้สำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางเข้าและทางออกของห้องอบแห้ง สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 10-90 % ความละเอียด 0.1 %

3.5 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Model UNE 600, Thermo)

3.6 ตู้บ่มเพาะพร้อมระบบเขย่า (Orbital Shaker, Forma Model 480, Thermo)

3.7 เครื่องผสมสารละลายแบบวอร์เท็กซ์ (Vortex mixer, Genie II, U.S.A.)

3.8 เครื่องสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียง (Sonicator)

3.9 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ความละเอียด 0.01 g

3.10 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ความละเอียด 0.0001 g

3.11 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Model GeneQuant, GE)

3.12 เครื่องวัดสี (Color meter, HunterLab, ColorFlex)

3.13 เครื่องซีลปากถุง (Impulse sealer, Model KS-200, China)

3.14 เทอร์โมมิเตอร์อุณหภูมิ 0 ~ 200° C

3.15 อุปกรณ์เครื่องครัว

วิธีการ

1. การเตรียมตัวอย่าง

ซื้อจิงสดอายุประมาณ 10-12 เดือน จากตลาดสี่มุมเมือง ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 9-10 % d.b. เก็บจิงในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนนำไปอบแห้งนำจิงออกจากตู้เย็น ตั้งทิ้งไว้จนกระทั่งมี

อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเลือกเหง้าซึ่งที่มีขนาดใกล้เคียงกัน นำมาปอกเปลือก และตัดส่วนที่มีตาหนึ่ทั้ง ใช้เครื่องหั่นที่ประกอบด้วยมีดสแตนเลสให้เป็นแผ่นโดยมีความหนา 2 มิลลิเมตร จึงแผ่นจะถูกฟริทรีทเมนต์ โดยการลวกด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ $95\pm 1^{\circ}\text{C}$ นาน 2 นาที โดยใช้อัตราส่วนจึง 500 กรัม ในน้ำร้อน 2 ลิตร หรือแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.1% (ละลายกรดแอสคอร์บิก 1 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร) นาน 2 นาที โดยใช้อัตราส่วนจึง 500 กรัม ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก 2 ลิตร ก่อนนำไปอบแห้งเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเกี่ยวข้องกับเอนไซม์

2. การอบแห้ง

นำจึงแผ่นวางเรียงบนถาดมีรูจำนวน 5 ถาด แต่ละถาดมีน้ำหนักประมาณ 80 กรัม นำตัวอย่างใส่เครื่องอบแห้ง อบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ความเร็วลม 0.3 m/s จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ 5% d.b. บันทึกค่าน้ำหนักที่ลดลงของตัวอย่างที่แสดงผลจากอุปกรณ์อ่านค่าน้ำหนัก (AD-4329, Japan) ความละเอียด 0.5 ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างหาด้วยวิธี AOAC 934.06 โดยนำตัวอย่างไปอบด้วยตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C นาน 6 ชั่วโมง (AOAC, 1995) จึงแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้วเก็บในถุงซิปล็อก และเก็บในถุงอลูมิเนียมที่ถูกซีลปากถุง

3. การเตรียมจึงแห้งปั่น

นำจึงแผ่นที่ผ่านการอบแห้งแล้วปั่นในเครื่องปั่นเป็นเวลา 30 วินาที และร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรู 0.25 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้จึงผงที่มีขนาดเท่าๆ กัน

4. การสกัดตัวอย่าง

ในกรณีของจึงที่ไม่ผ่านการอบแห้ง เตรียมตัวอย่างโดยการสับให้มีขนาดเล็กก่อนนำไปสกัด กรณีจึงที่ผ่านการอบแห้งใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทำเป็นผงแล้ว นำตัวอย่างจึงผสมกับเมทานอล

(100%) ให้มีความเข้มข้น 0.003 กรัมแห้ง/มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Orbital shaker เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที กรองสารสกัดด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

5. การวิเคราะห์คุณภาพ

5.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

วิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในพืชด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ดัดแปลงจากวิธีของ Chan *et al.* (2008) โดยดูดสารสกัดซึ่งปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง เติม Folin-Ciocalteu reagent ที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นแล้ว 10 เท่า ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลายแบบวอร์เท็กซ์เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7.5% w/v (ละลายโซเดียมคาร์บอเนต 7.5 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) ปริมาณ 1.2 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลายแบบวอร์เท็กซ์เป็นเวลา 30 วินาที ทิ้งไว้ในที่มืดนาน 1 ชั่วโมง นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นในช่วง 10-90 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยแสดงผลเป็นค่ามิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกในตัวอย่างน้ำหนักแห้ง 1 กรัม (mg GAE/g dry matter)

5.2 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

วิธีการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดัดแปลงจากวิธีของ Chen *et al.* (2008) โดยดูดสารสกัดซึ่งปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองและเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ (ละลาย DPPH 3.9 มิลลิกรัมในเมทานอลบริสุทธิ์ 100 มิลลิลิตร) ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลายแบบวอร์เท็กซ์เป็นเวลา 30 วินาที ทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30

นาที่ และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยรายงานผลการต้านอนุมูลอิสระเป็น % scavenging activity ดังสมการ

$$\% \text{ scavenging activity} = \left(\frac{Abs_{\text{blank}} - Abs_{\text{sample}}}{Abs_{\text{blank}}} \right) \times 100$$

เมื่อ Abs_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารควบคุม ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย DPPH และเมทานอล

Abs_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย DPPH และสารสกัดตัวอย่างจึง

5.3 การตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS)

วิธีการตรวจสอบสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ดัดแปลงจากวิธีของ Re *et al.* (1999) โดยผสมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ (ละลาย ABTS 0.0192 กรัมในน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร) กับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ (ละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.0694 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร) ในอัตรา 1:1 เก็บไว้ในที่มืด 16 ชั่วโมง จะได้สารละลาย $ABTS^{+•}$ ที่มีสีเขียวเข้ม จากนั้นเจือจางสารละลาย $ABTS^{+•}$ ด้วยเมทานอล (100%) จนกระทั่งวัดค่าดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.7 ± 0.05 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ซึ่งจะใช้สารละลาย $ABTS^{+•}$ ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ผสมกับเมทานอล (100%) 96 มิลลิลิตร จากนั้นดูดสารสกัดจึงปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง และเติมสารละลาย $ABTS^{+•}$ ที่เจือจางแล้วปริมาณ 3.9 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องผสมสารละลายแบบวอร์เท็กซ์เป็นเวลา 30 วินาที ทิ้งไว้ในที่มืดนาน 7 นาที นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยรายงานผลการต้านอนุมูลอิสระเป็น % scavenging activity ดังสมการ

$$\% \text{ scavenging activity} = \left(\frac{Abs_{\text{blank}} - Abs_{\text{sample}}}{Abs_{\text{blank}}} \right) \times 100$$

เมื่อ Abs_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารควบคุม ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย ABTS และเมทานอล

Abs_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย ABTS และสารสกัดตัวอย่างจริง

5.4 การทดสอบคุณภาพด้านสี

ทดสอบคุณภาพด้านสีของขิงแผ่นสดและขิงผงด้วยเครื่องมือวัดสี HunterLab รุ่น ColorFlex จะวัดตามระบบการวัดสีของ CIE (Commission International de l' Eclairage) วัดค่าสีออกมาเป็นค่า L, a และ b โดยค่า L แสดงถึงค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 - 100 ค่า a แสดงถึงค่าความแดง มีค่าอยู่ในช่วง -60 ถึง +60 ซึ่งแสดงค่าสีเขียวถึงแดง และค่า b แสดงถึงค่าความเหลือง มีค่าอยู่ในช่วง -60 ถึง +60 ซึ่งแสดงค่าสีน้ำเงินถึงเหลือง โดยก่อนการวัดสีตัวอย่างทุกครั้งต้องทำการปรับเทียบอุปกรณ์วัดกับแผ่นสีขาวและสีดำมาตรฐาน ในกรณีขิงสดหั่นขิงให้มีความหนาเท่ากันทุกครั้ง สำหรับขิงผงให้เทใส่กระบอกแก้ว โดยให้ผิวหน้าเรียบและสม่ำเสมอในปริมาณ 2/10 ของกระบอกแก้ว วางลงบนช่องทดสอบและครอบด้วยฝาสีดำ ทำการวัดออกมาเป็นค่า L, a และ b นำมาคำนวณเป็นค่าความแตกต่างของความสว่างของตัวอย่างก่อนและหลังอบแห้ง (ΔL), ค่าความแตกต่างของความแดงของตัวอย่างก่อนและหลังอบแห้ง (Δa), ค่าความแตกต่างของความเหลืองของตัวอย่างก่อนและหลังอบแห้ง (Δb) และค่าการเปลี่ยนแปลงของสีรวม (ΔE)

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

เมื่อ

$$\Delta L = L_f - L_d$$

$$\Delta a = a_f - a_d$$

$$\Delta b = b_f - b_d$$

หมายเหตุ

L_f = ค่าความสว่างของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง

L_d = ค่าความสว่างของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง

a_f = ค่าความแดงของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง

a_d = ค่าความแดงของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง

b_f = ค่าความเหลืองของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการอบแห้ง

b_d = ค่าความเหลืองของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง

6. การหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งจึงประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่อุปกรณ์ให้ความร้อนและพัดลม บันทึกค่าการใช้พลังงานจากมิเตอร์ของอุปกรณ์ให้ความร้อนและพัดลมแต่ละการทดลอง นำค่าที่ได้ไปทำการคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ที่ใช้ในการอบแห้ง โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$SEC = \frac{E_{\text{Heater}} + E_{\text{Blower}}}{W}$$

เมื่อ

SEC = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/kg water evap

E_{Heater} = ค่าการใช้พลังงานจากมิเตอร์ของอุปกรณ์ให้ความร้อน, MJ

E_{Blower} = ค่าการใช้พลังงานจากมิเตอร์ของพัดลม, MJ

W = ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง, kg water evap

7. การวิเคราะห์สถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้การทดสอบของ Tukey ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS 16.0

8. การวิเคราะห์ความเหมาะสม

ใช้แผนการทดลองแบบ 2^2 factorial โดยมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิอบแห้งและการฟrit ทรีทเมนต์ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การลวกและการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ในแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ -1 และ +1 โดยอุณหภูมิอบแห้ง คือ 60 และ 80°C การฟrit ทรีทเมนต์ด้วยการลวก คือ ระยะเวลาในการลวกที่ 0 และ 2 นาที และการฟrit ทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก คือ ระดับความเข้มข้นที่ 0 และ 0.1% ซึ่งในแต่ละการทดลองมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง โดยมีจำนวนซ้ำทั้งหมด 2 ซ้ำ เปรียบเทียบจุดที่เหมาะสมของคุณภาพจึงอบแห้งที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งและระยะเวลาในการลวก กับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบแห้งและระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิก ซึ่งคุณภาพจึงอบแห้ง ได้แก่ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS, ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีรวม และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งระบุน้ำหนักความสำคัญของแต่ละคุณภาพเท่ากันทั้งหมด โดยหาออกมาเป็นสมการแบบกำลังหนึ่งหรือสมการเส้นตรงในรูปแบบ $Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \epsilon$ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรม Minitab 15 ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลและวิจารณ์

1. จลนพลศาสตร์การอบแห้งของขิงแผ่นที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์

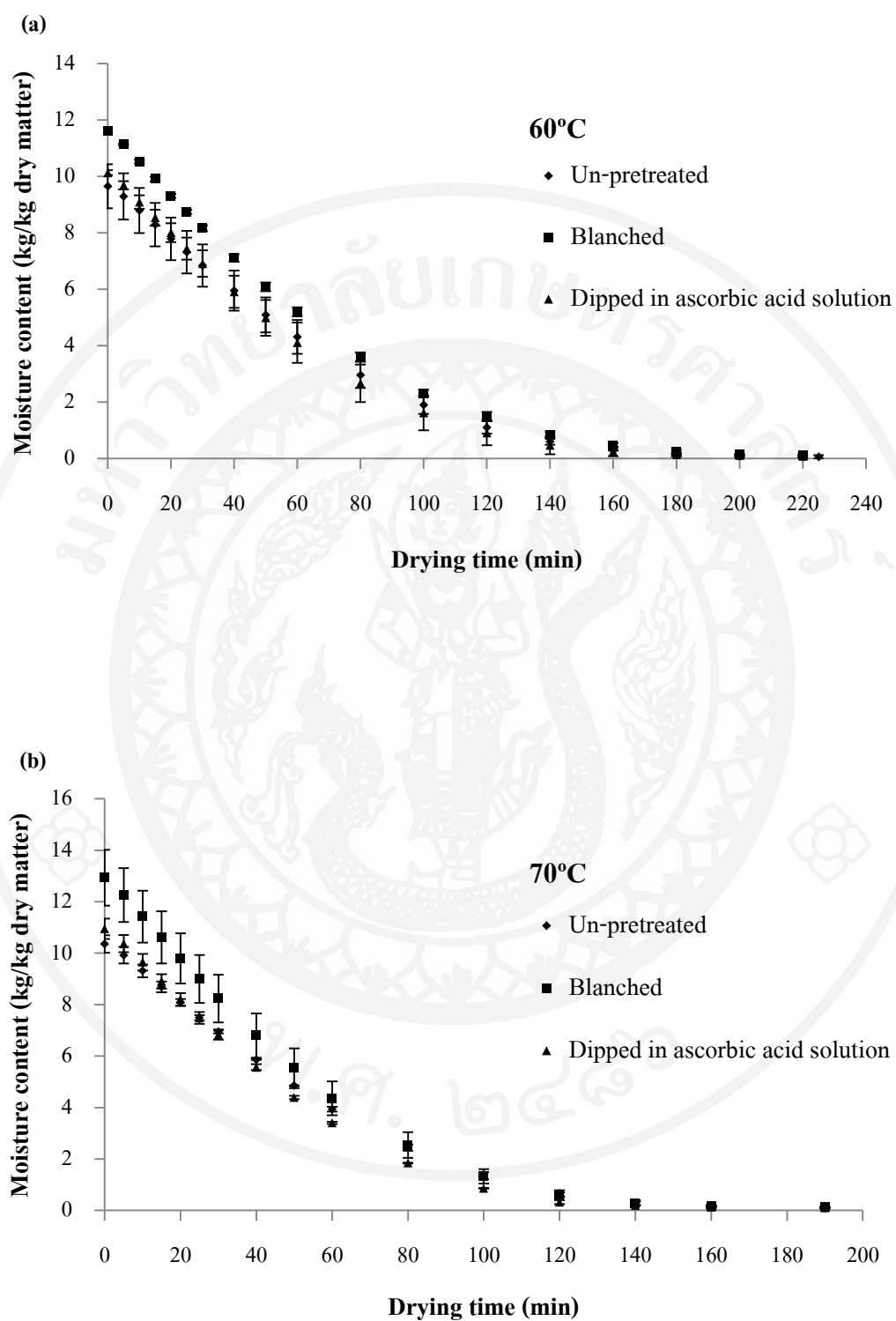
ภาพที่ 11 a-c แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของขิงแผ่นที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวกและแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C จากรูปจะเห็นได้ว่าความชื้นเริ่มต้นของขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์มีความแตกต่างกัน โดยขิงสดมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 1000% d.b. ในกรณีขิงที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์มีความชื้นเริ่มต้นสูงกว่าขิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ โดยขิงที่ผ่านการลวกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 1200-1300% d.b. โดยความชื้นที่มากกว่าอาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของขิงในกระบวนการลวก ซึ่งการลวกอาจมีผลทำให้โครงสร้างของขิงมีความอ่อนนุ่ม ทำให้เกิดการดูดซับน้ำมากขึ้น (Chantaro *et al.*, 2008; Nilnakara *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามขิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.1% นาน 2 นาที มีความชื้นเริ่มต้นสูงกว่าขิงที่ไม่ได้ผ่านการพรีทรีทเมนต์เพียงเล็กน้อย โดยขิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีความชื้นเริ่มต้น 1000-1100% d.b. แม้ว่าโครงสร้างของขิงจะเปลี่ยนแปลงโดยมีความอ่อนนุ่มลง เนื่องจากสภาพความเป็นกรดของสารละลายกรดแอสคอร์บิก และทำให้เกิดการดูดซับน้ำเข้าสู่เซลล์ แต่ในงานวิจัยนี้ทำการแช่ขิงในน้ำอุณหภูมิปกติ และใช้ระยะเวลาในการแช่นานเพียง 2 นาที อาจส่งผลต่อโครงสร้างของขิงน้อยกว่าการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวก

เมื่อพิจารณาผลของการพรีทรีทเมนต์ต่อการลดลงของความชื้น พบว่าความชื้นของขิงที่ผ่านการลวกลดลงเร็วกว่าขิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ และขิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ในขณะที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของขิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ และขิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกไม่แตกต่างกัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของขิงที่ผ่านการลวกเกิดความอ่อนนุ่มและสูญเสียสภาพ ซึ่งมีผลทำให้การแพร่ของความชื้นเกิดขึ้นได้ดี (Chantaro *et al.*, 2008; Nilnakara *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของการพรีทรีทเมนต์ต่อระยะเวลาการอบแห้ง พบว่าระยะเวลาการอบแห้งของขิงที่ผ่านการลวกไม่แตกต่างกับขิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ และขิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก (ดังแสดงในตารางที่ 3) แม้ว่าขิงที่ผ่านการลวกจะเกิดการลดลงของความชื้นดีกว่าขิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ และขิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก แต่ความชื้นเริ่มต้นของ

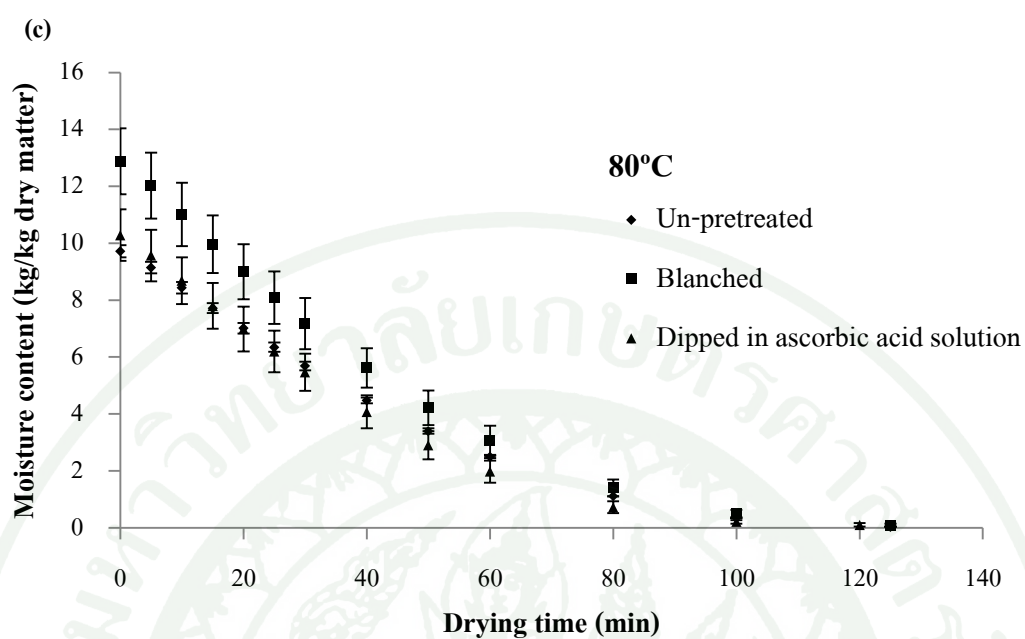
จึงที่ผ่านการลวกมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ อาจส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อการลดลงของความชื้น พบว่าจึงแผ่นที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะมีการลดลงของความชื้นรวดเร็วกว่าจึงแผ่นที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ ทั้งจึงแผ่นที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์ ดังแสดงในภาพที่ 11a-c เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศร้อนกับจึงแผ่น ในกรณีอุณหภูมิอบแห้งสูงมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอบแห้งต่ำ ทำให้การระเหยน้ำกรณีอุณหภูมิอบแห้งสูงเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการระเหยน้ำที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ทำให้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ถึง 44.44, 43.18 และ 45.45% สำหรับจึงแผ่นอบแห้งที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์, จึงแผ่นอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวก และจึงแผ่นอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ

จากภาพที่ 12 a-c แสดงถึงอัตราการอบแห้งของจึงที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเพิ่มอุณหภูมิวัสดุและช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งพบว่าช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (H) ของจึงแผ่นอยู่ให้ช่วง 5 - 10 นาทีแรกของการอบแห้ง โดยเป็นเพียงช่วงสั้นๆ ของการอบแห้งเท่านั้น และเกิดอัตราการอบแห้งลดลงโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ อัตราการอบแห้งลดลงช่วงแรก (I) เป็นช่วงความชื้นประมาณ 200-1100% d.b. ในช่วงนี้ น้ำที่เคลื่อนที่จากภายในจึงแผ่นมีไม่เพียงพอที่จะไปเติมเต็มน้ำที่เพิ่งระเหยออกไปจากบริเวณผิว หรือกล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในจึงแผ่นมายังผิวนอกช้ากว่าการพาความชื้นจากผิวนอกไปยังอากาศร้อน ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง และเมื่อน้ำจากภายในจึงแผ่นมีไม่เพียงพอที่จะไปเติมเต็มน้ำที่เพิ่งระเหยออกไปจากบริเวณผิวจะทำให้ผิวของจึงแผ่นบางส่วนเริ่มแห้ง เมื่อการอบแห้งดำเนินต่อไปจะเกิดอัตราการอบแห้งลดลงช่วงที่สอง (II) โดยเริ่มในช่วงความชื้นประมาณ 200% d.b. เป็นช่วงที่ผิวของจึงแผ่นจะแห้งอย่างสมบูรณ์ และชั้นของโซนแห้งจะค่อยๆ เคลื่อนตัวเข้าไปในเนื้อจึงแผ่น นอกจากนั้นพบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนในการอบแห้ง เนื่องจากอุณหภูมิอากาศร้อนที่สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าอัตราการอบแห้งของจึงแผ่นที่ผ่านการลวกมีค่าสูงที่สุด เนื่องมาจากเกิดความร้อนนุ่มและสูญเสียสภาพจากกระบวนการลวก ส่งผลให้น้ำภายในเนื้อจึงแผ่นเคลื่อนที่ออกมาได้เร็วกว่าจึงแผ่นที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ และจึงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก



ภาพที่ 11 a-c เปรียบเทียบการลดความชื้นของการอบแห้งซึ่งไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์และพรีทรีทเมนต์ด้วยวิธีต่างๆ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60-80°C

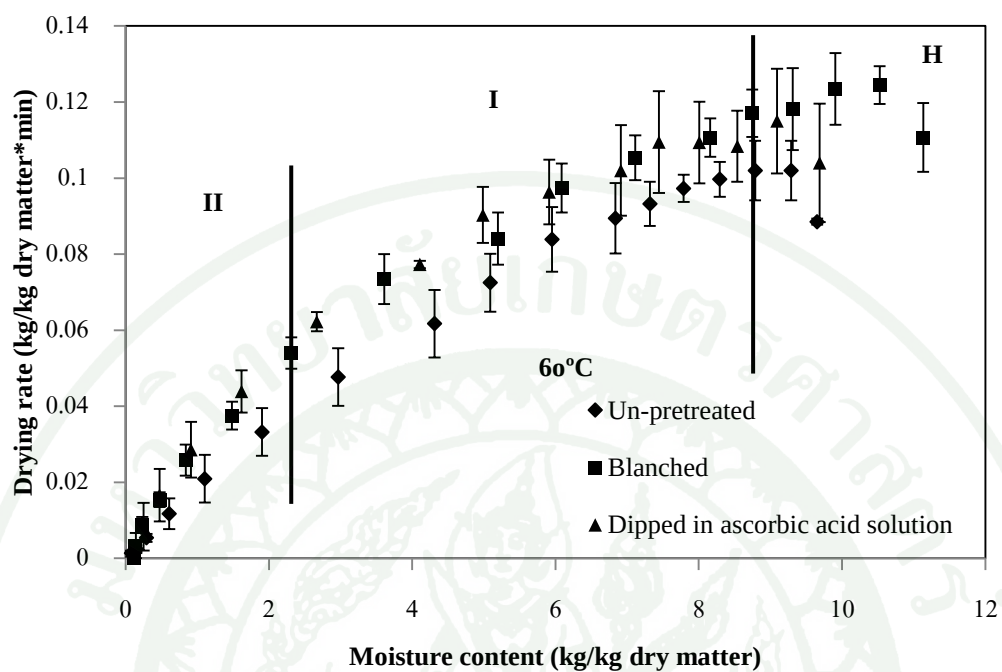


ภาพที่ 11 a-c (ต่อ)

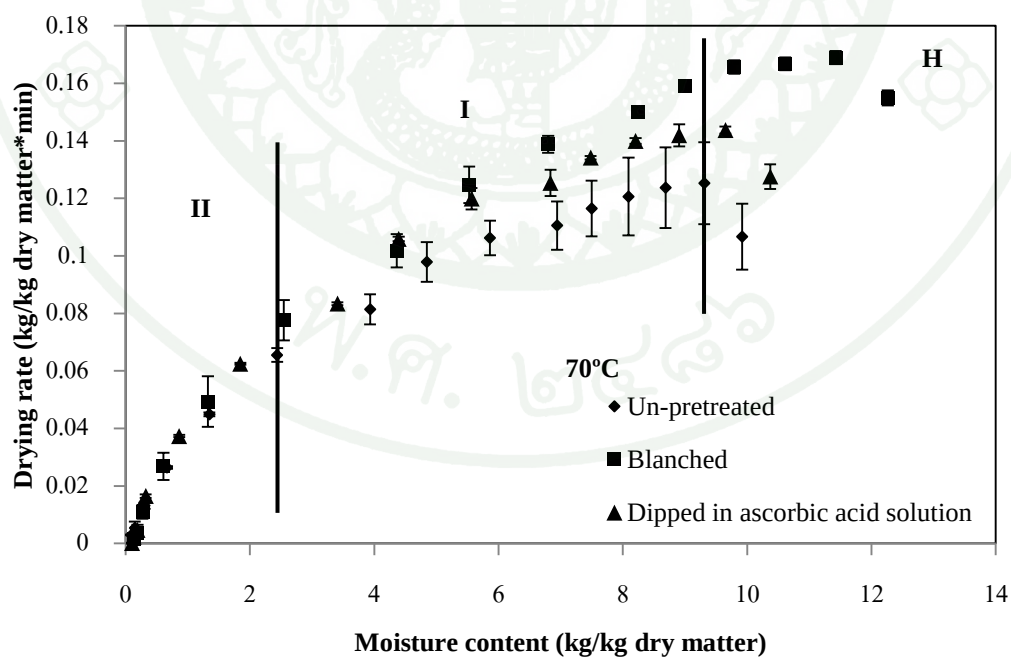
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบระยะเวลาอบแห้งของจิงออบแห้งแบบผ่านการพรีทรีทเมนต์และไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ที่อุณหภูมิ 60-80°C

Sample	Drying temperature (°C)	Drying time (min)
Un-pretreated	60	225
	70	190
	80	125
Blanched	60	220
	70	190
	80	125
Dipped in ascorbic acid solution	60	220
	70	190
	80	120

a

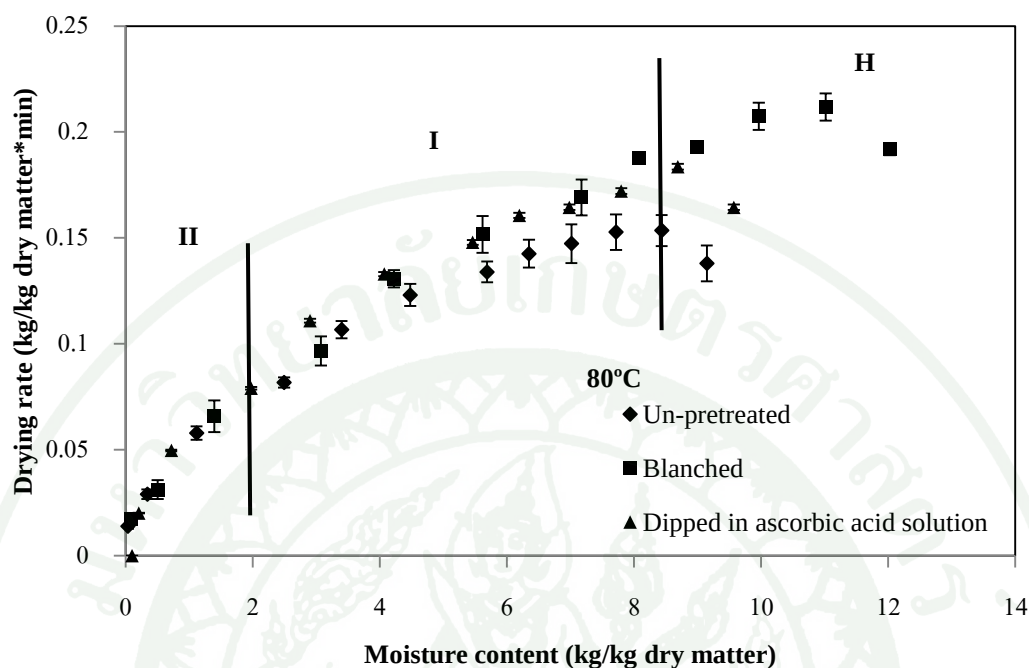


b



ภาพที่ 12 a-c เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งจึงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์และพรีทรีทเมนต์ด้วยวิธีต่างๆ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60-80°C

c



ภาพที่ 12 a-c (ต่อ)

2. คุณภาพของขิงสดและขิงแผ่นอบแห้งที่ผ่านและไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์

2.1 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในขิงแผ่นที่ไม่ผ่านการอบแห้งและผ่านการอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของขิงสด (ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์) มีค่าประมาณ 15 mg GAE/g dry matter โดยความแตกต่างของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดอาจเกิดจากความแตกต่างของสายพันธุ์หรือพื้นที่เพาะปลูก รวมถึงอายุการเก็บเกี่ยว เห็นได้จากงานทดลองของ Chen *et al.* (2008) ซึ่งศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในขิงในแต่ละสายพันธุ์ในประเทศไทยได้พบ ซึ่งสกัดด้วยสารเมทานอลมีค่าอยู่ในช่วง 15-37 mg GAE/g dry matter โดยจะเห็นว่าขิงแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมในการปลูก สอดคล้องกับงานของ Ghasemzadeh *et al.* (2010) ที่ศึกษาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในเหง้าขิงอ่อน (*Zingiber officinale* Roscoe.) ซึ่งเก็บเกี่ยวเมื่อมีอายุ 4

เดือน พันธุ์ Halia Bentong และ Halia Bara ในประเทศมาเลเซีย พบว่ามีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดระหว่าง 10.1 และ 13.4 mg GAE/g dry matter ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลของการฟิตรีทเมนต์ พบว่าจึงที่ผ่านการลวกมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดต่ำกว่าจึงที่ไม่ผ่านการฟิตรีทเมนต์ โดยปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในจึงที่ผ่านการลวกมีค่าลดลง 25% หลังผ่านการลวกนาน 2 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4 การลดลงของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดอาจเนื่องมาจากปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูญเสียในระหว่างการลวกด้วยน้ำร้อน โดยการลดลงของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดหลังการลวกนี้พบได้ในพืชผักชนิดอื่นๆ เช่น กะหล่ำปลี (Amin and Lee, 2005), เปลือกแครอท (Chantaro *et al.*, 2008), เปลือกนอกของกะหล่ำปลี (Nilnakara *et al.*, 2009) และกากของมะนาว (Kuljarachanan *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามในผักบางชนิด เช่น ในกรณีของ Ewuro-odo (*Structium sparejanophora*), โหระพาแอฟริกา (*Ocimum gratissimum*) และมะเขือแอฟริกา (*Solanum macrocarpon*) มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นหลังการลวก (Obboh, 2005) การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดนี้อาจเนื่องมาจากการแตกตัวของสารแทนนิน ไปเป็นสารฟีนอลิกขนาดเล็กในช่วงการลวก อย่างไรก็ตามสารแทนนินไม่ใช่สารที่เป็นองค์ประกอบหลักในจึง (Nwinuka *et al.*, 2005) จึงอาจไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ในกรณีของจึงแผ่นที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกับจึงที่ไม่ผ่านการฟิตรีทเมนต์ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Rababah *et al.* (2005) ซึ่งศึกษาผลของการแช่พืช, แอปเปิ้ล และสตอเบอรี่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.1% (w/v) นาน 2 นาที ต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าพืช, แอปเปิ้ล และสตอเบอรี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฟิตรีทเมนต์ อย่างไรก็ตาม Rocha and Morais (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของแอปเปิ้ล (*Malus domestica*) หลังการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.75% (w/v) นาน 5 นาที จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในชิ้นแอปเปิ้ลเพิ่มขึ้นหลังการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ใช้มากกว่า และระยะเวลาในการแช่ที่ยาวนานกว่าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

เมื่อพิจารณาจึงที่ผ่านการอบแห้ง โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4 พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังการอบแห้ง ทั้งในกรณีจึงแผ่นที่ผ่านและไม่ผ่านการฟิตรีทเมนต์ โดยสอดคล้องกับผลการทดลองของ Puengphian and Sirichote (2008) ซึ่ง

อบแห้งซึ่งที่อุณหภูมิ $55 \pm 2^{\circ}\text{C}$ พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นหลังการอบแห้ง โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดนี้ อาจเนื่องมาจากการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกชนิด bound จากการแตกตัวของเนื้อเยื่อของเซลล์ (Haard and Chism, 1996) และอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของสาร gingerol ไปเป็นสาร shogaols และ zingerone เนื่องจากความร้อนในกระบวนการอบแห้ง (Balladin *et al.*, 1996; Ali *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2010) นอกจากนี้พบว่าหลังการอบแห้ง ซึ่งที่ผ่านการพริทรีทเมนต์มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากกว่าซึ่งที่ไม่ผ่านการพริทรีทเมนต์ โดยซึ่งที่ผ่านการพริทรีทเมนต์ด้วยการลวกมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น 46% หลังการอบแห้ง รองมาคือ ซึ่งที่ผ่านการพริทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก และซึ่งที่ไม่ผ่านการพริทรีทเมนต์ มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น 43% และ 22% หลังการอบแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการ พริทรีทเมนต์สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น เอนไซม์ PPO ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับสารฟีนอลิกได้สารประกอบสีน้ำตาล เป็นผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดลดลง (Piližota and Šubarić, 1998) โดยซึ่งที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด โดยมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ในช่วง 21.3-22.7 mg GAE/g dry matter เนื่องมาจากกรดแอสคอร์บิกมีสมบัติเป็นสาร reducing agent สามารถรีดิวซ์สารควิโนนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลกับเอนไซม์ PPO ให้กลับมามีอยู่ในรูปของสารประกอบฟีนอลตามเดิม ก่อนที่สารควิโนนจะทำปฏิกิริยาต่อไปจนกลายเป็นสารประกอบสีน้ำตาล

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกันในช่วง $60-80^{\circ}\text{C}$ ไม่ส่งผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ทั้งซึ่งที่ไม่ผ่านการพริทรีทเมนต์ และซึ่งที่ผ่านการพริทรีทเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 4 แม้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการเร่งการเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่สั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อาจส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกับซึ่งที่อบแห้งในอุณหภูมิอื่นๆ

2.2 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 4 แสดงสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของซึ่งสดและซึ่งแผ่นอบแห้ง สำหรับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของซึ่งสดที่ไม่ผ่านการพริทรีทเมนต์ คือ 86.7 และ 47.3% ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งสารอนุมูล

อิสระ DPPH ได้มากกว่า ABTS อย่างไรก็ดีทั้ง 2 วิธีมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ จิงที่ผ่านการลวกมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฟริทเทเมนต์และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก อาจเนื่องมาจากปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของจิงที่ผ่านการลวกมีค่าต่ำ ในกรณีจิงที่ผ่านการแช่ในการสารละลายกรดแอสคอร์บิก พบว่ามีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกับจิงสด โดยผลมีความสอดคล้องกับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกในจิงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย (Chumroenphat *et al.*, 2011)

เมื่อพิจารณาผลของการอบแห้งต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของจิงแผ่นอบแห้งสูงกว่าจิงที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ทั้งจิงที่ไม่ผ่านและผ่านการฟริทเทเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 4 การเพิ่มขึ้นของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสาร gingerol เป็น shogaol ในช่วงการอบแห้ง เนื่องจากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Balladin *et al.*, 1996; Ali *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2010) โดย Balladin *et al.* (1996) และ Jolad *et al.* (2005) พบว่าปริมาณของสาร 6-shogaol ในจิงอบแห้งมีค่าสูงกว่าจิงสด อีกทั้ง Dugasani *et al.* (2010) ศึกษาผลของสารประกอบหลักในจิง เช่น gingerol และ shogaol ต่อการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จากผลการทดลองพบว่าสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของ 6-shogaol มากกว่า 10-gingerol มากกว่า 8-gingerol มากกว่า 6-gingerol โดยที่ผ่านมามีเพียงการศึกษาฤทธิ์ทางยาของสาร 6-gingerol อย่างไรก็ดีตามจากการศึกษาของ Dugasani *et al.* (2010) พบว่าสาร 6-shogaol มีสมบัติการต้านทานอนุมูลอิสระมากกว่าสาร 6-gingerol สาร 6-shogaol จึงเป็นสารที่มีประโยชน์อีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ สำหรับการศึกษาต่อไป

เมื่อพิจารณาผลของการฟริทเทเมนต์ พบว่าจิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ได้สูงที่สุดถึง 90 และ 60% ตามลำดับ และจิงที่ไม่ผ่านการฟริทเทเมนต์และจิงที่ผ่านการลวกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด โดยเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิอบแห้งในช่วง 60-80°C ไม่ส่งผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ทั้งจิงที่ไม่ผ่านและผ่านการฟริทเทเมนต์ เมื่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกัน สมบัติการต้านอนุมูลอิสระจึงไม่แตกต่างกันไปด้วย และเมื่อมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงจะมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระสูงตามด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดแล้ว พบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวก ดังแสดงในภาพ

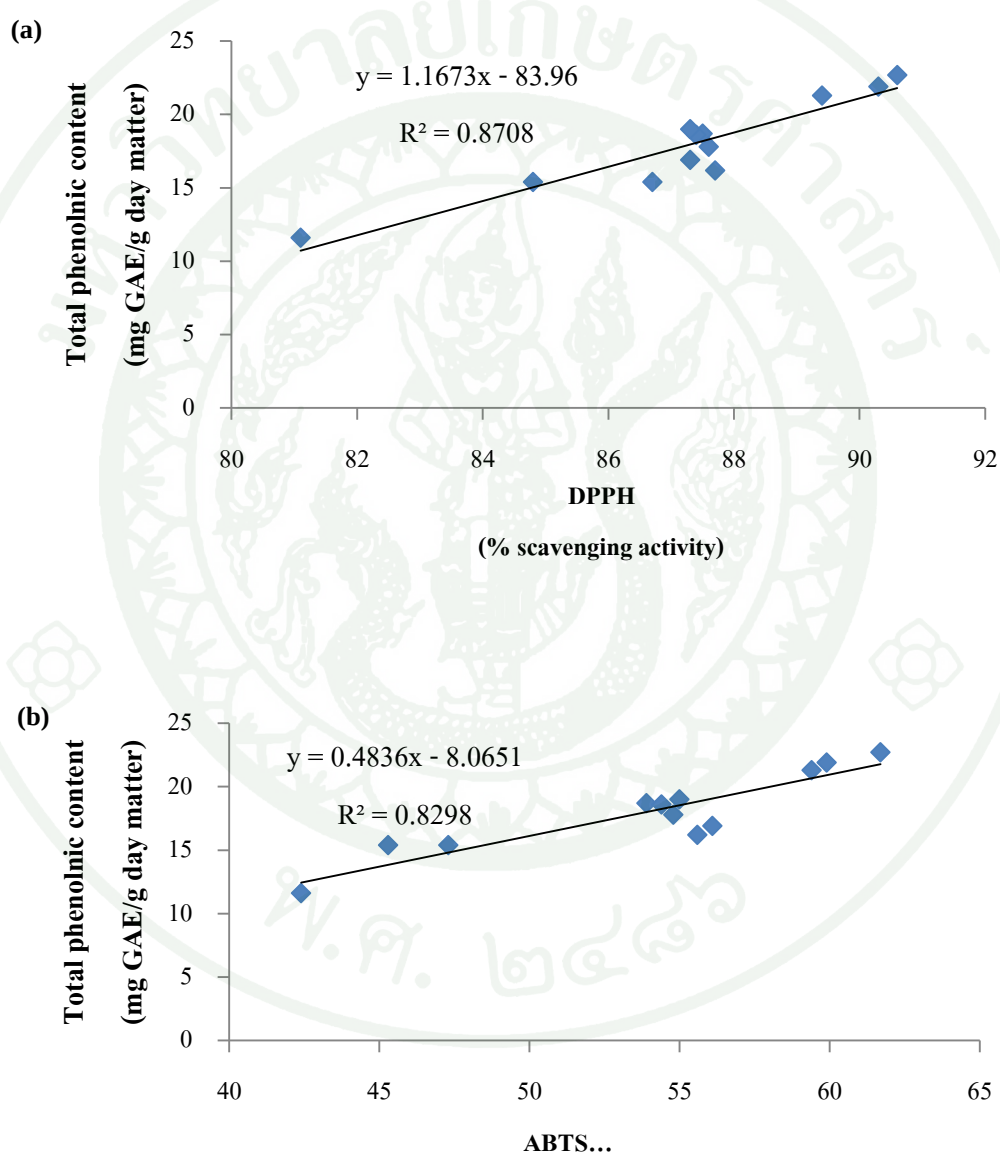
ที่ 13 โดยสอดคล้องกับผลการทดลองของ Kaur and Kapoor (2002), Cai *et al.* (2004), Qusti *et al.* (2010), Ghasemzadeh *et al.* (2010) และ Chumroenphat *et al.* (2011)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของตัวอย่างขิงที่ไม่ได้ทำการอบแห้งและขิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์และพรีทรีทเมนต์ด้วยวิธีต่างๆ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60-80° C

Sample Condition	Total phenolic content (mg GAE/g dry mater)	DPPH (% scavenging activity)	ABTS (% scavenging activity)
Un-dried			
Un-pretreated	15.41±1.05 ^c	86.67±0.65 ^{cd}	47.28±1.29 ^e
Blanched	11.60±1.18 ^d	81.14±0.43 ^e	42.39±2.02 ^f
Dipped in ascorbic acid solution	15.39±1.86 ^c	84.77±2.38 ^d	45.28±2.99 ^{ef}
Dried			
Un-pretreated			
60°C	18.71±0.12 ^b	87.51±0.52 ^{bc}	53.93±0.56 ^d
70°C	18.62±0.04 ^b	87.37±1.16 ^{bc}	54.37±3.36 ^d
80°C	19.0±0.2 ^b	87.33±0.19 ^{bc}	55.03±0.38 ^{cd}
Blanched			
60°C	16.90±0.78 ^{bc}	87.25±0.23 ^{bcd}	56.14±1.05 ^{bcd}
70°C	17.76±0.05 ^b	87.56±0.50 ^{bc}	54.84±1.10 ^{cd}
80°C	16.90±0.63 ^{bc}	87.70±0.48 ^{bc}	55.56±0.53 ^{bcd}
Dipped in ascorbic acid solution			
60°C	21.91±0.02 ^a	90.25±0.39 ^a	59.89±0.54 ^{ab}
70°C	22.73±0.19 ^a	90.59±0.31 ^a	61.68±9.7 ^a
80°C	21.30±0.29 ^a	89.38±0.11 ^{ab}	59.40±1.10 ^{abc}

ตารางที่ 4 (ต่อ)

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (a) และ ABTS (b)

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของชิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้า โดยแสดงผลในตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ระหว่างชิงจากงานวิจัยนี้และชิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้า พบว่าชิงจากงานวิจัยนี้มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS สูงกว่าชิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้า โดยชิงจากงานวิจัยนี้มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS สูงกว่าชิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้าถึง 86.36, 77.78 และ 70.49% ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ของตัวอย่างชิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้า

Sample Condition	Total phenolic content (mg GAE/g dry mater)	DPPH (% scavenging activity)	ABTS (% scavenging activity)
ชิงทางการค้ายี่ห้อ A	3.03±0.46	20.16±2.38	18.62±5.56

2.3 สี

สีของชิงแผ่นที่ไม่ผ่านการอบแผ่นและชิงผงแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งแสดงค่าความสว่าง (L-value), ความแดง (a-value) และความเหลือง (b-value) จากตารางพบว่าชิงที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีค่า L มากกว่าชิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ อาจเนื่องมาจากการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Rababah *et al.* (2005) ซึ่งพบว่าตัวอย่าง (แอปเปิ้ล, พืช และสตอร์เบอร์รี่) ซึ่งแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.1 (w/v) นาน 2 นาที มีค่า L สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ ในกรณีการลวกสามารถยับยั้งเอนไซม์ PPO ได้เช่นกัน (Piližota and Šubarić, 1998) แต่ตัวอย่างที่ผ่านการลวกกลับมีสีคล้ำกว่าและค่าความเหลืองลดลง อาจเนื่องมาจากเกิดการสูญเสียเม็ดสีในระหว่างการลวก (Reyes De Corcuera *et al.*, 2004)

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบสีของตัวอย่างขิงที่ไม่ได้ทำการอบแห้งและขิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ และพรีทรีทเมนต์ด้วยวิธีต่างๆ และการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60-80° C

Sample Condition	<i>L</i> - value	<i>a</i> - value	<i>b</i> - value	ΔE
Un-dried				
Un-pretreated	54.78±0.22 ^f	-1.03±0.80 ^{ef}	17.40±0.76 ^c	-
Blanched	51.15±0.13 ^g	-0.20±0.02 ^c	15.37±0.55 ^f	-
Dipped in ascorbic acid solution	56.51±0.55 ^e	-1.20±0.01 ^f	17.40±0.21 ^e	-
Dried				
Un-pretreated				
60°C	64.08±0.49 ^{bc}	2.65±0.03 ^{cd}	23.42±0.03 ^a	11.70±0.42 ^a
70°C	64.69±0.02 ^{ab}	2.21±0.02 ^d	22.02±0.05 ^{bc}	11.42±0.76 ^{ab}
80°C	63.78±0.27 ^{bc}	2.96±0.04 ^{bcd}	23.33±0.01 ^a	11.51±0.64 ^{ab}
Blanched				
60°C	57.22±0.07 ^{de}	4.35±0.04 ^a	20.25±0.27 ^d	9.02±0.18 ^c
70°C	57.48±0.06 ^d	4.17±0.01 ^a	20.11±0.04 ^d	9.03±0.33 ^c
80°C	57.67±0.08 ^d	3.86±0.02 ^{ab}	21.43±0.06 ^c	9.78±0.34 ^{abc}
Dipped in ascorbic acid solution				
60°C	65.26±0.09 ^a	2.52±0.01 ^d	21.80±0.30 ^c	10.47±0.46 ^{abc}
70°C	64.19±0.05 ^{bc}	2.61±0.04 ^{cd}	21.82±0.04 ^c	9.64±0.58 ^{bc}
80°C	63.63±0.06 ^c	3.50±0.01 ^{abc}	23.12±0.01 ^{ab}	10.27±0.53 ^{abc}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

การเปลี่ยนแปลงค่า *L*, *a* และ *b* และการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (ΔE) ของขิงเมื่อผ่านการอบแห้ง แสดงในตารางที่ 6 จากผลการทดลองพบว่าค่า *L*, *a* และ *b* ของขิงมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการอบแห้ง ทั้งขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์ เมื่อพิจารณาผลของการพรีทรีทเมนต์ พบว่าขิงที่

ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีค่า L , a และ b ไม่แตกต่างกันกับ จิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ นอกจากนั้นจิงที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวกมีค่า L และ b ต่ำ ที่สุด และมีค่า a สูงที่สุด สำหรับค่า ΔE มีแนวโน้มว่าจิงที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์มีค่า ΔE ต่ำกว่าจิง ที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิอบแห้งในช่วง 60-80°C ไม่ส่งผลต่อค่า L , a , b และ ΔE ของจิงอบแห้ง

3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

จากตารางที่ 7 แสดงระยะเวลาในการอบแห้ง, ปริมาณน้ำที่ระเหย, ค่าการใช้พลังงานจาก อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) และพัดลม (Blower) และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ทั้งหมดของจิงอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์ พบว่าการพรีทรีทเมนต์ไม่ส่งผลต่อค่า การใช้พลังงานจากอุปกรณ์ให้ความร้อนและพัดลม เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งจิงที่ไม่ ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน กรณีผลของการพรีทรีทเมนต์ต่อการระเหยน้ำ พบว่า จิงที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวกมีปริมาณน้ำที่ระเหยไปสูงกว่าจิงที่ผ่านการแช่ในสารละลาย กรดแอสคอร์บิกและจิงที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์เล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลที่มีต่อค่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะทั้งหมด พบว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะทั้งหมดของจิงที่ ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวก, จิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกและจิงที่ไม่ผ่าน การพรีทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอบแห้ง พบว่าค่าการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ให้ความร้อนของ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 80°C แม้ว่าการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70°C จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C แต่สั้นกว่าเพียง 13.64-15.56% เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C แม้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ควรมีค่าการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ให้ความร้อนสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C แต่อาจ เนื่องมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C สูงถึง 34.21-36.84% เมื่อพิจารณาผลที่มีต่อค่าการใช้พลังงานจากพัดลม พบว่ามีแนวโน้ม ลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาในการ

อบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลที่มีต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน จำเพาะทั้งหมด พบว่าจึงที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C มีแนวโน้มว่ามีค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน จำเพาะทั้งหมดต่ำกว่าจึงที่อบแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ

ตารางที่ 7 ระยะเวลาในการอบแห้ง, ปริมาณน้ำที่ระเหย, ค่าการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) และพัดลม (Blower) และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ทั้งหมดของจึงอบแห้งที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์

Sample condition	Drying time (min)	Water evap (g)	Heat (Thermal Energy) (kWh)	Blower (Electric Energy) (kWh)	Overall Energy (MJ/kg water evap)
Un - pretreated					
60°C	225	361.3±4.03 ^a	9.94±0.54 ^{ab}	0.47±0.01 ^a	103.75±4.07 ^{ab}
70°C	190	362.7±0.64 ^a	11.26±0.07 ^a	0.43±0.01 ^a	115.95±0.82 ^a
80°C	125	363.5±1.84 ^a	8.99±0.47 ^b	0.34±0.10 ^a	92.43±6.10 ^{bc}
Blanched					
60°C	220	367.2±2.83 ^a	9.46±1.63 ^b	0.48±0.06 ^a	97.33±0.21 ^{bc}
70°C	190	370.3±1.63 ^a	11.33±0.79 ^a	0.44±0.00 ^a	114.43±7.12 ^a
80°C	125	370.5±1.27 ^a	9.21±0.11 ^b	0.35±0.06 ^a	92.75±1.35 ^{bc}
Dipped in ascorbic acid solution					
60°C	220	361.8±0.42 ^a	10.15±0.21 ^{ab}	0.46±0.06 ^a	105.57±1.65 ^{ab}
70°C	190	364.2±0.28 ^a	11.60±0.28 ^a	0.44±0.01 ^a	119.04±2.99 ^a
80°C	120	360.6±5.37 ^a	8.52±0.68 ^b	0.40±0.01 ^a	89.05±5.41 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ 95%

4. การหาจุดที่เหมาะสมของการฟิรทรีทเมนต์และอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของชิงผง

4.1 ผลของระยะเวลาในการลวกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของชิงอบแห้ง

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการลวกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS, การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ แสดงในรูปของสมการกำลังหนึ่ง ดังแสดงในตารางที่ 7 (4.1) - (4.5) และภาพที่ 14a-e โดยพบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการลวกส่งผลทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 16.90-19.00 mg GAE/g dry mater ซึ่งจากผลการทดลองจริงพบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของชิงที่ผ่านการลวกและไม่ผ่านการฟิรทรีทเมนต์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการลวกไม่มีอิทธิพลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจริง กรณีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการลวกมีผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 53.93-56.14% ซึ่งจากผลการทดลองจริงพบว่า สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กรณีการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการลวกส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมมีค่าลดลง โดยสอดคล้องกับผลการทดลองจริง ซึ่งพบว่าชิงที่ผ่านการฟิรทรีทเมนต์ด้วยการลวกจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมต่ำกว่าชิงที่ไม่ผ่านการฟิรทรีทเมนต์ เมื่อพิจารณาอิทธิพลที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการลวกไม่ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจริง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อคุณภาพด้านต่างๆ ด้วยวิธี RSM พบว่า อุณหภูมิอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมของชิงอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับค่าจากการทดลองจริง นอกจากนี้พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งมีผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน

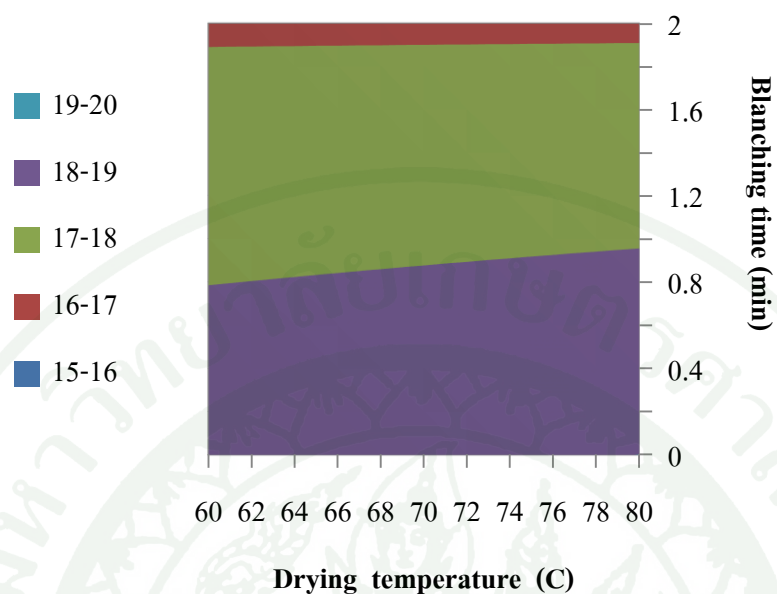
จำเพาะมีค่าลดลง ประมาณ 4.71-10.92% แต่จากผลการทดลองจริงพบว่าอนุมูลอิสระไม่มีอิทธิพลต่อค่าความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะ

ตารางที่ 8 ผลของระยะเวลาในการลวกและอนุมูลอิสระที่มีต่อคุณภาพและความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะของขิงอบแห้ง

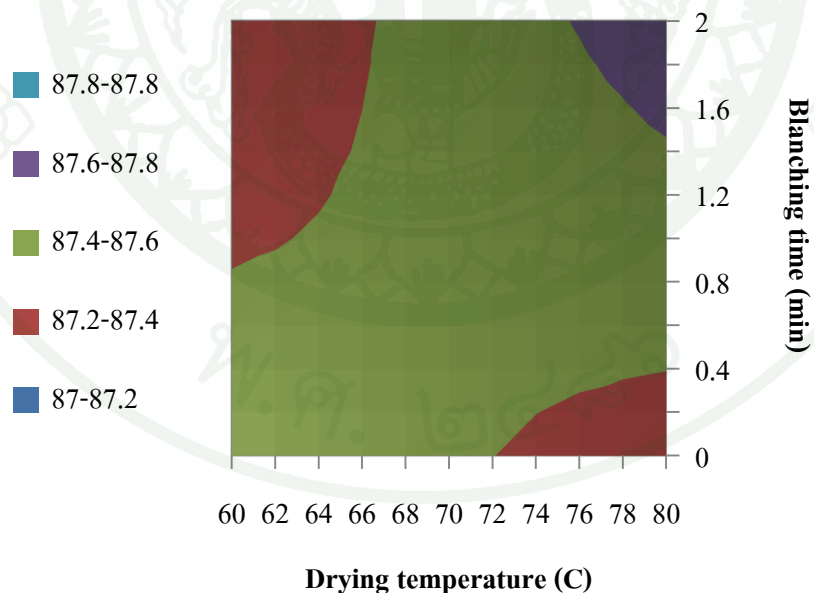
คุณภาพ	รูปแบบสมการ	R ²
TPC	$Z = 17.83 + 0.0146667x - 0.47y - 0.00725xy$ (4.1)	0.88
DPPH	$Z = 88.0733 - 0.0093333x - 1.08667y + 0.0159167xy$ (4.2)	0.29
ABTS	$Z = 50.6067 + 0.0553333x + 3.63667y - 0.0421667xy$ (4.3)	0.74
Color	$Z = 12.2480 - 0.0092019x - 2.75843y + 0.0236659xy$ (4.4)	0.93
SEC	$Z = 137.727 - 0.566256x - 13.3194y + 0.168513xy$ (4.5)	0.75

โดยกำหนดให้ Z = ผลตอบสนองของคุณภาพด้านต่างๆ ของตัวอย่างขิงอบแห้ง
 x = อนุมูลอิสระ
 y = ระยะเวลาในการลวก

(a)

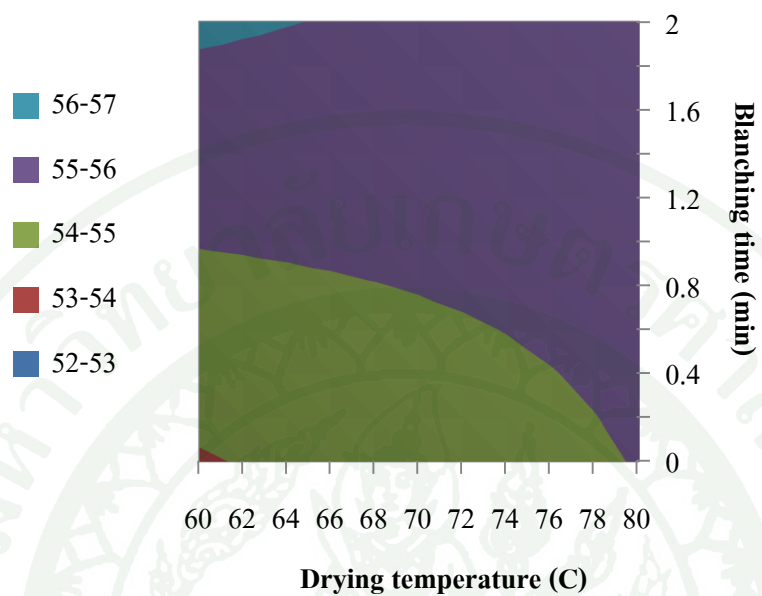


(b)

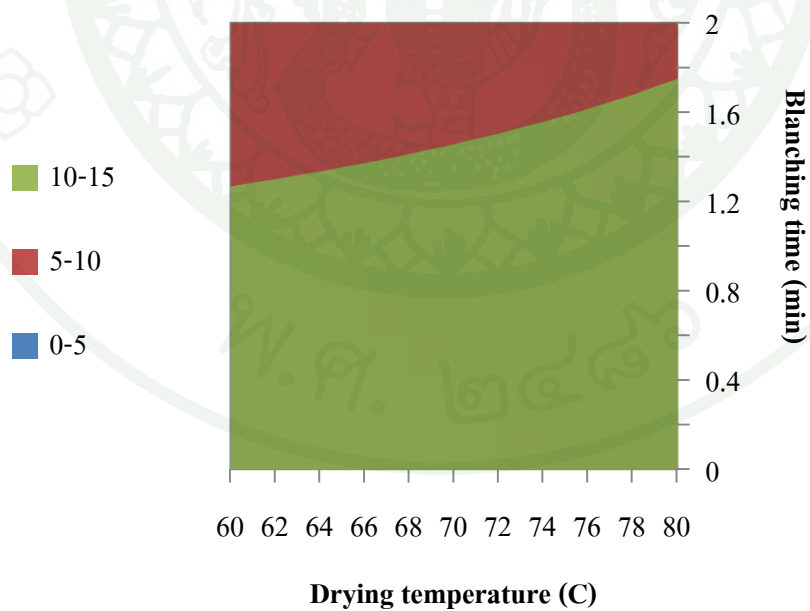


ภาพที่ 14 Contour plot ของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (a) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (b), สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (c), การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (d) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (e) ของชิงอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการลวก

(c)

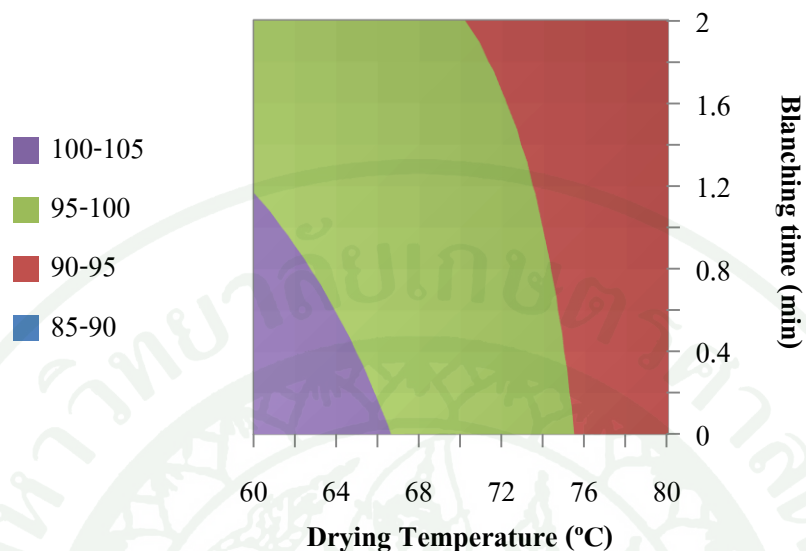


(d)



ภาพที่ 14 (ต่อ)

(e)



ภาพที่ 14 (ต่อ)

4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของชิงอบแห้ง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS, การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ แสดงในรูปของสมการกำลังหนึ่งสมการ ดังแสดงในตารางที่ 9 (4.6) - (4.10) และภาพที่ 15a-e โดยการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีแนวโน้มจะส่งผลให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจริง เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมด้วยวิธี RSM พบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 10.23-11.70 ซึ่งจากผลการทดลองจริงพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมมีค่าไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้

ยังพบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกไม่ส่งผลต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองจริง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพด้านต่างๆ พบว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS และค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมของชิงอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการผลการทดลองจริง แต่พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งมีผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงประมาณ 10.91-15.65% แต่จากผลการทดลองจริงพบว่าอุณหภูมิอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

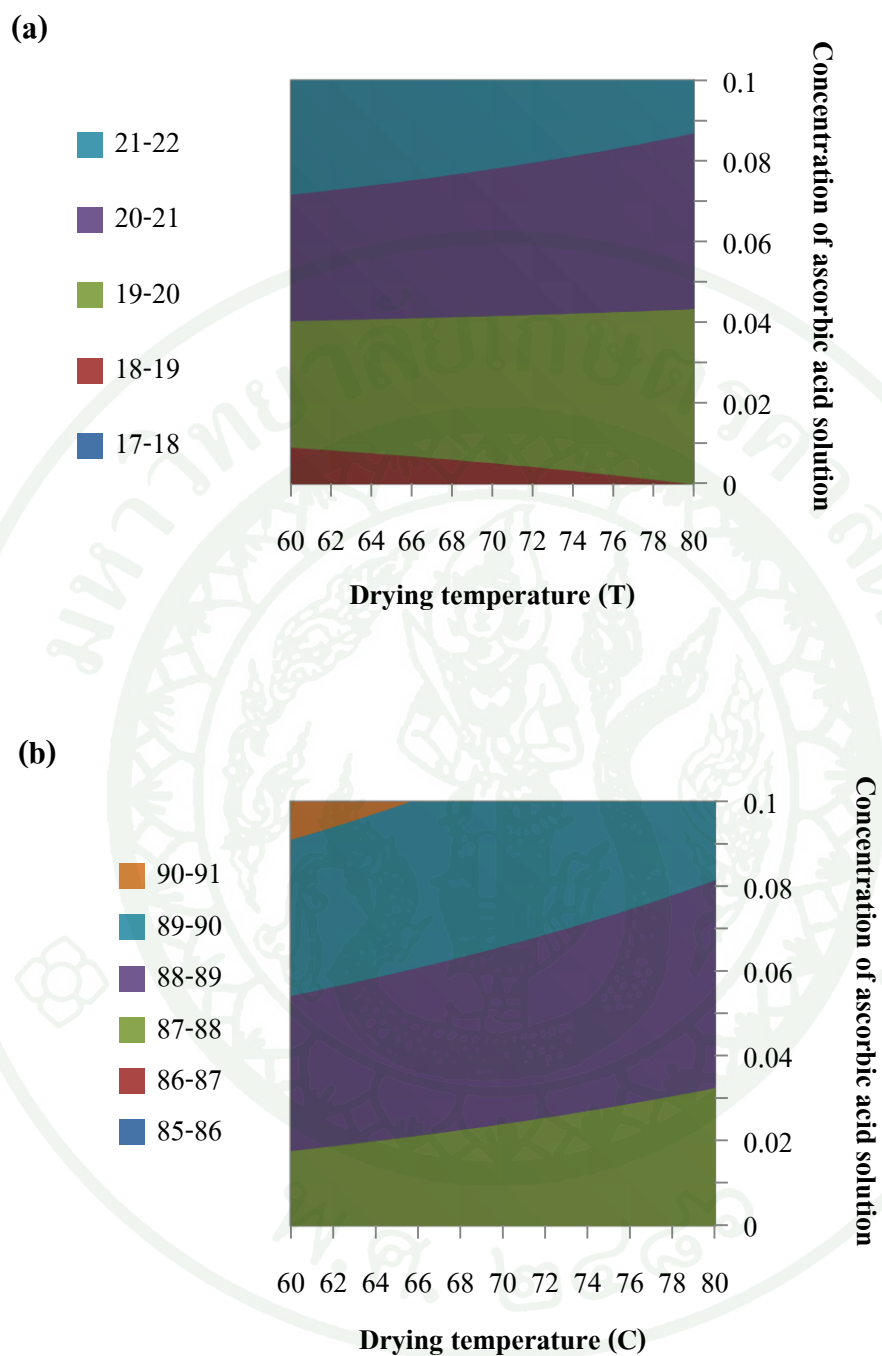
ตารางที่ 9 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของชิงอบแห้ง

คุณภาพ	รูปแบบสมการ	R ²
TPC	$Z = 17.83 + 0.0146667x + 59y - 0.45xy$ (4.6)	0.99
DPPH	$Z = 88.0733 - 0.0093333x + 47.8667y - 0.341667xy$ (4.7)	0.96
ABTS	$Z = 50.6067 + 0.0553333x + 107.5y - 0.798333xy$ (4.8)	0.97
Color	$Z = 12.2480 - 0.0092019x - 11.6887y - 0.009202xy$ (4.9)	0.74
SEC	$Z = 137.727 - 0.566256x + 174.072y - 2.59861xy$ (4.10)	0.82

โดยกำหนดให้ Z = ผลตอบสนองของคุณภาพด้านต่างๆ ของตัวอย่างชิงอบแห้ง

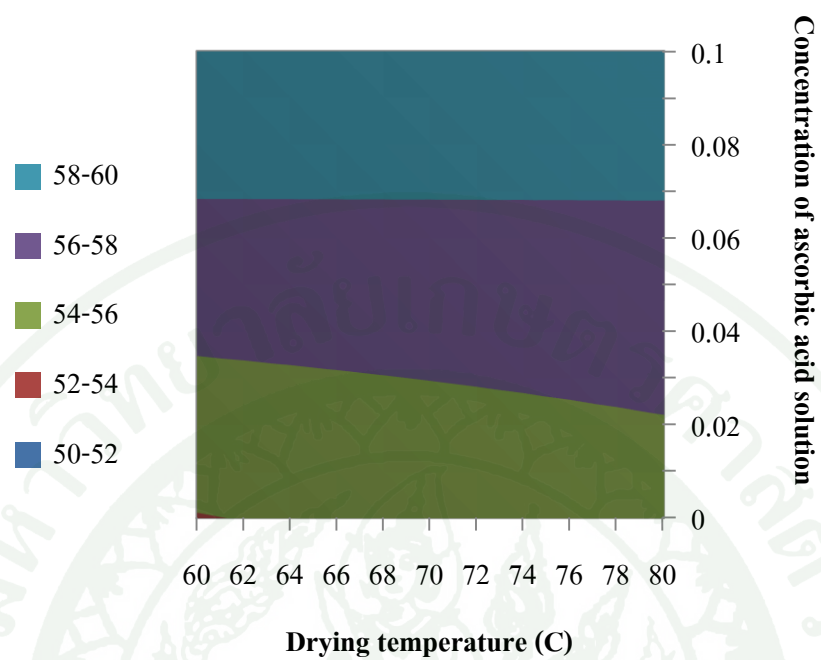
x = อุณหภูมิอบแห้ง

y = ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิก

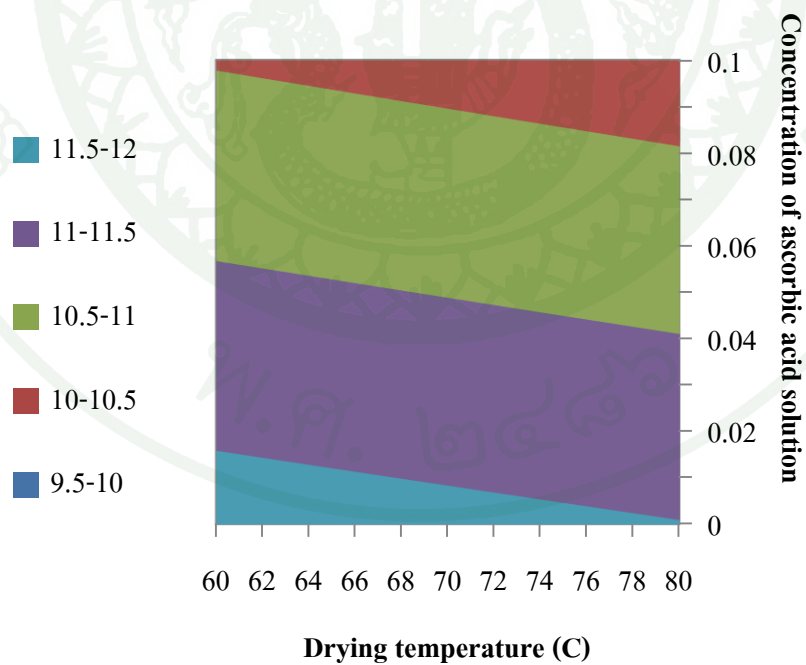


ภาพที่ 15 Contour plot ของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (a) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (b), สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (c), การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (d) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (e) ของชิงอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก

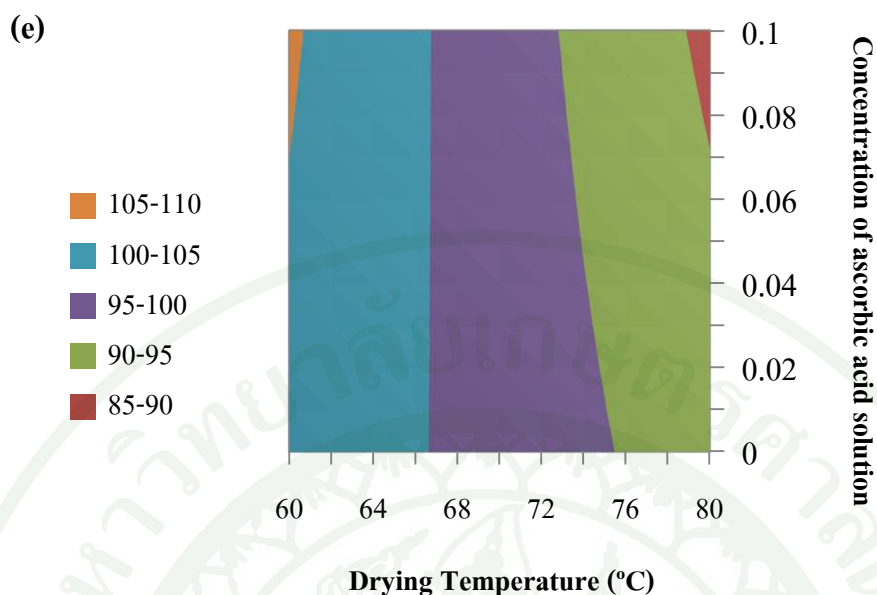
(c)



(d)



ภาพที่ 15 (ต่อ)

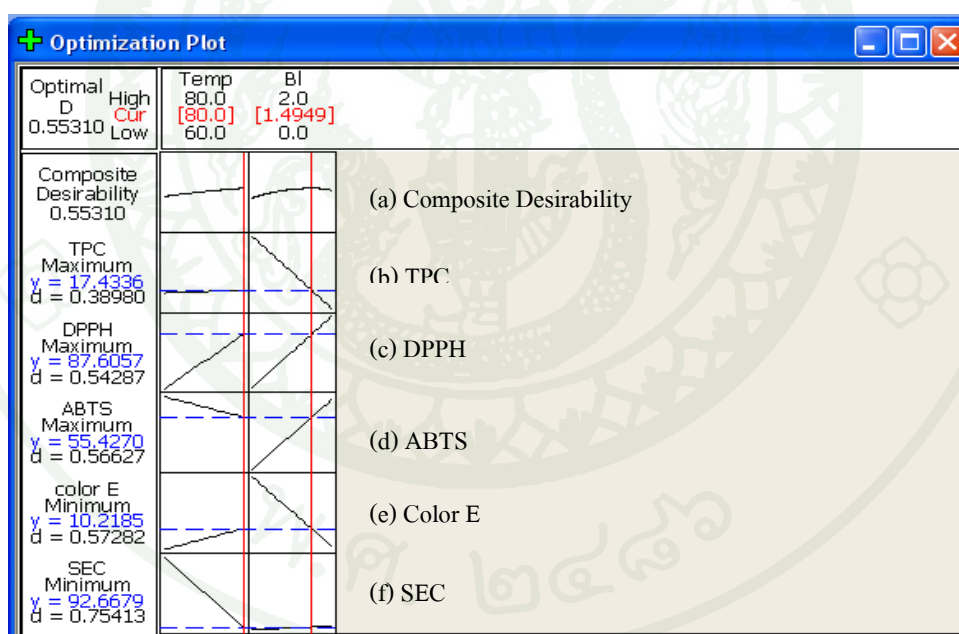


ภาพที่ 15 (ต่อ)

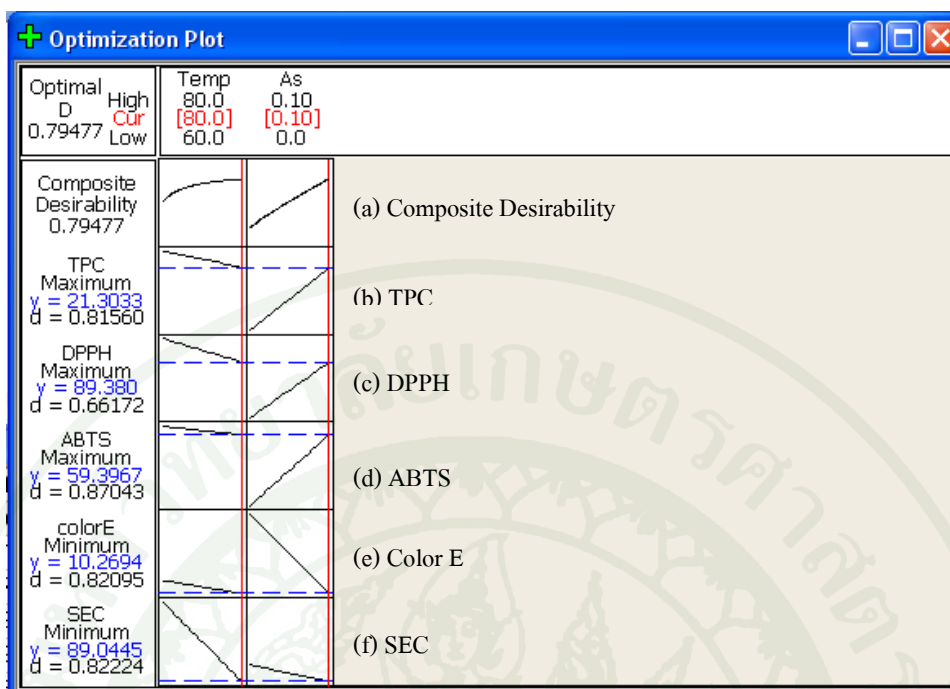
จากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย และวัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบสนอง (composite desirability: D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบสนองมีค่าอยู่ระหว่าง 0–1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบสนองนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ จากผลการวิเคราะห์ผลของระยะเวลาในการลวกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของจิงอบแห้ง พบว่ากรณีการอบแห้งจิงรวมกับการลวก ค่าความพึงพอใจโดยรวมมีค่าเท่ากับ 0.5531 ดังแสดงในภาพที่ 16(a) และที่จุดสูงสุดของระดับความพึงพอใจ มีเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด คือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการลวกระยะเวลา 1.5 นาที โดยจากเงื่อนไขดังกล่าวสามารถทำนายผลตอบสนองของคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS, การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ดังแสดงในตารางที่ 10

สำหรับผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิกและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของจิงอบแห้ง พบว่าค่าความพึงพอใจโดยรวมมีค่าเท่ากับ 0.79477 ดังแสดงในภาพที่ 17(a) และที่จุดสูงสุดของระดับความพึงพอใจ เงื่อนไขที่

เหมาะสมที่สุด คือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.1% และสามารถทำนายผลตอบสนองของคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS, การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ดังแสดงในตารางที่ 10 จากการพิจารณาคุณภาพด้านต่างๆพบว่าอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.1% มีค่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการลวกนาน 1.5 นาที อย่างชัดเจน และมีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมสูงกว่าเพียงเล็กน้อย รวมทั้งมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการลวกนาน 1.5 นาที ดังนั้นในงานวิจัยนี้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งจึงพบ คือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ร่วมกับการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.1%



ภาพที่ 16 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมจึงอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ ด้วยการลวก



ภาพที่ 17 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมซึ่งอบแห้งที่ผ่านการฟริทเทเมนต์ ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก

ตารางที่ 10 ค่า Predicted Response Optimization

Condition	Blanched	Dipped in ascorbic acid solution
ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g dry mater)	17.43	21.30
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)	87.61	89.38
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (%)	55.43	59.40
การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม	10.22	10.27
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg water evap)	92.67	89.05

สรุป

งานวิจัยนี้ทำการอบแห้งขิงแผ่น โดยศึกษาถึงผลของการพริทริทเมนต์อุณหภูมิและอากาศร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพด้านต่างๆ คือ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสี รวมทั้งค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

เมื่อพิจารณาผลของการพริทริทเมนต์ต่อการลดลงของความชื้น พบว่าขิงที่ผ่านการพริทริทเมนต์ มีการลดลงของความชื้นรวดเร็วกว่าขิงที่ไม่ผ่านการพริทริทเมนต์ แต่ระยะเวลาการอบแห้งไม่แตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากความชื้นเริ่มต้นของขิงที่ผ่านการพริทริทเมนต์มีค่ามากกว่าขิงที่ไม่ผ่านการพริทริทเมนต์ จากกระบวนการlovakและการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก และจากการวิเคราะห์ผลที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าขิงที่ผ่านการlovakมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดค่าที่สูงที่สุด เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกบางส่วนสูญเสียไประหว่างกระบวนการlovak โดยขิงที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด โดยขิงที่ผ่านการพริทริทเมนต์มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าขิงที่ไม่ผ่านการพริทริทเมนต์ และเนื่องจากปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสามารถบ่งชี้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ เมื่อขิงมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น สมบัติการต้านอนุมูลอิสระจึงเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน เมื่อพิจารณาผลของการพริทริทเมนต์ต่อคุณภาพด้านสี พบว่าขิงที่ผ่านการพริทริทเมนต์มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (ΔE) ต่ำกว่าขิงที่ไม่ผ่านการพริทริทเมนต์ และการพริทริทเมนต์ไม่ส่งผลต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศร้อน พบว่าความชื้นของขิงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงลดลงเร็วกว่าขิงที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ ซึ่งส่งผลให้การอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ ทั้งขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการพริทริทเมนต์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าหลังการอบแห้งขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการพริทริทเมนต์ มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น โดยอุณหภูมิในช่วง 60-80°C ไม่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และเนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีความสามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงจึงส่งผลให้ความสามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเช่นกัน อีกทั้งยังพบว่าช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่ผลต่อค่าความสว่าง (L) และการเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม (ΔE) ทั้งขิงที่ไม่ผ่านและผ่านการพริทริท

เมนต์ แต่อุณหภูมิการอบแห้งมีต่อผลค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ใช้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานสูงที่สุด แต่อุณหภูมิอบแห้งที่ 60 และ 80°C ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้งในเชิงที่ไม่ผ่านและผ่านการพรีทรีทเมนต์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของขิงจากงานวิจัยนี้และขิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้า พบว่าขิงจากงานวิจัยนี้มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าขิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มทางการค้าอย่างชัดเจน โดยมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่า 86.36% และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS สูงกว่าถึง 77.78 และ 70.49% ตามลำดับ

จากการหาความเหมาะสมโดยพิจารณาจากคุณภาพทั้งปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและค่าสี พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งขิงคือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C รวมกับการพรีทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.1% โดยขิงที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด แม้ว่าช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการแห้งไม่มีผลต่อปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด, สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและค่าเปลี่ยนแปลงค่าสีรวม อีกทั้งค่าความสิ้นเปลืองพลังงานสูงของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 80°C ไม่มีความแตกต่างกัน แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากสาร 6-gingerol เป็นสารสำคัญซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี ดังนั้นควรมีการศึกษาปริมาณสาร 6-gingerol ในสารสกัดจริง เพื่อศึกษาผลของการฟัรทริทเมนต์และอุณหภูมิการอบแห้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร 6-gingerol นอกจากนี้ยังมีสารชนิดอื่นที่น่าสนใจ เช่น สาร 6-shogaol ซึ่งสารดังกล่าวนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสาร 6-gingerol ในกระบวนการ dehydration โดยพบว่าสาร 6-shogaol มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นกัน

2. เนื่องจากการวางแผนการทดลองในงานวิจัยนี้ทำการหาสมการถดถอยแบบกำลังหนึ่ง หากทำการศึกษาต่อไปควรปรับปรุงแผนการทดลอง และทำการหาสมการถดถอยแบบกำลังสอง เพื่อให้ได้สมการในการทำนายผลตอบสนองได้เที่ยงตรงมากขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2525. **อิง**. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 6. งานทะเบียนและประมวลสถิติ กอง
แผนงาน. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

เกษร น้อยนาง, ภาสกร ฤทธิเลิศ, นพมาศ วรเนตร์, ศรีบุญญา ศรีปรีดิ, ปรียะทัศน์ ประไพโย และ
ธีรพรก บังเกิด. 2548. “ผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพ
และอายุการเก็บรักษาของจิงสัดหั่นฝอย”. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
25(3): 93-104

คำนึ่ง คำอุดม. 2531. **อิง**. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

จรรุวรรณ กุลวิศ, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร และ สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. 2550. ผลของอุณหภูมิ
อบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่ายและคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น, น. 1-11. **ใน การ**
ประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1 โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์,
กรุงเทพฯ.

จุฑามาศ ธา. 2553. การผลิตเอนโดกลูตาเนสโดยเชื้อราที่แยกจากดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยศิลปากร.

จันทร์เพ็ญ ชูประภาวรรณ. 2548. พุดจาประสาหมอย (สารต้านอนุมูลอิสระ). นิตยสารหมอ
ชาวบ้าน. 311: 16-18.

เจริญ ประจันบาล. 2551. การหาค่าที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเอนไซม์เบต้า-กลูคาเนสจากเชื้อรา *Aspergillus terreus* ASKU 10 ด้วยการหมักแบบแห้งและการใช้ฟางข้าวหมักร่วมกับเชื้อส่งเสริมการเติบโตเพื่อการเพาะปลูกข้าวโพดฝักอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. ไร่เขียว, กรุงเทพมหานคร.

ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล. 2555. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 35(2): 269-283.

ซอ์ลัดดา เทียงพุก และ อุไร เผ่าสังข์ทอง. 2555. “สมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของต้นหอมแห้งและเหง้าจิงอ๋องแห้ง”. วารสารเกษตร. 28(1): 93-99.

ณัฐพงษ์ กิพงษ์. 2553. ผลกระทบของการลวกด้วยน้ำร้อนต่ออัตราการอบแห้งลำไย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธิดารัตน์ ไพรรักษ์ และ ศศิธร ตรงจิตภักดี. 2553. ผลของวิธีการทำแห้งต่อปริมาณ 6-gingerol สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการต้านออกซิเดชันของขิง (*Zingiber officinale*). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธิดารัตน์ ไพรรักษ์ และ ศศิธร ตรงจิตภักดี. 2554. “ผลของอายุการเก็บเกี่ยวของเหง้าจิงอ๋องต่อปริมาณ 6-gingerol และคุณสมบัติการต้านออกซิเดชัน”. ว. วิทย. กษ. 42(พิเศษ) : 287-290.

ธนศักดิ์ แซ่เลี้ยว. 2552. ผลของการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถด้านออกซิเดชันของกระชายเหลือง (*Boesenbergia pandurata* (Roxb.) Schltr.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ, กมลวรรณ แจ่มชัด และ วิชัย หฤทัยธนาสันต์. 2544. ผลของโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์และการลวกที่มีต่อคุณภาพของแป้งมันเทศ, น. 278-289. ใน การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร. ครั้งที่3. ศูนย์แสดงสินค้า BITEC, กรุงเทพฯ.

นงเยาว์ ชูสุข. 2554. เทคนิคในการพัฒนาผลิตภัณฑ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปราจีนบุรี :

นิตยา เขียวอ่อน. 2550. การศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในลูกหว่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

นันทน์ภัส เดิมวงศ์. 2551. ความสัมพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิกกับความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระในพืช. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. 8 (2): 114-124.

นภาพรณ พลายโก. 2548. ผลของการพรีเทเมนต์ที่มีต่ออุณหภูมิการอบแห้งและคุณภาพของกล้วยแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นวลศรี รักอริยะธรรม และ อัญญา เจนวิถีสุข. 2545. แอนติออกซิเดนท์ : สารต้านมะเร็งในผัก – สมุนไพรไทย. นพบุรีการพิมพ์. เชียงใหม่.

ปิยาภัทร ไตรสนธิ. 2550. ผลของความสูงพื้นที่และสายพันธุ์ต่อกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระของตะไคร้ต้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พัชรินทร์ สายสังข์. 2545. การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์โดยสารยับยั้งจากเปลือก
 สับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิทยา สรวมศิริ. 2529. พืชเครื่องเทศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์,
 เชียงใหม่.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 584-2528. **ชิงฝงลำเจียรูป**. สำนักงานมาตรฐาน
 ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 600-2528. **ชิงแห้งป็น**. สำนักงานมาตรฐาน
 ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม.

มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, เกษณี มานะโรจน์กิจ, จารุรัตน์ จูตะเสน, ชัยวัฒน์ คูสิทธิผล และ กรุณาวงษ์
 กระจำง. 2552. ผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิความร้อนต่อการทำแห้งและ
 คุณภาพของผักหวานผง. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
 ครั้งที่ 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

ยาตรา ยมสูงเนิน, เขวภา ไหวพริบ, รังสิมา สุตรอนันต์ และ อนันต์ ทองทา. 2553. “ผลของ
 อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนขุดย้งต่อความชื้นและค่าสีชิงแห้ง”. ว. วิทย. กษ. .
 41(3/1): 429-432.

ยุทธพงษ์ บัวเข้ม, ระทิป เหมือนรุ่ง และ ชัชวาล วงศ์อาจ. 2548. **ชิง พืชเศรษฐกิจ**. พิมพ์ครั้งที่ 1.
 สำนักพิมพ์พงษ์สาส์น, กรุงเทพฯ.

ระวีวรรณ แก้วอมตวงศ์ และ ทรงพร จิ่งมั่งคง. 2549.ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณสารฟีนอลรวมของสารสกัดพืชสมุนไพรไทยบางชนิด. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 8 (2): 76-88.

รัชยาพร อโนราช และ นาถธิดา วีระปรีชากร. 2548. วิธีทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 33(1-2): 13-18.

วิภาดา กันตยศ. 2554. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารสำคัญในพืชสกุลจิงบางชนิดที่พบในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

วัชร หายยิ่ง. 2549. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในกลไกของการเกิดมะเร็ง. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 34(3): 199-208.

วุฒิไกร จันมาศ. 2552. อิทธิพลของกระบวนการแปรรูปต่อปริมาณ 6-จิงเจอร์อลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิทวัชทิพย์ แสนพรหม, ณัฐพล ภูมิสะอาด และ สุรัตน์ อัครจรรย์กุล. 2549. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งขิงชนิดใช้ป้ิมความร้อนด้วยตัวกลางแตกต่างกัน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

วรศรา ชื่นอารมณฺ์, อรพิน เกิดชูชื่น และ ญัฎฐา เลหาภูถจิตต์. 2553. สารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากชะคราม (*Suaeda maritima*). ว. วิทย. กษ. 41(3/1) (พิเศษ) : 621-624.

ศิรินทิพย์ หนองแสง และ สิงหนาท พวงจันทร์แดง. 2551. การพัฒนากระบวนการทำแห้งจึงโดยการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน และการทำแห้งแบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบ. น. 167 ใน การสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ศิริวัลภา เกษศิลป์. 2547. การผลิตและสมบัติของแป้งคาร์บอกซีเมทิลจากแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางชนิด. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

สุภาวณิ แสันทวีสุข และ สิงหนาท พวงจันทร์แดง. 2553. “ผลของการทำแห้งแบบระเหยเดียว และแบบสองระยะต่อคุณภาพของจึง”. ว. วิทย. กษ. 41(1): 552-555.

สุริยา อติวิทยาภรณ์. 2551. การพัฒนากล้วยตากโดยการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟระบบสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนงค์ เสริฐวาสนา. 2551. การพัฒนากระบวนการแปรรูปน้ำจิงผงและจิงผง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อึ้งควรา พลุเกษร. 2551. การวิเคราะห์ความสามารถในการออกซิเดชันของซิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

อัจฉราพร อภิวงค์งาม. 2552. การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งใบโรสแมรี่ ดอกลาเวนเดอร์ และ กลีบดอกกุหลาบด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดและ เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อาทิตย์ จันทร์หิรัญ. 2550. การอบแห้งซิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิสรพงษ์ พงษ์ศิริกุล. 2550. การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญยะรัตน์ และ มาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. 2550. สารต้านอนุมูลอิสระ. พิมพ์ครั้งที่ 2. นิคมมิตรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

อำไพศักดิ์ ที่บุญมา และ ศักชัย จงจำ. 2553. “การอบแห้งซิงด้วยเทคนิคสุญญากาศกับอินฟราเรด”. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 15(2): 76-86.

____. ____ . เทคนิคในการพัฒนาผลิตภัณฑ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีระยองเกล้าพระนครเหนือ. แหล่งที่มา: www.agro.kmutnb.ac.th/e-learning/yao/RSM2.pdf. 16 December 2013.

Abano E.E., H. Ma and W. Qu. 2011. Influence of Air Temperature on the Drying Kinetics and Quality of Tomato Slices. **Journal of Food Processing and Technology** 2(123): 1-9.

- Ajith, A.T., U. Hema and M.S. Aswathy. 2007. *Zingiber officinale* Roscoe prevents acetaminophen-induced acute hepatotoxicity by enhancing hepatic antioxidant status. **Food and Chemical Toxicology** 45: 2267-2272.
- Ali, B.H., G. Blunde, M.O. Tanira and A. Nemmar. 2008. Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): A review of recent research. **Food and Chemical Toxicology** 46: 409–420.
- Altunkaya A. and V. Gökmen. 2011. Purification and Characterization of Polyphenol Oxidase, Peroxidase and Lipoxygenase from Freshly Cut Lettuce (*L. sativa*). **Food Technology and Biotechnology** 49(2): 249–256.
- Amin, I. and W.Y. Lee. 2005. Effect of different blanching times on antioxidant properties in selected cruciferous vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 85: 2314-2320.
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Agricultural Chemists, Washington, DC
- Balladin, D.A., I.C. Yen, D.R. McGaw and O. Headly. 1996. Solar drying of west Indian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizome using a wire basket dryer. **Renewable Energy** 7(4): 409-418.
- Balladin, D.A., O. Headley, I. Chang-Yen and D. McGaw. 1997. Extraction and evaluation of the main pungent principles of solar dried West Indian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizome. **Journal Renewable Energy** 12(2): 125-130.

- Bandyopadhyay, M., R. Chakraborty and U. Raychaudhuri. 2007. A process for preparing a natural antioxidant enriched dairy product (Sandesh). **LWT - Food Science and Technology** 40: 842-851.
- Bartley, J., and A. Jacobs. 2000. Effects of drying on flavour compounds in Australian-grown ginger (*Zingiber officinale*). **Journal of the Science of Food and Agriculture** 80: 209–215.
- Bhattarai, S., V.H. Tran and C.C. Duke. 2001. The Stability of Gingerol and Shogaol in Aqueous Solutions. **Journal of Pharmaceutical Sciences** 90(10): 1658-1664.
- Borompichaichartkul C. 2012. Hybrid Drying Technology : Application for Preservation of Heat Sensitive Food Products. **KMUTT Research and Development Journal** 35(2): 269-283.
- Cai, Y., Q. Luob, M. Sunc and H. Corke. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. **Life Sciences** 74: 2157–2184.
- Chan, E.W.C., Y.L. Yang and O. Mohammed. 2007. Antioxidant and antibacterial activity of leaves of *Etlingera* species (Zingiberaceae) in peninsular Malaysia. **Journal of Food Chemistry** 104: 1586-1593.
- Chan, E.W.C., Y.Y. Lim, L.F. Wong, F.S. Lianto, S.K. Wong, K.K. Lim, C.E. Joe and T.Y. Lim. 2008. Antioxidant and tyrosinase inhibition properties of leaves and rhizomes of ginger species. **Food Chemistry** 109: 477–483.

- Chan, E.W.C., Y.Y. Lim, S.K. Wong, K.K. Lim, S.P. Tan, F.S. Lianto and M.Y. Yong. 2009. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. **Food Chemistry** 113(1): 166-172.
- Chang, C.H. , H. . Lin, C.Y. Chang and Y.C. Liu. 2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. **Journal of Food Engineering** 77: 478-485.
- Chantaro, P., S. Devahastin and N. Chiewchan. 2008. Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. **LWT - Food Science and Technology** 41: 1987-1994
- Chen, C.C., M.C. Kuo and C.T. Ho. 1986a. Pungent compounds of ginger (*Zingiber officinale* (L) Rosce) extracted by liquid carbon dioxide. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 34: 477-480.
- Chen, C.C., M.C. Kuo and C.T. Ho. 1986b. High Performance Liquid Chromatographic Determination of Pungent Gingerol Compounds of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Journal of Food Science** 51: 1364-1365.
- Chen, I.N., C.C. Chang, C.C. Ng, C.Y. Wang, Y.T. Shyu and T.L. Chang. 2008. Antioxidant and Antimicrobial Activity of Zingiberaceae Plants in Taiwan. **Plant Foods for Human Nutrition** 63: 15-20.
- Chew, Y.L., Y.Y. Lim, M. Omar and K.S. Khoo. 2008. Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in southeast Asia. **Journal of food Science and Technology** 41(6): 1067-1072.

- Chou, S.K., M.N.A. Hawlader, J.C. Ho, N.E. Wijesundera and S. Rajasekar. 1993. Heat Pump in the Drying of Food Products. **International Journal of Energy Research** 14: 397-406.
- Chumroenphat, T., I. Khanprom and L. Butkhup. 2011. Stability of phytochemicals and antioxidant properties in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizome with different drying methods. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants** 17: 361–374.
- Ding, S.H., K.J. An, C.P. Zhao, Y. Li, Y.H. Guo and Z.F. Wang. 2012. Effect of drying methods on volatiles of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Food and Bioprocess Processing** 90(3): 515–524.
- Doymaz, I. 2006 Thin-layer drying behaviour of mint leaves. **Journal of Food Engineering** 74: 370-375.
- Dugasani, S., M.R. Pichika, V.D. Nadarajah, M.K. Balijepalli, S. Tandra and J.N. Korlakunta. 2010. Comparative antioxidant and anti-inflammatory effects of [6]-gingerol,[8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol. **Journal of Ethnopharmacology** 127: 515–520.
- El-Ghorab, A.H., M. Nauman, F.M. Anjum, S. Hussain and M. Nadeem, 2010. A comparative study on chemical composition and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale*) and cumin (*Cuminum cyminum*). **Journal of Agriculture and Food Chemistry** 58: 8231-8237.
- Esam, H.M. and H.K. Ali. 2000. Evaluation of antioxidant of some plant extracts and their application to ground beef patties. **Food Chemistry** 69: 135-141.

Esselen, W.B., J.J. Power Jr. and R. Woodward. 1945. d-isoascorbic acid as an antioxidant. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry** 37: 295.

Ghasemzadeh, A., H. Jaafar and A. Rahmat. 2010. Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Molecules** 15(6): 4324-4333.

Gil, M.I., J.R. Gorny and A.A. Kader. 1998. Responses of 'Fuji' apple slices to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. **Hort Science** 33(2): 305-309.

Glouannec, P., D. Lecharpentier, and H. Noel. 2002. Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material. **Applied Thermal Engineering** 22: 1689–1703.

Gorny, J.R., B.H. Pierce, R.A. Cifuentes and A.A. Kader. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. **Postharvest Biology and Technology** 24: 371-278.

Gupta S., J. Lakshmi and J. Prakash. 2008. Effect of different blanching treatments on ascorbic acid retention in green leafy vegetables. **Natural Product Radiance** 7(2): 111-116.

Gupta S., S. Cox and N. Abu-Ghannam. 2011. Effect of different drying temperatures on the moisture and phytochemical constituents of edible Irish brown seaweed. **LWT - Food Science and Technology** 44(5): 1266–1272.

Haard, N.F. and G.W. Chism. 1996. Characteristics of edible plant tissues, pp. 943–1011. In O. R. Fennema ed. **Food chemistry**. New York: Marcel Dekker, Inc...

- Habsah, M., M. Amran, M.M. Mackeen, N.H. Lajis, H. Kikuzaki, N. Nakatani, A.A. Rahman, D. Ghafar and A.M. Ali. 2000. Screening of zingiberaceae extracts for antimicrobial and antioxidant activities. **Journal of Ethnopharmacology** 72: 403-410.
- Heck, J.X., S.H. Flores, P.F. Hertz and M.A.Z. Ayub. 2006. Statistical optimization of thermotolerant xylanase activity from Amazon isolated *Bacillus circulans* on solid-state cultivation. **Bioresource Technology** 97: 1902-1906.
- Heras-Ramírez, M.E., A. Quintero-Ramos, A.A. Camacho-Dávila, J. Barnard, R. Talamás-Abbud, J.V. Torres-Muñoz and E. Salas-Muñoz. 2012. Effect of Blanching and Drying Temperature on Polyphenolic Compound Stability and Antioxidant Capacity of Apple Pomace. **Food and Bioprocess Technology** 5(6): 2201-2210.
- Hiranvarachat, B., S. Devahastin and N. Chiewchan. 2010. Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. **Food and Bioprocess Technology** 89(2): 116-127.
- Hu, C. and D.D. Kitts. 2000. Studies on the antioxidant activity of Echinacea root extract. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 48(5): 1466-1472.
- Huang, D., B. Ou and R.L. Prior. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 53: 1841-1856.
- Inchuen, S., W. Narkrugsa and P. Pornchaloempong. 2010. Effect of drying method on chemical composition, color and antioxidant properties of Thai red curry powder. **Kasetsart Journal** 44: 142-151.

- Jolad, S.D., R.C. Lantz, A.M. Solyom, G.J. Chen, R.B. Bates and B.N. Timmermann. 2004. Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*): Composition and effects on LPS-induced PGE2 production. **Phytochemistry** 65(13): 1937–1954.
- Kadnur, S.V. and R.K. Goyal. 2005. Beneficial effects of *Zingiber officinale* Roscoe on fructose induced hyperlipidemia and hyperinsulinemia in rats. **Indian Journal of Experimental Biology** 43: 1161–1164.
- Karathanos, V.T., T. Karanikolas, A.E. Kostaropoulos, G.D. Saravacosl. 1995. Non Enzymatic Browning in Air-Drying of Washed Raisins. **Food Flavors: Generation, Analysis and Process Influence** 37: 1057–1064.
- Kaur C. and H.C. Kapoor. 2002. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. **International Journal of Food Science and Technology** 37: 153-161.
- Khan, M.S., S. Khanam, M. Deepak and B.G. Shivananda. 2006. Antioxidant activity of a new diarylheptanoid from *Zingiber officinale*. **Pharmacognosy Magazine** 2(8): 254-257.
- Kuljarachanan, T., S. Devahastin, and N. Chiewchan. 2009. Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. **Food Chemistry** 113: 944–949.
- Leeratanarak, N., S. Devahastin and N. Chiewchan. 2006. Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques. **Journal of Food Engineering** 77: 635-643.
- Liu, R.H., V. Dewanto, X.Wu and K. Adom 2002. Effect of thermal processing on the nutritional values of tomatoes. Available Source: http://ift.confex.com/ift/2000/techprogram/paper_14046.htm. 10 April 2011.

- Loha, C., R. Das, B. Choudhury and P.K. Chatterjee. 2012. Evaluation of Air Drying Characteristics of Sliced Ginger (*Zingiber officinale*) in a Forced Convective Cabinet Dryer and Thermal Conductivity Measurement. **Journal of Food Processing & Technology** 3(6): 1-5.
- López, J., E. Uribe, A. Vega-Gálvez, M. Miranda, J. Vergara, E. Gonzalez and K.D. Scala. 2010. Effect of Air Temperature on Drying Kinetics, Vitamin C, Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, Non-enzymatic Browning and Firmness of Blueberries Variety O'Neil. **Food and Bioprocess Technology** 3: 772-777.
- Lu, S., Y. Luo, E. Turner and H. Feng. 2007. Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. **Food Chemistry** 104: 824–829.
- Marshall, M., J. Kim. and C. Wei. 2000. Enzymatic browning in fruits, vegetables and seafoods. FAO. Available Source: <http://minnie.uab.es/~veteri/21254/Enzymatic%20Browning.htm>. 18 October 2012.
- McGee, H. 2004. A survey of tropical spices. p. 426. *In McGee on Food and Cooking*. Hodder and Stoughton.
- Naewbanij, M. and V. Thepent. _____. Batch and continuous drying. FAO. Available Source: <http://www.fao.org/docrep/x5036e/x5036e0x.htm>. 16 December 2013.
- Negi, P.S. and S.K. Roy. 2000. Effect of blanching and drying methods on b-carotene, ascorbic acid and chlorophyll retention of leafy vegetables. **LWT - Food Science and Technology** 33: 295–298.
- Nilnakara, S., N. Chiewchan and S. Devahastin. 2009. Production of antioxidant dietary fiber powder from cabbage outer leaves. **Food and Bioprocess Technology** 87(4): 301-307.

- Nourhene, B., B. Neila, B.S. Imen and K. Nabil. 2009. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. **Industrial Crops and Product** 29: 412-419.
- Nwinuka, N.M., G.O. Ibeh and G.I. Ekeke. 2005. Proximate composition and levels of some toxicants in four commonly consumed spices. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management** 9(1): 150-155.
- Oboh, G. 2005. Effect of blanching on the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. **LWT - Food Science and Technology** 38: 513-517.
- Phoungchandang S., S. Nongsang and P. Sanchai. 2009. The development of ginger drying using tray drying, heat pump dehumidified drying and mixed mode solar drying. **Drying Technology** 27: 1123-1131.
- Phoungchandang, S. and S. Saentaweesuk. 2011. Effect of two stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger. **Food and Bioproducts Processing** 89 (4): 429-437.
- Piližota V. and D. Šubarić. 1998. Control of Enzymatic Browning of Foods. **Food Technology and Biotechnology** 36(3): 219-227.
- Potter, N.N. and J.H. Hotchkiss. 1995. **Food Science**. Chapman & Hall. New York.
- Prasertsan, S. and P. Saen-saby. 1998. Heat Pump Drying of Agricultural Materials. **Drying Technology, An International Journal** 16: 235-250.

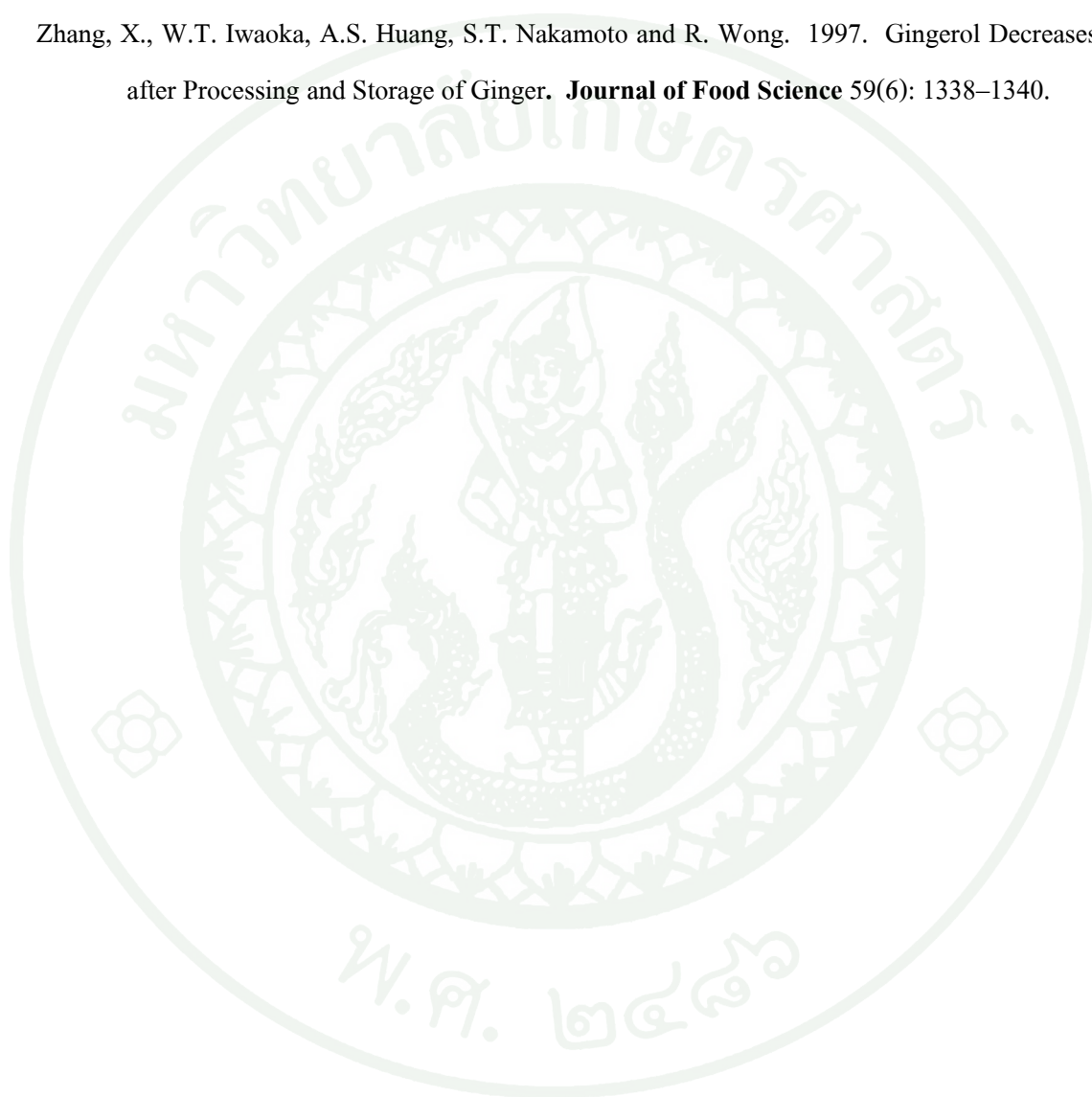
- Puengphian C. and A. Sirichote. 2008. [6]-gingerol content and bioactive properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extracts from supercritical CO₂ extraction. **Asian Journal of Food and Agro-Industry** 1(01): 29-36.
- Qusti, S.Y., A.N. Abo-khatwa and M. A. B. Lahwa. 2010. Screening of antioxidant activity and phenolic content of selected food items cited in the Holy Quran. **European Journal of Biological Sciences** 2(1): 40-51.
- Rababah, T.M., K.I. Ereifej and L. Howard. 2005. Effect of Ascorbic Acid and Dehydration on Concentrations of Total Phenolics, Antioxidant Capacity, Anthocyanins, and Color in Fruits. **Journal of Agriculture and Food Chemistry** 53: 4444-4447.
- Raquel, P.F., M. Guinéa and J. Barroca. 2011. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). **Food and Bioprocess Technology** 90(1): 58-63.
- Re R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine** 26: 1231-1237.
- Reyer De Corcuera, J.I., R.P. Cavalieri and J.R. Powers. 2004. Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering. 2nd Edition. Abingdon: Taylor and Francis. Available at: <http://www.crec.ifas.ufl.edu/academics/faculty/reyes/PDF/BlanchingEAFBF.pdf>. Accessed: 6 September 2012.
- Rinzler, A.C. 2001. **The New Herb, Spices and Condiments**. An imprint of fact on file. Inc., New York.

- Rocha, A.M.C.N. and A.M.M.B. de Morais. 2005. Polyphenoloxidase activity of minimally processed 'Jonagored' apples (*Malus domestica*). **Journal of Food Processing and Preservation** 29(1):8–19.
- Saeed, M.K., I. Zafar, M. Shahid, E. Nusrat and U.N. Waqar. 2009. Antioxidant activity of *Zingiber officinale* Roscoe's extract, oleoresin and essential oil from Pakistan. **In International Conference on Complex Medical Engineering, ICME, USA.**
- Shobana, S. and K.A. Naidu. 2000. Antioxidant activity of selected Indian spices. **Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids** 62: 107-110.
- Stoilova, I., A. Krastanov, A. Stoyanova, P. Denev and S. Gargova. 2007. Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). **Journal of Food Chemistry** 102: 764-770.
- Suhaj, M. 2006. Spice antioxidants isolation and their antiradical activity: a review. **Journal of Food Composition and Analysis** 19: 531–537.
- Surh, Y.J., E. Lee and J.M. Lee. 1998. Chemoprotective properties of some pungent ingredients present in red pepper and ginger. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis** 402(1–2): 259–267.
- Taiwo, K.A. and O. Adeyemi. 2009. Influence of blanching on the drying and rehydration of banana slices. **African Journal of Food Science** 3(10): 307-315.
- Tang, Y.Z. and Z.Q. Liu. 2007. Free radical scavenging effect of carbazole derivatives on DPPH and ABTS radicals. **Journal of the American Oil Chemists Society** 84: 1095-1100.
- Teeboonma, U. and S. Jongjam. 2010. Ginger Drying Using Infrared-Vacuum Technique. **Burapha Science Journal** 15 (2): 76-86.

- Tello-Ireland, C., R. Lemus-Mondaca, A. Vega-Gálvez, J. López and K. D. Scala. 2011. Influence of hot-air temperature on drying kinetics, functional properties, colour, phycobiliproteins, antioxidant capacity, texture and agar yield of alga *Gracilaria chilensis*. **LWT - Food Science and Technology** 44: 2112-2118.
- Thorat, I.D., D. Mohapatra, R.F. Sutar, S.S. Kapdi and D.D. Jagtap. 2012. Mathematical modeling and experimental study on thin-layer vacuum drying of ginger (*Zingiber Officinale* R.) slices. **Food and Bioprocess Technology** 5(4): 1379-1383.
- Vankar, P.S., V. Tiwari, R. Shanker and J. Srivastava. 2006. Change in antioxidant activity of spices- tumeric and ginger on heat treatment. **The Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry** 5(2): 1313-1317.
- Wu, H., M.C. Hsieh, C.Y. Lo, C.B. Liu, S. Sang, C.T. Ho and M.H. Pan. 2010. 6-Shogaol is more effective than 6-gingerol and curcumin in inhibiting 12-O-tetradecanoylphorbol 13-acetate-induced tumor promotion in mice. **Molecular Nutrition & Food Research** 54(9): 1296-1306.
- Yamahara, J., M. Mochizuki, and F. Fujimura. 1988. The anti-ulcer effect in rats of ginger constituents. **Journal of Ethnopharmacology** 23: 299-304.
- Young, H.Y., Y.L. Luo and H.Y. Cheng. 2005. Analgesic and anti-inflammatory activities of [6] gingerol. **Journal of Ethnopharmacology** 96 (1-2): 207-210.
- Yoshikawa, T., Y. Naito and M. Kondo. 1997. Free radicals and diseases, 11-19. In M. Hiramatsu, T. Yoshikawa and M. Inoue, eds. **Food and Free Radicals**, Plenum Press, New York and London.

Zhang, D., and Y. Hamazu. 2004. Phenolic compounds and their antioxidant properties in different tissues of carrots (*Daucus carota* L.). **Food Agriculture and Environment**. 2(1): 95–100

Zhang, X., W.T. Iwaoka, A.S. Huang, S.T. Nakamoto and R. Wong. 1997. Gingerol Decreases after Processing and Storage of Ginger. **Journal of Food Science** 59(6): 1338–1340.





อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และสีของขิง
Effect of Drying Temperatures on Drying Kinetics, Total Phenolic Content, Antioxidant Activities and Color of Ginger

ชโรธร โพธิ์วงศ์¹ รติยา ฐวพานิชยานันท์¹ และ ดลฤดี ใจสุทธิ์¹
 Charotom Phowong,¹ Ratiya Thuwapanichayanant¹ and Donludee Jaisut¹

Abstract

The objective of this work was to study the effect of drying temperatures on drying kinetics, total phenolic content, antioxidant activities and color of dried ginger. The ginger rhizomes were peeled and then sliced into 2 mm thickness. The sliced gingers were pretreated by dipping in 0.1% (w/v) ascorbic acid solution for 2 min. The pretreated ginger slices were then dried at the temperatures of 60, 70 and 80 °C in a tray dryer with an air velocity of 0.3m/s to a final moisture content of 0.05 kg/kg dry solids. The experimental results showed that drying at high temperature decreased the moisture content faster than that at low temperature, resulting in shorter drying time. Moreover, the values of total phenolic content and DPPH scavenging inhibition of sample pretreated by dipping in 0.1% (w/v) ascorbic acid solution were not different from those of fresh sample. The dried samples had higher values of total phenolic content, DPPH and ABTS scavenging inhibitions as compared with the non-dried samples. However, the drying temperatures in the range of 60-80°C had no effect on total phenolic content, DPPH and ABTS scavenging inhibitions. The pretreated sample had higher L value than the fresh sample. However, the L, a and b values of samples dried at different temperatures were insignificantly different.

Keywords: antioxidant, drying, ginger, total phenolic content

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และสีของขิงอบแห้ง ซึ่งเตรียมขิงโดยปอกเปลือก จากนั้นหั่นเป็นแผ่นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร และพรีทรีทเมนต์โดยแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.1% เป็นเวลา 2 นาที ก่อนนำไปอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60, 80 และ 70°C ความเร็วลม 0.3 m/s จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ 0.05 (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของขิงได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้พบว่าขิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ไม่แตกต่างกันกับขิงสด โดยขิงที่ผ่านการอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS สูงกว่าขิงที่ไม่ผ่านการอบแห้ง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งในช่วง 60-80°C ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS และจากการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า ขิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีค่า L สูงกว่าขิงสด แต่ค่า L, a และ b ของขิงที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: การอบแห้ง ขิง ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด สารต้านอนุมูลอิสระ

¹ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok Campus, Bangkok 10900

คำนำ

ขิง (*Zingiber officinale* Rose.) เป็นพืชสมุนไพรในวงศ์ Zingiberaceae ขิงนอกจากใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารคาวหวานแล้ว ยังสามารถใช้เป็นยารักษาโรคได้อีกด้วย เนื่องจากเหง้าขิงมีสรรพคุณในการรักษาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ จุกเสียดแน่น และแก้อาการคลื่นไส้อาเจียน แต่เหง้าขิงสดไม่สามารถเก็บรักษาไว้ใช้ประโยชน์ได้นาน ปัจจุบันจึงมีการแปรรูปขิงในหลากหลายรูปแบบ เช่น ขิงดอง ขิงเชื่อม ขิงเชื่อม และขิงอบแห้ง โดยขิงอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำไปผลิตเป็นขิงผงสำเร็จรูปพร้อมดื่ม และเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง สำหรับการอบแห้งขิงในปัจจุบันนิยมอบแห้งด้วยอากาศร้อน โดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่แตกต่างกัน เช่น 40, 50 และ 60°C (สุภาวดีและสิงหนาท, 2553; Phoungchandang and Saentaweek, 2010) แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยอากาศร้อนคือ เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาการใช้สารเคมี เช่น สารประกอบซัลไฟด์ และกรดแอสคอร์บิก สามารถช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้ (เกษร และคณะ, 2548) ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณสมบัติการอบแห้ง ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และสีของขิงอบแห้ง โดยก่อนการอบแห้งจะนำขิงมาผ่านการฟรีทรีทเมนต์ด้วยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก

อุปกรณ์และวิธีการ

ขิงแก่อายุ 10-20 เดือนจากตลาดสี่มุมเมือง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีเปลือกเป็นสีน้ำตาล และเนื้อมีลักษณะแข็งและมีเส้นมาก จากนั้นนำมาปอกเปลือกและตัดส่วนที่มีตาหนึ่ทิ้ง แล้วหั่นเป็นแผ่นความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร และฟรีทรีทเมนต์โดยการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.1% (w/v) เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นซับน้ำบริเวณผิวออกก่อนนำไปเรียงใส่ถาด 5 ถาด และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดโดยใช้อากาศร้อนอุณหภูมิ 60, 80 และ 70°C ความเร็วลม 0.3 m/s จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ 0.05 (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง) สำหรับการสกัดสารตัวอย่างขิง นำตัวอย่างขิงผงละลายในเมทานอล ปริมาณ 25 มิลลิกรัม ให้มีความเข้มข้น 0.0003 กรัมแห้ง/มิลลิกรัม จากนั้นนำไปแยกด้วยเครื่อง Orbital shaker เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 แล้วนำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์คุณภาพได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ซึ่งใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจาก Chan *et al.* (2008) โดยนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร และเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิก โดยรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิก/น้ำหนักแห้ง สำหรับการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระใช้การวิเคราะห์ 2 วิธี ได้แก่ วิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Chen *et al.* (2008) โดยนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร และวิธี 2,2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ Re *et al.* (1999) โดยนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร สำหรับการวิเคราะห์ค่าสีใช้เครื่องวัดสี HunterLab รุ่น ColorFlex วัดค่าสีออกมาเป็นค่า L, a และ b โดยค่า L จะแสดงค่าความสว่าง (Lightness) ค่า a จะแสดงค่าความแดง (Redness) และค่า b จะแสดงค่าความเหลือง (Yellowness)

ผล

Figure 1 a-b แสดงการลดลงของความชื้นและอัตราการอบแห้งขิง เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ใช้เวลา 220, 190 และ 120 นาที ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการอบแห้งรวดเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

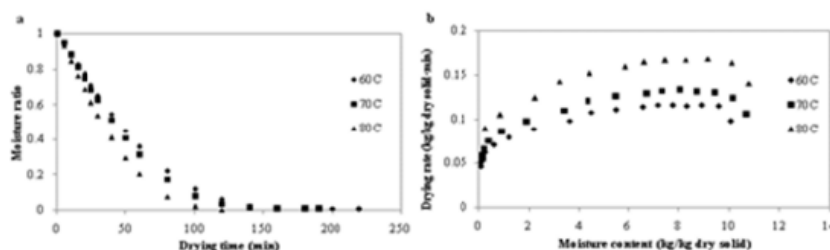


Figure 1 (a) Moisture ratio and (b) drying rate curves of ginger slices dried at different drying temperatures.

Table 1 แสดงค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (TPC) และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS จากผลการทดลองพบว่า ชิงสดและชิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่าชิงที่ผ่านการอบแห้งมีค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS สูงกว่าชิงที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งช่วง 60-80 °C ไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS

Table 1 The values of total phenolic content (TPC), DPPH and ABTS radical inhibitions of fresh and dried gingers.

Sample Condition	Total phenolics (mg GAE/g dry matter)	DPPH (% scavenging activity)	ABTS (% inhibition)
<u>Raw</u>			
Fresh	15.4±1.1b	86.3±1.2b	52.3±0.6b
Ascorbic acid solution dipped	15.4±1.9b	84.8±3.0b	45.3±3.0c
<u>Dried</u> (ascorbic acid solution dipped)			
60°C	21.9±0.0a	90.3±0.4a	59.9±0.5a
70°C	22.7±0.2a	90.6±0.3a	61.7±1.0a
80°C	21.3±0.3a	89.7±0.8a	59.4±1.1a

Different letters in the same column indicate that the values are significantly different ($p < 0.05$)

Table 2 แสดงค่าสีของชิง จากผลการทดลองพบว่าชิงที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกมีค่า L สูงกว่าชิงสด แต่ค่า a และ b ของชิงทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาชิงที่ผ่านการอบแห้งแล้วพบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่ 60, 70 และ 80°C ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L) ค่าความแดง (a) และค่าความเหลือง (b)

Table 2 The L-, a- and b-values of fresh and dried gingers.

Sample Condition	L	a	b
<u>Raw</u>			
Fresh	54.8±0.2d	-1.0±0.1b	17.4±0.8b
Ascorbic acid solution dipped	56.5±0.6c	-1.2±0.0b	17.4±0.2b
<u>Dried</u> (ascorbic acid solution dipped)			
60°C	65.3±0.1a	2.5±0.0a	21.8±0.3a
70°C	64.2±0.1ab	2.6±0.0a	21.8±0.0a
80°C	63.6±0.1b	3.5±0.0a	23.1±0.0a

Different letters in the same column indicate that the values are significantly different ($p < 0.05$)

วิจารณ์ผล

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงให้อัตราการอบแห้งที่รวดเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลางและผลิตภัณฑ์สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อีกทั้งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ จึงส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และผลการวิเคราะห์คุณภาพของชิงที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี

DPPH และ ABTS พบว่าซิงที่ผ่านการอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS สูงกว่าซิงที่ไม่ผ่านการอบแห้ง (โดยน้ำหนักแห้ง) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการอบแห้งมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดของซิงมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (Puengphian และ Sirichote, 2008) และสารประกอบฟีนอลและอนุพันธ์ที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการอบแห้งนั้นมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Chantaro *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (60-80°C) จะให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจให้เกิดการสลายตัวของสารดังกล่าวได้มากกว่า แต่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (Chantaro *et al.*, 2008) และผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า ค่า L, a และ b ของซิงอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในซิงได้

สรุปผล

ซิงที่ผ่านการอบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าซิงที่ไม่ผ่านการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิช่วง 60-80°C ไม่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และสีของซิง ดังนั้นจึงควรอบแห้งซิงที่อุณหภูมิ 80°C เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และสีที่ไม่แตกต่างจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C รวมทั้งการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ยังใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C อีกด้วย

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณภาควิชาเกษตรกลวิธาน ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทางานวิจัย และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนในการทางานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- เกษร น้อยนาง, ภาสุริ ฤทธิเลิศ, นพมาศ วรเนตร์, ศรีบุญญา ศรีวิบูลย์, ประโยชน์ ประโชติ และธีรพรทง บังเกิด. 2548. ผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และการดองสาคูกับต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของซิงสดหั่นฝอย. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 25(3):93-104.
- สุภาวดี แสนทวีสุข และสิงหนาท พวงจันทร์แดง. 2553. ผลของการทำแห้งแบบระยะเดียวและแบบสองระยะต่อคุณภาพของซิง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(1):552-555.
- Chan, E.W.C., Y.Y. Lim, L.F. Wong, F.S. Lianto, S.K. Wong, K.K. Lim, C.E. Joe and T.Y. Lim. 2008. Antioxidant and tyrosinase inhibition properties of leaves and rhizomes of ginger species. Food Chemistry 109:477-483.
- Chang, C. H., H. Y. Lin, C. Y. Chang and Y. C. Liu. 2006. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. Journal of Food Engineering 77:478-485.
- Chantaro, P., S. Devahastin and N. Chiewchan. 2008. Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels. LWT - Food Science and Technology 41: 1987-1994
- Chen, I. N., C. C. Chang, C. C. Ng, C. Y. Wang, Y. T. Shyu and T. L. Chang. 2008., Antioxidant and antimicrobial activity of Zingiberaceae plants in Taiwan. Plant Foods for Human Nutrition 63:15-20.
- Phoungchandang, S. and S. Saentaweek. 2010. Effect of two stage, tray and heat pump assisted-dehumidified drying on drying characteristics and qualities of dried ginger. Food and Bioproducts Processing 89 (4): 429-437.
- Puengphian C. and A. Sirichote. 2008. [6]-gingerol content and bioactive properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extracts from supercritical CO₂ extraction. Asian Journal of Food and Agro-Industry 1(01):29-36.
- Rababah, T. M., K. I. Erefej and L. Howard. 2005. Effect of ascorbic acid and dehydration on concentrations of total phenolics, antioxidant capacity, anthocyanins, and color in fruits. Journal of Agriculture and Food Chemistry 53:4444-4447.
- Re R, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-evans. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology & Medicine 26: 1231-1237.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวชโรธร โพธิ์วงศ์
วันที่เกิด	วันที่ 9 สิงหาคม 2530
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์เกษตร)มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่น/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการตีพิมพ์ ระดับชาติ ประจำปี 2553 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์