

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์
ของสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง

ANTIRADICAL CAPACITY AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF
EXTRACTS FROM GINGER AND ITS PRODUCTS

จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์
CHANPHEN MALIPHAND

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2551-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์
ของสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง

ANTIRADICAL CAPACITY AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF
EXTRACTS FROM GINGER AND ITS PRODUCTS



จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์

CHANPHEN MALIPHAND

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974 - 15 - 2551 - 6

**ANTIRADICAL CAPACITY AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF
EXTRACTS FROM GINGER AND ITS PRODUCTS**

CHANPHEN MALIPHAND

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974 - 15 - 2551 - 6

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง
นักศึกษา	นางสาวจันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์
รหัสประจำตัว	45067021
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม

บทคัดย่อ

ในการทดลองนี้ ได้นำขิงมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขิงผงและขิงคอง โดยได้ศึกษาหาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ DPPH Scavenging activity method และคุณสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* และ เชื้อ *Staph. aureus* ในขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่ขิงสด ขั้นตอนการแปรรูปและผลิตภัณฑ์ รวมทั้งได้เลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขิงคองและขิงผงจากห้องตลาดมาตรวจสอบสมบัติเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขิงที่ได้จากการทดลองด้วย พบว่าขิงแก่ที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก ให้ค่าของสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด เป็น 17.56 และ 19.41 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และมีค่าสูงกว่าที่พบในขิงอ่อน ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าในขิงแก่และขิงอ่อนไม่ปอกเปลือกมีความสามารถสูงกว่าขิงที่ปอกเปลือก ในกระบวนการแปรรูปขิงพบว่ามีผลต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดังนี้ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของขิงเมื่อเป็นขิงคองมีค่าลดลงจากวัตถุดิบเริ่มต้น(ขิงอ่อนปอกเปลือก) คือ จาก 14.45 เป็น 8.59 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน คือ จาก 89.07 เป็น 81.27% ในขั้นตอน การแปรรูปขิงผงนั้น สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ของขิงผงมีค่าเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบเริ่มต้น(ขิงแก่ปอกเปลือก) คือ จาก 17.56 เป็น 45.41 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าคงที่ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแปรรูปขิงคองทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าในกระบวนการแปรรูปขิงผง

ผลิตภัณฑ์ขิงคองและขิงผงที่จำหน่ายในท้องตลาดพบว่าแต่ละยี่ห้อที่มีปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันไป ในผลิตภัณฑ์ขิงคอง 3 ตัวอย่าง มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.59 – 24.59 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / กรัม ตัวอย่างหนึ่ง ในขิงผง 2 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 7.97 – 45.41 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / กรัมตัวอย่างหนึ่ง ส่วนความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์ขิงคองจะมีมากกว่าในขิงผง

เมื่อทดสอบสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์สองชนิดคือ *Staph.aureus* และ *E.coli* จากสารสกัดจากขิง ด้วยวิธี agar well diffusion method โดยใช้ความเข้มข้นของสารสกัดจากขิงในการทดสอบ 200, 100, 50, 25, 12.5 และ 6.25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร พบว่า สารสกัดจากขิงสดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ทั้งสองชนิด แต่จะแสดงผลการยับยั้งเชื้อ *Staph. aureus* ได้ดีกว่าเชื้อ *E.coli* โดยพบว่าในสารสกัดจากขิงอ่อนไม่ปกอกเปลือกจะเริ่มเกิดโซนใสที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ส่วนการยับยั้งเชื้อ *E.coli* จะเริ่มเกิดโซนใสที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรขึ้นไป เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นขิงคอง พบว่าสมบัติในการยับยั้งเชื้อ *Staph.aureus* จะลดลง โดยจะเริ่มเกิดโซนใสที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แต่สารสกัดจากขิงคองไม่แสดงผลการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ทุกระดับความเข้มข้น สำหรับขิงแก่ไม่ปกอกเปลือก พบว่าแสดงผลการยับยั้งเชื้อ *Staph.aureus* ได้ที่ระดับความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และแสดงยับยั้งเชื้อ *E.coli* ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เมื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขิงผง พบว่าขิงผงสามารถยับยั้งการเจริญเชื้อ *Staph.aureus* ได้ดีขึ้น ส่วนการยับยั้งเชื้อ *E.coli* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าสารสกัดจากขิงสดและผลิตภัณฑ์ขิงคองและขิงผงมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ *Staph.aureus* ได้ดีกว่าเชื้อ *E.coli* โดยเฉพาะสารสกัดที่ได้จากขิงผงจะให้ผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด ผลการทดลองทำนองเดียวกันนี้ พบได้เช่นกันในผลิตภัณฑ์ของขิงคองและขิงผงในท้องตลาด

Thesis Title	Antiradical Capacity and Antimicrobial Activity of extracts from ginger and its products
Student	Miss Chanphen Maliphand
Student ID.	45067021
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2006
Thesis advisor	Asst.Prof. Dr. Ruchira Taprap
Thesis co -advisor	Asst.Prof. Dr. Praphan Pinsirodom

ABSTRACT

In this study, gingers (*Zingiber officinale Roscae.*) were processed to two kinds of product, *i.e.* ginger pickle from young ginger and ginger powder from mature ginger. The total polyphenol content, the antiradical capacity as percentage of DPPH scavenging activity and the antimicrobial activity of *E.coli* and *Staph.aureus* were examined in fresh gingers samples, during processing and finished products. The commercial products of ginger pickle and ginger powder were also examined and compared with the experimented products. The results revealed that the total polyphenol content in mature ginger with and without peeling were 17.56 and 19.41 mg of gallic acid / g dry basis, respectively and exhibiting a higher antiradical capacity than young ginger. During being processed, the total polyphenol content and antiradical capacity (percentage of DPPH scavenging activity) were found as follows: for ginger pickle, the total polyphenol content decreased from 14.45 to 8.59 mg of gallic acid / g dry basis and the percentage of DPPH scavenging activity decreased from 89.07 to 81.27%. For ginger powder, the total polyphenol content increased from 17.56 to 45.41 mg of gallic acid / g dry basis, while the percentage of DPPH scavenging activity was constant. It can be concluded that the process of ginger pickle resulted in the higher losses of total polyphenol content and antiradical capacity than those of the process of ginger powder. The examination was also carried out in the commercial products, the three brands of ginger pickle contained the total polyphenol content in range of 8.59 - 24.59 mg of gallic acid / g dry basis whereas the two brands of ginger powder contained 7.97 - 45.41 mg of gallic acid / g dry basis. Moreover, the percentage of DPPH scavenging capacity in commercial sample of ginger pickle was higher than that in ginger powder samples.

For antimicrobial activity, the agar well diffusion method was adopted with the 2 – fold serial concentration : 200, 100, 50, 25, 12.5 and 6.25 mg/ml. It was revealed that the extracts from fresh ginger showed higher inhibitory effect on *Staph. aureus* than on *E.coli*. The minimum inhibitory concentration (MIC) for *Staph. aureus* was 25 mg/ml whereas for *E.coli* was 100 mg/ml. When young ginger was processed to pickle, the antimicrobial activity of the extracts from ginger samples decreased in the both microorganism. For example, the MIC for *Staph. aureus* was shifted to 200 mg/ml while no inhibition sign for *E.coli* was observed. The process of ginger powder showed the antimicrobial activity of *Staph. aureus* and *E.coli* more effective than in the process of pickle. However, it can be concluded that the extracts from ginger and its products could have a stronger effect of inhibitory on *Staph. aureus* than on *E.coli*. Moreover, the extracts from ginger powder exhibited the strongest effect of antimicrobial properties. The similar results were also found in the commercial products for both of ginger powder and ginger pickle.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. รุจิรา ตาปราบ และ ผศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหาลดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ. เขียวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ และ รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำลดจนข้อชี้แนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ลดจนให้ข้อคิด มุมมอง และแนวทางอันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าในการศึกษาค้นคว้า จัดทำวิทยานิพนธ์จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่อันเป็นที่เคารพรัก และพี่ๆทุกคน ที่ได้ให้ความรัก ให้กำลังใจและสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้านด้วยดีตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 จิง (ginger).....	3
2.2 ชนิดของจิง.....	3
2.3 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในจิง.....	5
2.4 คุณค่าทางอาหารของจิง.....	7
2.5 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา.....	8
2.6 ข้อควรระวังในการใช้ประโยชน์จากจิง.....	10
2.7 การใช้ประโยชน์ของจิงในอุตสาหกรรมอาหาร.....	10
2.8 สมบัติของสารต้านออกซิเดชัน(Antioxidant).....	11
2.9 สมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobial).....	17
2.10 เชื้อจุลินทรีย์ที่บ่งชี้สุขภาพในอาหาร.....	24
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง.....	27
3.1 วัตถุประสงค์.....	27
3.2 สารเคมี.....	27
3.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ.....	28
3.4 ยาด้านจุลชีพ.....	28

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.5	เชื่อบุญธรรม.....	28
3.6	อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	28
3.7	สถานที่ดำเนินการทดลอง.....	28
3.8	วิธีดำเนินการ.....	29
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
4.1	ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพการ การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง.....	35
4.2	ผลการทดลองสมบัติการยับยั้งเชื่อบุญธรรมของสารสกัดจากขิง และผลิตภัณฑ์ขิง.....	50
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	64
บรรณานุกรม.....		67
ภาคผนวก	ก.....	73
ภาคผนวก	ข.....	76
ภาคผนวก	ค.....	80
ภาคผนวก	ง.....	82
ภาคผนวก	จ.....	84
ประวัติผู้เขียน.....		87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ปริมาณสารอาหารที่พบในจิงสดและจิงแห้ง.....7
4.1	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากจิงสดในขั้นตอนการปอกเปลือก.....36
4.2	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากจิงสดในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการแปรรูปจิงคอง.....39
4.3	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากจิงสดในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการแปรรูปจิงผง.....42
4.4	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากจิงสดในผลิตภัณฑ์จิงคองที่ผลิตในทางการค้าและเปรียบเทียบกับจิงคองที่ได้จากการทดลอง.....45
4.5	การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่มีในจิงคองต่อหน่วยการบริโภค.....46
4.6	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากจิงสดในผลิตภัณฑ์จิงผงที่ผลิตในทางการค้าและเปรียบเทียบกับจิงผงที่ได้จากการทดลอง.....49
4.7	ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ <i>Staph.aureus</i> ของสารสกัดจากจิงสดในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการแปรรูปจิงคอง.....51
4.8	ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ <i>Staph.aureus</i> ของสารสกัดจากจิงสดในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการแปรรูปจิงผง.....54
4.9	ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ <i>Staph.aureus</i> ของสารสกัดจากจิงที่ได้จากผลิตภัณฑ์จิงที่ผลิตในทางการค้าและเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จิงที่ได้จากการทดลอง...56
4.10	ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ <i>E.coli</i> ของสารสกัดจากจิงสดในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการแปรรูปจิงคอง.....58
4.11	ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ <i>E.coli</i> ของสารสกัดจากจิงสดในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการแปรรูปจิงผง.....60
4.12	ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ <i>E.coli</i> ของสารสกัดจากจิงที่ได้จากผลิตภัณฑ์จิงที่ผลิตในทางการค้าเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จิงที่ได้จากการทดลอง.....63

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะลำต้นและเหง้าขิง.....	3
2.2	โครงสร้างเซลล์ต่างๆภายในเหง้าขิง(a).....	6
	ลักษณะของ oil cell ที่บรรจุ oleoresin(b).	6
2.3	โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักที่พบในสารสกัดขิง.....	8
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอนุโมลิสระและระบบต้านออกซิแดนทีในร่างกาย.....	13
2.5	รูปร่างของเชื้อ <i>E.coli</i> (a)	25
	การย้อมติดสีแกรมลบของเชื้อ <i>E.coli</i> (b).....	25
2.6	รูปร่างของเชื้อ <i>Staph. aureus</i> (a)	26
	การย้อมติดสีแกรมลบของเชื้อ <i>Staph. aureus</i> (b).....	26
3.1	กระบวนการผลิตขิงคอง.....	30
3.2	กระบวนการผลิตขิงผง.....	31
ง1	เครื่องเขย่า.....	85
ง2	เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ.....	85
ง3	เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	85
ง4	ตู้อบลมร้อน.....	85
ง5	ที่เจาะรูไม้(cork borer).....	85
ง6	ตู้อบเชื้อ.....	85
ง7	หม้อนึ่งความดัน.....	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในสังคมปัจจุบันซึ่งเป็นยุคที่ผู้คนหันมาเอาใจใส่ต่อสุขภาพกันมากขึ้น เลือกรับประทานอาหารที่เน้นคุณค่าของสารอาหารที่มีส่วนช่วยในการรักษาและป้องกันโรคต่างๆ รวมทั้งช่วยเสริมสุขภาพร่างกายไม่ให้เสื่อมไปก่อนวัยอันควร ดังนั้นพืชสมุนไพรของไทยจึงได้รับความสนใจเป็นพิเศษ จึงเป็นพืชสมุนไพรในอันดับต้นๆที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารจะนำมาใช้ทั้งในรูปแบบเครื่องเทศและเป็นสารให้กลิ่นรส โดยเฉพาะส่วนเหง้าของขิงซึ่งประกอบด้วยสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญและมีประโยชน์ต่อสุขภาพอยู่หลายชนิดด้วยกัน ที่สำคัญและได้รับความสนใจ ได้แก่ กลุ่มสารประกอบฟีนอลิก สารในกลุ่มนี้จะมีส่วนในการยับยั้งการสร้างเซลล์มะเร็ง บรรเทาอาการอักเสบของกล้ามเนื้อ ยับยั้งการแข็งตัวของเกล็ดเลือด บรรเทาอาการลดไข้ บรรเทาอาการอาเจียน (Surh *et al.*, 1998)

ได้มีการสกัดเพื่อแยกองค์ประกอบทางพฤกษเคมีที่อยู่ในเหง้าขิงในรูปแบบเชิงการค้ากันอย่างแพร่หลาย เช่น น้ำมันหอมระเหย (essential oil) น้ำมันชัน (oleoresin) เพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและทางการแพทย์ (Zancan *et al.*, 2002)ซึ่งในน้ำมันหอมระเหย ได้จากการกลั่นจะประกอบด้วยกลุ่มสารระเหยที่ให้กลิ่นหอม (volatile substances) ได้แก่ monoterpenic และ sesquiterpenic compounds ส่วนน้ำมันชันได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย เมื่อระเหยตัวทำละลายออกจะได้ของเหลวสีน้ำตาล โดยประกอบด้วยสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมและสารที่ให้กลิ่นรสที่เผ็ดร้อน ซึ่งอยู่ในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก คีโตน (phenolic ketones) ได้แก่ gingerols shogaols และ zingerone (Prasad *et al.*, 2000)

เนื่องจากสารสกัดน้ำมันชันจากเหง้าของขิงประกอบด้วยสารในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกนี้เองทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขิงมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antiradical property) และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิดได้ ซึ่งปริมาณสารประกอบดังกล่าวจะลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา สภาพแวดล้อมในการเก็บ รวมทั้งกระบวนการแปรรูปขิง ดังนั้นการในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงสดและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปจนกระทั่งเป็นผลิตภัณฑ์

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัด (oleoresin) ที่ได้จากขิงอ่อนและขิงแก่ รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการแปรรูปขิงเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ และเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองกับผลิตภัณฑ์ที่เก็บตัวอย่างจากท้องตลาด

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงสด และผลิตภัณฑ์ขิงจากท้องตลาด

1.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติ การต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงในระหว่างกระบวนการแปรรูปขิงคองและขิงผง

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 จิง (ginger)

จิงเป็นพืชในตระกูล *Zingiberaceae* มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zingiber officinale* Rosc. เป็นพืชล้มลุกที่มีอายุอยู่ได้หลายปี มีลำต้นใต้ดินเป็นเหง้าที่กาบใบบางๆหุ้ม เหง้าแตกสาขาคล้ายนิ้วมือเป็นเหง้า ดังรูปที่ 2.1 จิงเป็นพืชที่ชอบขึ้นในที่อุดมสมบูรณ์ ความชื้นสูง แดดรำไรและอยู่ในเขตร้อน เป็นพืชพื้นเมืองในแถบเอเชีย และทวีปอื่นๆ เช่น จีน ญี่ปุ่น อินเดีย จาไมก้า ไนจีเรีย อินโดนีเซีย ไทย ฯลฯ เป็นต้น แหล่งปลูกจิงในประเทศไทยมักจะพบปลูกกันทั่วทุกภาคของประเทศแต่ที่ปลูกกันเป็นลำเป็นสันเพื่อส่งขายจะอยู่ในบริเวณภาคกลางบางจังหวัด เช่น ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ กาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม ปทุมธานี และ เพชรบุรี ในภาคใต้บางจังหวัด เช่น ชุมพร นราธิวาส ในภาคตะวันออกที่จังหวัดปราจีนบุรี



รูปที่ 2.1 ลักษณะของลำต้นและเหง้าของจิง

ที่มา : www.doae.go.th/.../html/detail/jinsen/kingg.htm

2.2 ชนิดของจิง

จิงที่ปลูกกันทั่วไปจะมีลักษณะของลำต้นอยู่เหนือดิน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ลำต้นเทียม ใบและดอกมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากจนยากที่จะบอกถึงความแตกต่างในแต่ละพันธุ์ แต่มีที่สังเกตถึงความแตกต่างของจิง ที่เห็นได้ชัดคืออาศัยคูสีของเหง้าจิง จึงทำให้แยกจิงออกได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกที่มีบริเวณใต้เซลล์ของผิวจะมีสีม่วงปนแดงหรือสีม่วงปนน้ำเงิน กลุ่มที่สองบริเวณใต้เซลล์ผิวจะไม่มีสี หรืออาจมีสีเหลืองอ่อนๆ แต่เมื่อผ่าเหง้าออกตามขวางทั้งสองกลุ่มนี้แล้วจะเห็นภายในเหง้าเป็นสีเหลืองอ่อนและตรงใจกลางของเหง้าจะมีลักษณะคล้ายวงกลม หรือวงแหวนสีน้ำเงินอ่อน

เหมือนกัน สำหรับพันธุ์ที่ปลูกกันในปัจจุบัน เกิดจากการคัดเลือกจากสองกลุ่มนี้และมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามแหล่งปลูก ได้แก่ (ธงชัย, มปป.)

1) จิงจาไมก้า เป็นพันธุ์จิงที่มีคุณภาพดีที่สุดในบรรดาจิงพันธุ์ต่างๆในโลก เป็นจิงประเภทชูดเปลือกไม่พอกสี มีลักษณะของเหง้าเป็นรูปแบบนิ้วมือ ผิวด้านนอกมีสีเหลืองอ่อน หรือเหลืองอมน้ำตาลจนถึงเหลืองส้ม มีรสดี กลิ่นหอม เป็นที่ต้องการของประเทศสหรัฐอเมริกา และบางประเทศในทวีปยุโรป

2) จิงอินเดีย เป็นจิงที่มีแป้งมากและมีรสเผ็ดเท่ากับจิงจาไมก้า แต่จิงอินเดียมีกลิ่นที่ดีกว่า เพราะจิงอินเดียมีน้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นมะนาวสูงกว่าจิงจาไมก้า จิงอินเดียสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ พวกแรกคือ จิงโคชิน เมื่อลอกเปลือกออกจะมีสีน้ำตาลอ่อน หรือมีสีเหลืองปนเทา จัดว่าเป็นจิงที่ดีที่สุดของอินเดีย พวกที่สองคือ จิงคาลิกัต จิงชนิดนี้มีกลิ่นมะนาวมากกว่าจิงโคชิน เมื่อลอกเปลือกออกแล้วมีสีส้มถึงน้ำตาลแดง

3) จิงอาฟริกา เป็นจิงที่นำมาจากจาไมก้า แต่จะมีขนาดเล็กกว่าจิงจาไมก้า จิงอาฟริกาเป็นจิงที่ไม่พอกเปลือกหรือชูดเปลือกออกเมื่อนำไปตากแห้งผิวเปลือกนอกที่ติดอยู่จะมีลักษณะหยาบขรุขระสีน้ำตาลเทา มีสีเข้มกว่าจิงโคชินจิงอินเดีย มีกลิ่นหอมแรง คุณสมบัติทางยาเหมือนกับจิงจาไมก้า แต่มีรสชาติไม่ดีเท่าจิงจาไมก้า เนื้อในมีสีเหลืองอ่อนถึงสีน้ำตาลอ่อน ข้อเสียของจิง อาฟริกา คือ มีเส้นใยมาก จึงไม่เหมาะในการนำมาทำจิงผง

4) จิงจีน เป็นจิงที่มีเหง้าเป็นสีขาว ไม่มีเส้นใยในเนื้อจิงเลย แต่มีกลิ่นหอมน้อยกว่าจิงจาไมก้า มีเนื้อเป็นแบบจิงอ่อน จึงเหมาะที่จะทำจิงคองแต่ไม่เหมาะที่จะนำมาทำยารักษาโรค

5) จิงญี่ปุ่น เป็นจิงที่มีขนาดเล็ก เพราะหักง่าย มีเส้นใยหรือเส้นน้อยผิวด้านนอกเรียบมีสีขาว ส่วนเนื้อจิงมีสีเหลืองอ่อนถึงสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นหอมฉุนจัดมีรสเผ็ด

6) จิงไทย สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. จิงใหญ่หรือจิงหอกหรือจิงขาว ลักษณะเหง้าใหญ่ ข้อห่าง เนื้อละเอียด เส้นน้อยมาก รสไม่เผ็ด เมื่อลอกเปลือกออกเนื้อในไม่มีสีหรือมีสีเหลืองเรื่อๆ ลักษณะของตาที่ปรากฏบนเหง้าจะกลมมน เมื่อเจริญเติบโตไปเป็นลำต้นและแตกใบแล้วจะมีปลายใบที่ป้านกว่าจิงเล็ก แต่ลำต้นจะมีความสูงมากกว่าจิงเล็กเหมาะสำหรับรับประทานเป็นจิงอ่อนหรือจิงคอง

2. จิงเล็กหรือจิงเผ็ด บางแห่งเรียกว่า จิงดำ ลักษณะเหง้าเล็กสั้น ข้อถี่ เนื้อมีเส้นใยมาก รสค่อนข้างเผ็ด เมื่อลอกเปลือกออกเนื้อจะมีสีน้ำตาลปนเขียว บางชนิดจะมีสีแดงเรื่อๆ ลักษณะของตาที่ปรากฏบนเหง้าแหลม เมื่อเจริญไปเป็นลำต้นและแตกใบแล้วจะมีปลายใบที่แหลม เหง้าของจิงเล็กจะแตกแขนงหรือแตกกอได้ดี ไม่นิยมปลูกขายเป็นจิงอ่อน ส่วนใหญ่มักจะนำไปทำเป็นจิงแห้ง เพราะให้น้ำหนักดี นิยมนำมาทำยาสมุนไพรประกอบยารักษาโรค

2.3 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในขิง

ขิงประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย 1 – 2 % สารพวกชัน 5 – 8 % นอกจากนั้นจะเป็นแป้งและสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ประเภทกัม (นิจสิริ, 2542)

2.3.1 น้ำมันหอมระเหย (Essential oil)

น้ำมันหอมระเหยซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหอมประกอบด้วย sesquiterpene hydrocarbon 50 % หรือมากกว่า นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ คือ sesquiterpene alcohols, monoterpenoids, เอสเทอร์ของกรดอะซิติก, cuprylic acid และสารประกอบฟีนอลิก

Zingiberene เป็นสารกลุ่ม sesquiterpene hydrocarbon ที่พบมากในน้ำมันหอมระเหยขิง กล่าวคือพบประมาณ 35.6% สาร sesquiterpene ชนิดอื่น ๆ ที่พบก็มี curcumene 17.7%, farnesene 9.8% และมีสารอื่น ๆ อีกที่พบในปริมาณน้อย สารกลุ่ม sesquiterpene alcohols ที่พบในน้ำมันหอมระเหยขิงคือ zingiberol สารกลุ่ม monoterpenoids hydrocarbon ที่พบในน้ำมันหอมระเหยขิง ได้แก่ camphene, α และ β - pinene, cumene, myrcene, Limonene, p - cymene และ phellandrene สารกลุ่ม oxygenated monoterpene ที่พบ ได้แก่ 2- heptanol, 2 - nonanol, n - onanol, n - decanol, linalool, geraniol และ neral

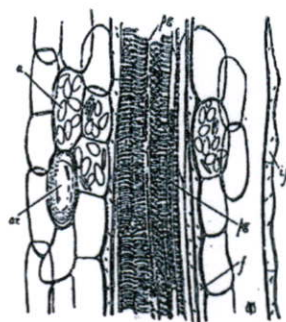
ในการศึกษาน้ำมันหอมระเหยขิงที่ได้จากแหล่งต่างๆกัน พบว่าน้ำมันหอมระเหยจะมีส่วนประกอบที่คล้ายๆกันแต่ต่างกันที่ปริมาณของสารเท่านั้น น้ำมันหอมระเหยขิงที่เก็บไว้ให้ถูกอากาศและแสงเป็นเวลานานจะมีความเข้มข้นมากขึ้นและมีส่วนที่เป็นสารที่ไม่ระเหยเพิ่มขึ้น กล่าวคือจะมีสาร ar - curcumene ซึ่งเป็นสารที่ไม่ระเหยมากขึ้น ส่วนสาร zingiberene ซึ่งเป็นสารที่ระเหยได้จะมีปริมาณลดลง

2.3.2 น้ำมันชัน (Oleoresin)

น้ำมันชัน หรือ โอลีโอเรซิน เป็นของผสมระหว่างเรซินกับน้ำมันหอมระเหย น้ำมันชันที่สกัดจากขิงจึงมีกลิ่นฉุนและรสเผ็ด รวมทั้งมีกลิ่นหอมของน้ำมันหอมด้วย จะพบมากในชั้นเซลล์ cortex และมีกระจายอยู่ทั่วไปในชั้นเซลล์ endodermis ดังรูปที่ 2.2 สกัดออกมาจากขิงแห้งด้วยตัวทำละลายต่างๆ เช่น อะซิโตน เอธิลแอลกอฮอล์ หรือเอทิลอีเทอร์ เมื่อระเหยตัวทำละลายออกแล้วจะได้น้ำมันชันที่ข้นเหนียวสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งทางการค้าเรียกว่า ขิงเจอร์ริน (gingerin) ในน้ำมันชันประกอบด้วยสารสำคัญได้แก่ gingerol หรือ [1-(3-methoxy-4-hydroxyphenyl)-3-keto - 5 - hydroxyhexanel], shogaol, zingerone, paradol และสารประกอบอื่นๆอีกหลายชนิด น้ำมันชันที่เตรียมใหม่ๆจะมี gingerol เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วน shogaol และ zingerone ไม่ได้เป็นสารที่เกิดตามธรรมชาติแต่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขณะที่เตรียมและการเก็บน้ำมันชัน โดย gingerol จะเปลี่ยนเป็น shogaol จากกระบวนการ dehydration ในการแปรรูปด้วยความร้อนหรือเกิดจากที่

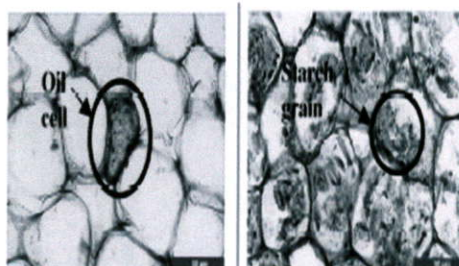
เก็บไว้เป็นระยะเวลายาวนาน (Prasad *et al.*, 2000; Jolad *et al.*, 2004) และเปลี่ยนเป็น zingerone ด้วยปฏิกิริยา retro – aldol (Zhang *et al.*, 1994) มีโครงสร้างทางเคมี ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งสารประกอบทั้งสามชนิดจะมีความแตกต่างกันที่จำนวนคาร์บอนที่มาเกาะกับ aromatic ring และตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล(-OH) ดังนั้นน้ำมันชั้นที่มีคุณภาพต่ำจะมีปริมาณสาร shogaol และ zingerone ในปริมาณสูง และพบว่าสาร gingerol ที่มีอยู่ในจริงจะอยู่ในรูป [6], [8] และ [10] – gingerol ในอัตราส่วนต่างๆ โดยจริงสดจะมี [6]- gingerol ในปริมาณที่สูงสุดและจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาและสภาพที่เก็บรักษา(Kikuzaki *et al.*,1993) นอกจากนี้ยังพบว่าสาร gingerol จะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่แข็งแรง แต่เมื่ออยู่ในรูป shogaol และ zingerone คุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระลดลง(Surh *et al.*,1998) นอกจากนี้ในน้ำมันชั้นยังพบสาร gingerol, zingiberene, gingediol, diarylheptanoids ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นหอม (Ganguly *et al.*, 2003)

a



Jamaica ginger, *Zingiber officinale*, longitudinal section. a, starch; f, fibre; if, isolated fibre showing segmentation; a.r., oleo-resin; pg, pigment cell. x200.

b



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเซลล์ต่างๆภายในของเหง้าขิง(a) , ลักษณะของ oil cell ที่บรรจุ oleoresin (b)

ที่มา : ถนอมศรี (2538); Azian และคณะ(2004)

2.4 คุณค่าทางอาหารของขิง

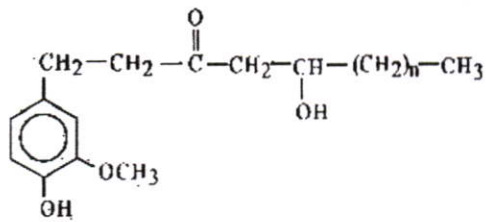
ขิงเป็นพืชที่นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางทั้งในรูปแบบสมุนไพรและพืชเครื่องเทศ ทั้งนี้เนื่องจากว่าเหง้าขิงจะมีองค์ประกอบของสารที่มีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญๆ อยู่หลากหลายชนิดด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตจะพบว่ามีปริมาณสูงเมื่ออยู่ในรูปขิงแห้ง นอกจากนี้ในเหง้าขิงยังพบทั้งวิตามิน แร่ธาตุและสารประกอบอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารอาหารที่พบในเหง้าขิงสดและขิงแห้ง

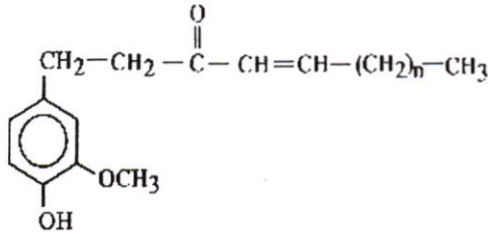
ส่วนประกอบ	เหง้าสด (%)	เหง้าแห้ง(%)
คาร์โบไฮเดรต	11.0	60-70
โปรตีน	2.5	9
ไขมัน	0.8	3-6
แร่ธาตุ Ca	20.0	*
P	-	*
Fe	2.5	*
น้ำ	82	9-12
กากใย	2.1	3-8
วิตามิน เอ	-	*
วิตามิน บี1	0.02	*
วิตามิน บี2	0.04	*
วิตามิน บี4	-	*
วิตามิน ซี	4.0	*
Incotinamide	0.8	*

ที่มา : สมพร (2542); Ganguly และคณะ (2003)

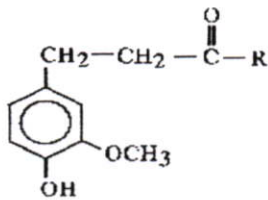
* ไม่มีรายงานผล



6-,8-,10- gingerol (n=4,6,8)



6-,8-,10- Shogaol (n=4,6,8)

zingerone R = CH₃

รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบหลักที่พบในสารสกัดจากขิง

ที่มา : Surh และคณะ (1998)

2.5ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของขิง (อรนุช, 2536 ; เสาวนิตย์ , 2545)

1) ลดระดับโคเลสเตอรอล ในการทดลองซึ่งให้หนูขาวกินอาหารที่ผสมด้วยขิง 10% (คำนวณเป็นน้ำหนักแห้ง)และโคเลสเตอรอล 1% ติดต่อกัน 24 วัน พบว่าระดับโคเลสเตอรอลในเลือดและในตับลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับสารจำพวก oleoresin จากขิงมีฤทธิ์ลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือดและตับและเพิ่มการขับถ่ายทางอุจจาระเมื่อทดลองในหนูขาวที่เพิ่งหย่านม

2) ฤทธิ์แก้ปวดลดไข้ สารสกัดจากขิงด้วยเมธานอล 50% มีฤทธิ์แก้ปวดเมื่อให้ในปริมาณ 10 กรัม/กิโลกรัม โดยการฉีดเข้าใต้ผิวหนังหนูทดลองที่ถูกกระตุ้นให้เจ็บปวดด้วยกรดอะซิติก แต่ไม่มีผลถ้าทดสอบกับความร้อน เมื่อฉีด gingerol และ shogaol เข้าหลอดเลือดดำปริมาณ 1.75 – 3.5 มิลลิกรัม / กิโลกรัม หรือให้สัตว์ทดลองกินขนาด 70 – 140 มิลลิกรัม / กิโลกรัม พบว่ามีฤทธิ์ลดไข้ในหนูทดลอง

3)ฤทธิ์ลดการเคลื่อนไหว เมื่อให้ gingerol และ shogaol ปริมาณ 1.75 – 3.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ทางหลอดเลือดดำและให้สัตว์ทดลองกินปริมาณ 70 – 140 มิลลิกรัม / กิโลกรัม พบว่ามีฤทธิ์ลดการเคลื่อนไหวของหนูทดลอง

4)ลดอาการวิงเวียน ชิงผงมีฤทธิ์ลดอาการวิงเวียนและลดอาการคลื่นเหียน สำหรับคนที่เมารถได้ดีกว่ายาแก้เมารถ

5)ฤทธิ์ในการยับยั้งอาการอาเจียน เมื่อฉีดสารสกัดจากขิงด้วยเมธานอล 50% ในขนาด 10 กรัม/กิโลกรัมแก่กบที่ทำให้อาเจียนด้วย copper sulfate พบว่าสามารถต้านการอาเจียนได้ และยังมีผู้พบว่า สารสกัดจากขิงด้วยอะซิโตนหรือแอลกอฮอล์ 50% ให้ผลในการป้องกันการอาเจียนที่เกิดจาก cisplatin แต่เมื่อใช้สารสกัดน้ำจะไม่ได้ผล และสารสกัดจากขิงไม่สามารถป้องกันการอาเจียนที่เกิดจาก apomorphine (Sharma *et al.*,1997) สารสำคัญที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการอาเจียน คือ [6]-, [8]-, [10]- shogaol และ 10-gingerol (Kawai *et al.*,1994)

6)ฤทธิ์ขับลม ชิงสามารถลดอาการจุกเสียดได้ดีเนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหยซึ่งช่วยขับลม พบสารออกฤทธิ์คือ menthol, cineole (Evans *et al.*,1978) ทั้งนี้ยังพบว่าสารสกัดด้วยอะซิโตน คือ shogaol และ gingerol ทำให้เกิด propulsive movement จึงช่วยขับลม(Yamahara *et al.*,1990)

7)ฤทธิ์ด้านการเกิดแผลในกระเพาะ สารสำคัญที่ออกฤทธิ์ด้านการเกิดแผลในกระเพาะคือ furaogermerone จากขิงที่มีฤทธิ์ด้านการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร เมื่อทำให้หนูเครียด โดยไปลดการหลั่งกรด เมื่อให้หนูขาวกิน zingerberine และ 6- gingerol ในขนาด 100 มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่ามีฤทธิ์ลดการเกิดแผลในกระเพาะอาหารของหนูที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดแผลด้วยกรดร่วมกับแอลกอฮอล์ โดยลดการเกิดแผลได้ 97.5, 53.6 และ 54.5% ตามลำดับ(Yamahara *et al.*,1988)

8)ฤทธิ์ลดการอักเสบ สารซึ่งให้รสเผ็ดร้อนในขิงคือ 6- shogaol ที่พบในเหง้าขิงแห้งมากกว่าขิงสด มีฤทธิ์ลดการอักเสบ โดยป้องกันฤทธิ์ของ cyclooxygenase activity gingerol และ diarylheptanoid เป็นสารด้านการอักเสบ โดยออกฤทธิ์ด้านเอนไซม์ arachidonate – 5- lipoxigenase

9)ฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ สารสกัดจากขิงด้วยน้ำร้อนมีผลก่อกลายพันธุ์เซลล์ B 219I และ *Salmonella typhimorium* TA 100 ในขนาด 12.5 มิลลิกรัม /disc และสารสกัดจากขิง gingerol และ shogaol มีผลต่อการก่อกลายพันธุ์ใน TA100 และ 1535 แต่ไม่มีผลต่อ TA98 ส่วน zingerone ไม่มีฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ ซึ่งสารสกัดจากขิงจะลดฤทธิ์ก่อกลายพันธุ์ เมื่อผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง หรือผ่านแสง UV (Nagabhusanb *et al.*,1987)

10)ฤทธิ์เป็นยาชาเฉพาะที่ สารสกัดด้วยน้ำร้อนจากขิงมีฤทธิ์เป็นยาชาเมื่อทดลองกับเส้นประสาท (sciatic nerve) ของกบเมื่อใช้ความเข้มข้น 1 %

2.6 ข้อควรระวังในการใช้ประโยชน์จากจิง (เสาวนิตย์, 2545)

- 1) การรับประทานจิงขนาดสูงมาก ๆ อาจเกิดอาการหัวใจเต้นไม่ปกติ เนื่องจากกดประสาทส่วนกลาง
- 2) จิงยับยั้งการสังเคราะห์ thromboxane จึงควรระมัดระวังในผู้ป่วยที่มีปัญหาตกเลือด มีรายงานพบว่า การให้จิงในขนาดสูง อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการจับตัวของเกร็ดเลือด แต่จะหายไปหลังหยุดรับประทานไป 1 สัปดาห์ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากฤทธิ์ยับยั้ง thromboxane synthetase และเสริมฤทธิ์ prostacyclin จิงแห้งในขนาดสูง 10–14 กรัม อาจเพิ่ม hypothermic effect ในการรักษาด้วยยาละลายลิ่มเลือด แต่ก็ยังไม่มีการพิสูจน์ทางคลินิก ดังนั้น ผู้ป่วยที่มีปัญหาเรื่องการจับตัวของเกร็ดเลือดควรระมัดระวังและปรึกษาแพทย์
- 3) จิงอาจทำให้เกิดการแพ้ได้ มีรายงานว่าน้ำคั้นจากจิงอาจทำให้เกิดอาการแพ้ผื่นได้และอาจทำให้เกิด phototoxicity แต่ไม่รุนแรงมากนัก
- 4) การใช้ในหญิงมีครรภ์กรณีการใช้แก้อาเจียน ควรใช้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากไม่มีหลักฐานยืนยันความปลอดภัย มีเพียงการศึกษาในหนูขาวพบว่าไม่ทำให้แท้งแต่มีรายงานการใช้ในตำรับยาทำแท้ง จึงควรระมัดระวังไม่ใช้เกินขนาดในหญิงมีครรภ์
- 5) ไม่ควรใช้ในผู้ที่ปัญหาน้ำตาลในเลือดสูง เนื่องจากจิงมีฤทธิ์ขับน้ำดี ในกรณีผู้ป่วยที่เป็นน้ำตาดี จึงควรระมัดระวังในการใช้และอยู่ในการดูแลของแพทย์

2.7 การใช้ประโยชน์ของจิงในอุตสาหกรรมอาหาร

การนำจิงมาใช้ประโยชน์อาจจะใช้ในรูปแบบของจิงแห้ง จิงสดและจิงคอง จิงแห้งนิยมใช้ในการแต่งกลิ่นอาหารหลายชนิด เช่น พาย ขนมปัง คุกกี้ หรือนำมาทำเป็นจิงผงบดละเอียด (ginger powder) สำหรับใช้เป็นส่วนผสมในผงกะหรี่ เป็นส่วนผสมในเครื่องเทศที่ไร้หมักปลาและเนือบด และถือว่าเป็นเครื่องเทศที่ช่วยในการลดความหื่นได้ดีในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นยาสมุนไพร บางครั้งนำมาคองหรือใส่ในเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์หรือผสมในค็อกเทล (Ganguly *et al.*, 2003)

จิงมีเอนไซม์ที่ย่อยเนื้อได้ ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือน เอนไซม์โปรติเอส (protease enzyme) ถ้านำจิงมาตัดตามขวางจะมองเห็นวงแหวนสีน้ำตาลเงินที่แห้ง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ของเอนไซม์ พบว่าในเหง้าสดหนักประมาณ 60 กรัม จะให้เอนไซม์หนักประมาณ 1.356 กรัม หรือคิดเป็น 2.26% ซึ่งมากกว่าปริมาณของเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากมะละกอดิบ เอนไซม์ในจิงประกอบด้วยเอนไซม์ 2 ชนิดเป็นอย่างน้อยหรืออาจเป็น iso - enzyme ก็ได้ (นิจศิริ, 2542)

2.8 สมบัติของสารต้านออกซิเดชัน

2.8.1 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ หมายถึง กลุ่มของสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอกที่ยังไม่ได้จับคู่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลในร่างกาย โดยทั่วไปภายในเซลล์อนุมูลอิสระส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า reactive oxygen species (ROS) ซึ่งสารในกลุ่มนี้ได้แก่ hydroxyl radical (OH^{\bullet}), superoxide radical ($\text{O}_2^{\bullet-}$) อนุพันธ์ของออกซิเจน ได้แก่ hydrogen peroxide (H_2O_2), hypochlorous acid (HOCl), alkoxyl radical (RO^{\bullet}), peroxy radical (RO_2^{\bullet}) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของสารที่เรียกว่า reactive nitrogen species (RNS) ที่สำคัญได้แก่ nitric oxide (NO) nitrogen dioxide (NO_2) และ peroxy nitrite (ONOO^-) ทั้งกลุ่มของ ROS และ RNS จัดเป็นแหล่งอนุมูลอิสระที่สำคัญของร่างกาย (Aruoma *et al.*, 1997)

อนุมูลอิสระ สามารถเกิดขึ้นได้เองเมื่อร่างกายได้รับสารอินทรีย์บางชนิดและในขณะที่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันขึ้นเอง ซึ่งเรียกว่า ออโตซิเดชัน (autoxidation) กระบวนการดังกล่าวมักจะเกิดขึ้นกับไขมัน ดังนั้นจึงเรียกกระบวนการออกซิเดชันนั้นว่า ลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) อนุมูลอิสระเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนั้นยังสามารถเกิดจากปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อร่างกาย เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) โอโซน ควันทากท่อไอเสีย ควันทูรี่ ความเครียด เป็นต้น อนุมูลอิสระเหล่านี้จะไปทำลายชีวโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และกรดนิวคลีอิก ก่อให้เกิดความเสียหายและเป็นอันตรายแก่เซลล์ร่างกาย อันเป็นสาเหตุให้เกิดพยาธิสภาพของโรคบางโรคได้หรือทำให้เซลล์ผิดปกติ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเกี่ยวกับภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ โรคข้ออักเสบ โรคแก่ก่อนวัย โรคต่อกระจก โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer) โรคพาร์กินสัน (Parkinson) ฯลฯ (นวลศรี และ อัญชญา, 2545)

2.8.2 สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

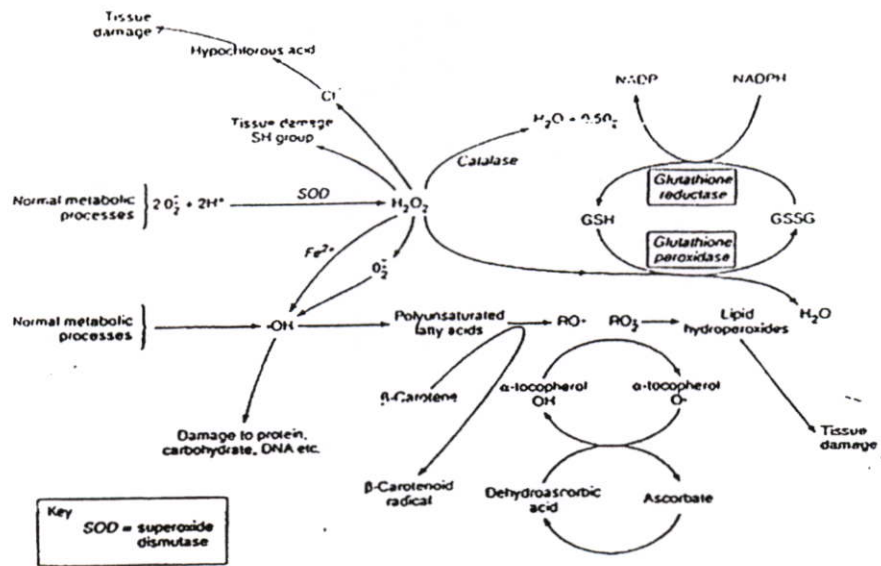
สารต้านออกซิเดชันหรืออาจจะเรียกว่าสารต้านอนุมูลอิสระพบในพืชสมุนไพรจำนวนมาก ในธรรมชาติ รวมถึงผักและผลไม้ เรียกรวมนกันว่า Physiochemical substrates ตัวอย่างเช่น

- 1) Isoprenoid derivatives เช่น carotenoids และ tocopherols (vitamin E)
- 2) Phenolic substances เป็นกลุ่มที่มีมากที่สุดประกอบไปด้วย polyphenol และ flavonoids ซึ่ง flavonoids ที่เป็น antioxidant เช่น
 - 2.1 flavones เช่น luteolin ใน parsley , thyme
 - 2.2 flavanones เช่น naringenin ในผลไม้พวกส้มที่มีวิตามินซี

- 2.3 flavonols เช่น quercetin ในหัวหอม บรอกโคลี แอปเปิล เชอร์รี่ เบอร์รี่ ชาเขียว และไวน์แดง
- 2.4 flavanonol เช่น taxifolin
- 2.5 isoflavones เช่น genistein ในถั่วเหลือง
- 2.6 flavan-3 ols เช่น epicatechin
- 2.7 anthocyanidine เช่น cyanidin ในเชอร์รี่ องุ่น กระจับปี่แดง
- 2.8 catechins ในแอปเปิล และชา
- 3) คาร์โบไฮเดรตและโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง เช่น ascorbic acid (วิตามินซี)
- 4) สารประกอบที่มีโครงสร้างของกรดอะมิโน เช่น glutathione
- 5) กรดไขมันและไขมัน โครงสร้าง
- 6) แร่ธาตุ เช่น ซีลีเนียม (Se)

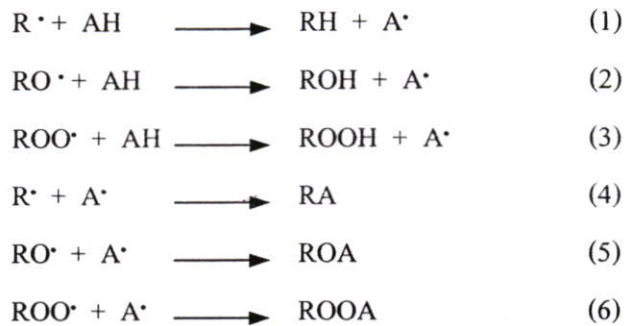
2.8.3 การป้องกันหรือควบคุมอนุมูลอิสระ

การป้องกันหรือควบคุมอนุมูลอิสระสามารถทำได้โดยการใช้สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระเหล่านี้ ไม่ให้ทำลายองค์ประกอบของเซลล์ โดยปกติร่างกายจะมีระบบควบคุมป้องกันอนุมูลอิสระที่เรียกว่า antioxidant defense system แบ่งออกเป็นกลุ่มของเอนไซม์ ได้แก่ catalase, superoxide dimutase และ glutathione peroxidase เป็นต้น กลุ่มของสารและโปรตีนบางชนิด ได้แก่ glutathione, urate, bilirubin, ubiquinol, albumin เป็นต้น และกลุ่มสารอาหารบางชนิด ที่สำคัญได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี และสารแคโรทีนอยด์ เป็นต้น (วัลยา และ พัชร, 2542) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอนุมูลอิสระและการทำงานของระบบแอนติออกซิเดนท์ในร่างกายจะแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอนุมูลอิสระและระบบเอนไซม์ออกซิแดนซ์ในร่างกาย
ที่มา : Ward และ Peter (1995) อ้างโดย วัลยา และพัชร (2542)

สารต้านอนุมูลอิสระมีกลไกการทำงานดังนี้



จากสมการที่ (1),(2) และ (3) เมื่อ AH คือสารต้านอนุมูลอิสระที่เข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระต่างๆ คือ $R\cdot$, $RO\cdot$ และ $ROO\cdot$ ซึ่งโมเลกุลของสารอนุมูลอิสระจะอยู่ในรูปที่ไม่เสถียรมักจะแย่งอิเล็กตรอนจากสารชีวโมเลกุลต่างๆ ในร่างกายทำให้เกิดการเสียหายและความผิดปกติของเซลล์ตามมา สารต้านอนุมูลอิสระจะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่สารดังกล่าวทำให้อนุมูลอิสระเหล่านี้อยู่ในรูปที่เสถียรและสารต้านอนุมูลอิสระจะกลายเป็นอนุมูลอิสระหลังจากที่เสียอิเล็กตรอนไปแต่มีฤทธิ์อ่อนๆ เกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุมูลอิสระมากและเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่คงตัวดังสมการที่ (4) ,(5) และ (6) (พิชญ์อร, 2547)

สารต้านออกซิเดชันในปัจจุบันแบ่งได้ 4 กลุ่ม (พิชญ์ออร์, 2547) คือ

1. สารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิ (primary antioxidants)

สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้จะเป็นสารที่สังเคราะห์ขึ้น เช่น BHA BHT เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอม หรือให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระแล้วเกิดเป็นสารที่มีความเสถียร สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนของเบนซีนที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเกาะอยู่ โดยหมู่ไฮดรอกซิลจะทำหน้าที่สำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ

2. สารต้านออกซิเดชันทุติยภูมิ (secondary antioxidants)

สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้เป็นสารประเภทเอสเทอร์ คือ เป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์กับแอลกอฮอล์และกรด แล้วเกิดเป็นของแข็งที่ละลายได้ในน้ำมัน เช่น วิตามินซี แครโรทีนอยด์ สารในกลุ่มนี้ไม่ได้ทำหน้าที่ด้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรงแต่จะทำหน้าที่สลายเปอร์ออกไซด์ของไขมันที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ได้สารที่มีความเสถียร

3. สารเสริมฤทธิ์สารต้านออกซิเดชัน (synergistic antioxidants)

สารในกลุ่มนี้ไม่ได้ทำหน้าที่ด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรงแต่จะช่วยเสริมการทำงานของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันปฐมภูมิ สารในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ 2 แบบ คือ 1. ทำลายออกซิเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2. จับกับอนุมูลอิสระ ตัวอย่างเช่น กรดซิตริก ฟอสเฟต และกรดทาทาริก สารเหล่านี้ยังมีสมบัติเป็นสารส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ด้วย โดยสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะหนักแล้วส่งผลให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

4. สารต้านออกซิเดชันเบ็ดเตล็ด (miscellaneous antioxidants)

สารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ ทำหน้าที่เช่นเดียวกับสารต้านออกซิเดชันปฐมภูมิและสารเสริมฤทธิ์สารต้านปฏิกิริยา ตัวอย่างของสารในกลุ่มนี้เช่น สารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ กรดอะมิโน สารสกัดจากสมุนไพร เครื่องเทศ วิตามินอี และวิตามินเอ เป็นต้น

2.8.4 สารประกอบโพลีฟีนอล

สารประกอบฟีนอล หรือ ฟีนอลิก (phenolic compound) เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด โดยทั่วไปมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) มากกว่าหรือเท่ากับ 1 หมู่เกาะกับวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) โดยที่สารประกอบฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า 1 หมู่ จะนิยมเรียกว่า สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) ดังนั้นรูปแบบของสารประกอบฟีนอลในพืชแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันไป ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก (phenolic acid) ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ เช่น เทนิน สารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่เป็นสารที่ละลายน้ำ โดยทั่วไปพบรวมอยู่กับน้ำตาลในรูปไกลโคไซด์ภายในเซลล์พืชในส่วนของแวคิวโอล (vacuole) แต่สารประกอบฟีนอลบางชนิดอาจมีสมบัติไม่ละลายในน้ำ รวมทั้งบางชนิดที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่

เมทอกซิล (methoxy group) จากเมธานอล ที่พบในไซโทพลาสซึม (cytoplasm) หรือส่วนอื่นๆของ เซลล์พืช เช่น ในสารเคลือบผิว (waxes) นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบฟีนอลหรือสารประกอบฟีนอลกับสารประกอบอื่นๆ (วิวัฒน์, 2545)

สารประกอบฟีนอลพบได้ในอาหารและเครื่องดื่มที่ได้จากพืช เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืชต่างๆ แต่จะพบในปริมาณที่แตกต่างกันออกไปในพืชแต่ละชนิด หรือแม้แต่ในพืชชนิดเดียวกันแต่มาจากสถานที่ผลิตที่แตกต่างกัน เนื่องจากการสร้างสารประกอบฟีนอลิกของพืชจะมีปัจจัยทางด้านพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีการเพาะปลูก ระดับความสูง กระบวนการแปรรูป รวมทั้งวิธีการเก็บรักษา ล้วนมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งสิ้น

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

สารประกอบโพลีฟีนอลที่ได้จากการสกัดจากส่วนต่างๆของพืชจะมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้จะต้องมีคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ (พิชญ์อร, 2547)

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

2.8.5 ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน

ความคงตัวของสารประกอบฟีนอลในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลสารประกอบฟีนอล ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อุณหภูมิ แสง เอนไซม์และการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ

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

อุณหภูมิสูงในระหว่างการแปรรูปจะมีผลทำให้สารประกอบฟีนอลโมเลกุลระเหยกลายเป็นไอได้ เช่น ฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีโครงสร้างแบบ C6-C3-C6 โดยลักษณะเป็นวงแหวน 3 วงต่อกันจะเกิดการแตกของวงแหวน C และสลายตัวต่อไป โดยวงแหวน B จะเปลี่ยนเป็นกรดคาร์บอกซิลิก และวงแหวน A จะเปลี่ยนเป็นคาร์บอกซีอัลดีไฮด์ตามลำดับและระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ (วิวัฒน์, 2545)

2.8.6 สมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระจากขิง

ขิง เป็นพืชสมุนไพรที่คนไทยที่นิยมนำมาปรุงอาหารในครัวเรือนเป็นหลัก เช่น เป็นส่วนประกอบของเครื่องแกง เป็นเครื่องคั่ว เป็นคั้น สารประกอบหลักๆที่เป็นสารต้านออกซิเดชันอยู่สูง โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก ในการสกัดจากวัตถุดิบน้ำหนักแห้ง 100 กรัม พบว่าขิงจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกประมาณ 60.07 มิลลิกรัม (นวลศรี และ อัญชญา, 2545) และจากการวิจัยของ Kikuzaki และ Nakatami (1993) ได้ทำการศึกษาดังสารประกอบที่มีอยู่ในขิงที่มีผลต่อการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าสารสำคัญในขิงที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ 6-gingerol, [6]-shogaol, [6]-gingerdiol ซึ่งประสิทธิภาพของสารจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสาร โดยเฉพาะตำแหน่งและจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลถ้ามีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลมากจะแสดงสมบัติต้านออกซิเดชันที่แข็งแรง ซึ่งในการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของขิงที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันมีอยู่อย่างแพร่หลายทั้งรายงานวิจัยที่ทำในหลอดทดลอง(in vitro) และผลิตภัณฑ์อาหาร ส่วนมากจะมีรายงานการวิจัยในผลิตภัณฑ์ประเภท เนื้อสัตว์ เครื่องดื่ม และน้ำมันพืช

Shobana และ Naidu (2000) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของเครื่องเทศ ในประเทศอินเดีย 7 ชนิด ได้แก่ กานพลู อบเชย พริกไทย ขิง กระเทียม มินท์และหัวหอม พบว่าค่าความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant activity) ของสารสกัดกานพลูจะมีค่าสูงสุด ส่วนสารสกัดจากขิงจะอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเทศที่ทำการศึกษาทั้งหมด และยังพบว่าสารสกัดจากเครื่องเทศเหล่านี้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิด ลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ได้และมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อใช้สารสกัดที่ผ่านการสกัดโดยใช้ความร้อนร่วมด้วย นอกจากนี้ Mansour และ Khalil (2000) ได้ทดลองโดยนำขิงมาปั่นละเอียดและสกัดไขมันออก จากนั้นสกัดต่อด้วยแอลกอฮอล์ นำสารสกัดที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้วจึงนำไปใส่ในเนื้อมันที่ระดับ 500 และ 1000 ppm. พบว่าช่วยลด TBARS values และ rancid scores ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 12 วัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสำหรับเนื้อสัตว์ปรุงสุกที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นได้รวดเร็วก็สามารถใช้ขิงในการยับยั้งปฏิกิริยาได้เช่นกัน แต่ต้องใช้ในปริมาณที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ สุนทรีย์ และคณะ(2548)พบว่าการนำขิงสดบดมาเติมในเนื้อหมูปิ้งสุกที่ระดับความเข้มข้น 4%

สามารถที่จะลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในเนื้อหมูปรุงสุกได้เนื่องจาก TBARS values ของตัวอย่างมีค่าต่ำมากและไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนรายงานวิจัยในผลิตภัณฑ์น้ำมัน Rehman และคณะ (2003) ได้ทดลองเติมสารสกัดจากจิงในน้ำมันเมล็ดทานตะวันพบว่าสามารถลดค่า ปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่า PV (peroxide value) ของน้ำมันพืชเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 25 และ 45 องศาเซลเซียสได้ นอกจากนี้พบว่าสารสกัดจากจิงสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 185 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดเด่นที่พบในสารสกัดจากจิงเนื่องจากสารสกัดจากธรรมชาติส่วนใหญ่จะพบว่าประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านออกซิเดชันจะลดลงเมื่อได้รับความร้อนสูง (Hamama and Nawar, 1991)

2.9 สมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

พืชเครื่องเทศและพืชสมุนไพร นอกจากมีสารประกอบต่างๆที่มีสมบัติการต้านออกซิเดชันแล้ว ยังพบว่าสารประกอบที่มีอยู่ในพืชเครื่องเทศและพืชสมุนไพรยังมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านการเจริญเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีในระดับหนึ่ง ในการใช้เครื่องเทศเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์จะได้ผลดีที่สุดเมื่อใช้ในรูปของน้ำมันหอมระเหย ซึ่งสารมีฤทธิ์ในการทำลายและยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยมีกลไกการทำงานยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ดังนี้ (มาลิน, 2545; Brul and Coote, 1999)

1) ยับยั้งการสร้างผนังเซลล์

ทั้งเชื้อแบคทีเรียและราต่างมีผนังเซลล์ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของเซลล์ เป็นชั้นที่แข็งแรงคงทนเพื่อทำหน้าที่ป้องกันสิ่งที่อยู่ภายในเซลล์ ผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียเป็นโครงสร้างสำคัญที่ใช้ในการจำแนกชนิดของแบคทีเรียตามลักษณะการย้อมติดสีแกรม (gram - stain) และการติดสีแบบ acid fast การย้อมแบคทีเรียด้วยวิธีแบบแรก ทำให้สามารถแบ่งแบคทีเรียได้สองแบบ คือ แกรมบวกและแกรมลบ แบคทีเรียทั้งสองแบบมีโครงสร้างพื้นฐานของผนังเซลล์เป็น peptidoglycan (อาจเรียกเป็น glycopeptide , mucopeptide หรือ murein) แบคทีเรียแกรมบวกมีส่วนนี้หนาแน่นกว่าพวกแกรมลบ แต่แกรมลบจะมีส่วนของ lipopolysaccharide หุ้มรอบอีกชั้นหนึ่ง ยาด้านเชื้อแบคทีเรียชนิดที่มีกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ยับยั้งการสังเคราะห์ peptidoglycan ยาด้านจุลชีพที่ผลยับยั้งการสร้างผนังเซลล์จึงเป็นพวกที่มีฤทธิ์เลือกสรรมาก เนื่องด้วยผนังเซลล์เป็นโครงสร้างสำคัญของเซลล์จุลินทรีย์ หากถูกทำลายหรือสร้างขึ้นไม่สมบูรณ์สิ่งมีชีวิตพวกนี้ก็จะตายได้ สารต้านจุลชีพที่มีกลไกการออกฤทธิ์ดังกล่าวจึงมักเป็นพวก microbicidal

2) รบกวนหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane)

เยื่อหุ้มเซลล์เป็นส่วนที่ถัดจากผนังเซลล์เข้ามา ส่วนประกอบเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียและรากล้ายคลึงกัน ซึ่งก็คล้ายกับเยื่อหุ้มเซลล์ของสัตว์ ก็เป็น lipoprotein หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์โดยทั่วไปคือเป็น osmotic barrier ที่ช่วยป้องกันไม่ให้สารต่างๆเข้าหรือออกจากเซลล์ง่ายเกินไป

อีกทั้งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งเพื่อเลือกการนำส่งสารเข้าหรือออกจากเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียยังมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับ electron transport และ oxidative phosphorylation เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน โดยมีเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องอยู่ในส่วน oxysome สารต้านจุลชีพที่สามารถรบกวนกระบวนการ oxidative phosphorylation ทำให้พลังงานในตัวของเซลล์ของแบคทีเรียถูกปล่อยออกมาน้อยลง นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังทำลาย osmotic barrier ทำให้มีผลกระทบต่อการทำงานของภายในเซลล์ และทำให้เซลล์ตายได้

กรณีน้ำมันหอมระเหยจะรบกวนหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยไปละลายชั้นไขมัน (phospholipid bilayer) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ในการควบคุมการซึมผ่านของสาร (osmotic barrier) ลดลง เป็นสาเหตุทำให้น้ำซึมผ่านเข้าเซลล์เพิ่มขึ้นและทำให้ผนังเซลล์เกิดการฉีกขาดทำให้สูญเสียสารประกอบภายในเซลล์ เซลล์จึงตายในที่สุด

3) ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) เนื่องจากโปรตีนจะเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denature) ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

4) มีผลต่อระบบพันธุกรรม (genetic mechanism) ของเชื้อ ทำลายหรือทำให้เกิดการแบ่งเซลล์ได้ช้าลง

2.9.1 การทดสอบประสิทธิภาพของสารต้านจุลินทรีย์

การทดสอบความไวของเชื้อจุลินทรีย์ต่อสารต้านการเจริญมีหลากหลายวิธีด้วยกัน อาจจะทำทดสอบในหลอดทดลองหรือการนำไปทดสอบในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งวิธีการทดสอบในวิธีแรกนั้นอาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วิธีคัดกรอง (screening method) เป็นการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารทดสอบในขั้นต้น และสามารถแบ่งย่อยได้ 2 แบบคือ Endpoint Screening Method และ Descriptive Screening Method (Tongson, 2005)

Endpoint Screening Method

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของสารเบื้องต้นก่อนที่จะนำสารต้านจุลินทรีย์ที่ผ่านการทดสอบใช้จริงในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป โดยทั่วไปแบ่งการทดสอบความไวของเชื้อจุลินทรีย์ต่อสารด้วยวิธีนี้ได้ 3 รูปแบบคือ

1. gradient plate
2. Agar and broth dilution susceptibility test
3. agar diffusion test

1) gradient plate

เป็นวิธีการทดสอบที่คล้ายคลึงกับวิธี agar dilution ซึ่งจะทำการทดสอบโดยห่อมอาหาร แล้วเทบนจานเพาะเชื้อโดยยกให้ด้านใดด้านหนึ่งของจานสูงกว่าอีกด้าน ทิ้งไว้ให้อาหารแข็ง จากนั้นจึงเททับด้วยสารทดสอบที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆ แล้วจึงเพาะเชื้อลงในอาหารดังกล่าวด้วยเทคนิค spread plate หรือ streak technique ซึ่งในงานเพาะเชื้ออาจจะลงเชื้อได้หลายตัว ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถทดสอบจุลินทรีย์ได้หลายสายพันธุ์ในการทดสอบแต่ละครั้ง

2) Agar and broth dilution susceptibility test

ทั้ง agar และ broth dilution susceptibility test มีหลักการทดสอบที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ สารที่ต้องการทดสอบจะถูกเจือจางในอาหารเลี้ยงเชื้อให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้น จึงใส่เชื้อลงใน/บนอาหารที่มีความเข้มข้นระดับต่างๆ เหล่านี้ ภายหลังการบ่มจะสังเกตความขุ่นหรือไม่ขุ่น และมีหรือไม่มีเชื้อเจริญบน agar แล้วหา MIC

วิธี agar dilution test สารที่ต้องการทดสอบจะถูกเจือจางลงเป็นลำดับส่วนในอาหารที่ห่อมและเทลงบนจานเพาะเชื้อ จากนั้นจึงเพาะเชื้อบนอาหารที่เทไว้ซึ่งอาจจะลงเชื้อเพียงสายพันธุ์เดียวหรืออาจจะใช้หลายสายพันธุ์ก็ได้ ทำโดยใช้ห่วงเขี่ยเชื้อ (loop) ในการถ่ายเชื้อและให้มีเชื้อประมาณ 1×10^4 โคโลนี/จุด จากนั้นนำเชื้อไปบ่ม เป็นเวลา 24 หรือ 48 ชั่วโมง ประเมินผล ถ้าเชื้อเจริญเพียงโคโลนีเดียว หรือไม่เจริญแสดงว่าสารนั้นมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ ข้อดี คือ สามารถทดสอบเชื้อได้หลายสายพันธุ์ในการทดสอบเพียงครั้งเดียว แต่มีข้อเสียคือเกิดการปนเปื้อน (contamination) ได้ง่าย

วิธี broth dilution test สารที่ทดสอบจะเตรียมความเข้มข้นของสารโดยเจือจางลงเป็นลำดับส่วนด้วยอาหารเหลวในหลอดทดลอง จากนั้นจึงเพาะเชื้อลงในหลอดทดลองดังกล่าวโดยให้มีปริมาณเชื้อเริ่มต้น 5×10^7 โคโลนี/หลอด นำไปบ่ม 24 ชั่วโมง สังเกตความขุ่นถ้าตัวอย่างหลอดใดไม่ขุ่นแสดงว่าเชื้ออาจจะไม่เจริญ ซึ่งเป็นการแสดงถึงประสิทธิภาพของสารทดสอบในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ซึ่งวิธี agar และ broth dilution test เป็นวิธีทดสอบการเหลือรอดของเชื้อเมื่อได้รับสารต้านจุลินทรีย์ที่มีการกำหนดเวลาสิ้นสุด (endpoint in time) การทดสอบนี้อาจจะเรียกว่า minimum inhibitory concentration (MIC) เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่เจริญ ซึ่งการให้ค่าจำกัดความของ MIC ก็จะแตกต่างกันออกไป แล้วแต่นักวิจัยแต่ละท่านจะให้ค่าจำกัดความไว้

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีนี้สามารถทำให้ให้ทราบถึงการออกฤทธิ์ของสารทดสอบที่มีต่อเชื้อแบคทีเรียได้ว่าสารนั้นมีฤทธิ์แบบยับยั้ง (Bacteriostatic) หรือออกฤทธิ์แบบทำลาย (Bactericidal)

การหาความเข้มข้นของสารต่ำสุดที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อ (minimal inhibitory concentration, MIC) โดย Broth dilution technique

เป็นวิธีที่อาศัยหลักการติดตามการเจริญของจุลินทรีย์ปริมาณคงที่ ในสารด้านจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ โดยทำ 2 – fold dilution ตามลำดับ มี มีหลอดควบคุม (control) เป็น media ที่ไม่มีสารด้านจุลินทรีย์ แล้วนำเชื้อที่ทดสอบในปริมาณที่เหมาะสม ใส่ลงสารละลายที่เตรียมไว้ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ในปริมาณที่เท่ากัน ไปบ่มที่อุณหภูมิในเวลาที่กำหนด นำมาสังเกตความขุ่น ความขุ่นที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่า เชื้อจุลินทรีย์ไม่ถูกยับยั้งการเจริญโดยยาหรือสารละลายที่คาดว่ามีฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นนั้นๆ จุดตัดสิน (break point) คือ ระหว่างที่ความเข้มข้นของสารที่แสดงผลเป็นสารละลายใสกับความเข้มข้นของสารที่แสดงผลเป็นสารละลายขุ่น จุดนี้เรียกว่า minimal inhibition concentration (MIC) ซึ่งค่าความเข้มข้นต่ำสุดของยาเป็น ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในหลอดทดลอง (in vitro) ได้ ความเข้มข้นของสารที่แสดงผลเป็นสารละลายใสตัวสุดท้ายตามลำดับก่อนที่จะถึงความเข้มข้นของสารที่แสดงผลเป็นค่า MIC ขึ้นไปนำมาแตะบนอาหารวุ้น ภายหลังการบ่มเพาะ สังเกตว่ามีหรือไม่มีเชื้อเจริญขึ้นมา และดูว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ไม่เจริญหรือเกือบไม่เจริญ (99.9% ถูกฆ่า) ค่าที่ได้ถือว่าเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ฆ่าเชื้อ (ถ้าเป็นแบคทีเรีย เรียกว่า minimal bactericidal concentration , MBC และถ้าเป็นเชื้อราจะเรียกว่า minimal fungicidal concentration ,MFC) นำค่าที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับค่า MIC ถ้าค่าทั้งสองเท่ากันหรือไม่เกินสองความเข้มข้น แสดงว่าสารสกัดนั้นมีศักยภาพฆ่าเชื้อ แต่ถ้าสารสกัดมีศักยภาพหลายความเข้มข้นแสดงว่าสารสกัดนั้นมีศักยภาพเฉพาะการยับยั้งการเจริญของเชื้อ

3) Agar diffusion method

อาศัยหลักการแพร่ซึม(diffusion) โดยสารละลายที่ต้องการทดสอบจะแพร่จากจุดเริ่มต้นออกไป ในอาหารที่ได้ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ความเข้มข้นของสารด้านจุลินทรีย์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทาง ดังนั้นในความเข้มข้นหนึ่งจะพบว่าเชื้อจุลินทรีย์สามารถถูกยับยั้งการเจริญเติบโตได้จะปรากฏโซนใส (inhibition zone) หลังจากรบครบเวลาที่กำหนด ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณใส่นี้ใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตร บอกถึงความสามารถของสารด้านจุลินทรีย์ว่าสามารถยับยั้งเชื้อได้มากน้อยเพียงใด แต่ถ้าไม่เกิดโซนใสหรือโซนใสมีขนาดเล็กกว่ากำหนดจะถือว่าเชื้อคือยา(resistance) คือ สารนั้นมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์น้อย หรือไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งนั่นเอง และขนาดของโซนใสจะขึ้นกับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (physico – chemical properties) ของสารแต่ละตัวซึ่งมีผลให้อัตราการซึมผ่านต่างกัน

วิธีนี้ทำได้หลายรูปแบบขึ้นกับชนิดของสิ่งที่รองรับ (reservoir) และมักเรียกชื่อวิธีการตามสิ่งที่รองรับที่ใช้ เช่น สิ่งรองรับที่เป็นหลุมซึ่งได้จากการเจาะหลุมในอาหารวุ้น แล้วเติมสารละลายลงไปจะเรียกว่าวิธี agar- well diffusion method ถ้าสิ่งรองรับเป็นกระดาษชั้บกลมซึ่งใส่สารละลายก่อนวางบนอาหารวุ้น จะเรียกว่า agar- disc diffusion method สิ่งรองรับเป็นถ้วยโลหะไม่เป็นสนิม

ทรงกระบอกจะเรียกว่า วิธี cup diffusion method โดยทั่วการใช้สิ่งรองรับที่เป็นกระดาษซับกลม จะเป็นนิยมนมากกว่าอย่างอื่น แต่ในการตรวจสอบฤทธิ์ด้านจุลชีพของสารสกัดใช้สิ่งรองรับที่เป็นหลุมเจาะจะให้ผลที่เด่นชัดกว่า

Descriptive Screening Method

ในขณะที่การทดสอบวิธี endpoint method จะเป็นการประเมินสมบัติการด้านจุลินทรีย์ของสารทดสอบที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกลไกการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารได้ไม่มากนัก ซึ่งวิธีการทดสอบแบบ Descriptive Screening Method จะสามารถที่จะอธิบายถึงกลไกการทำงานของสารด้านการเจริญของจุลินทรีย์ได้ชัดเจนกว่า โดยทั่วไปในการผลิตอาหารส่วนมาก ผู้ผลิตจะต้องการทราบถึงปริมาณต่ำสุดของสารด้านจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุทำให้อาหารเน่าเสียหรือกลุ่มที่ก่อโรคที่อาจปนเปื้อนในอาหาร และมีสมบัติสามารถยั้งช่วง lag phase ของจุลินทรีย์ได้ ด้วยสาเหตุนี้จึงจำเป็นต้องหาค่า MIC และจำเป็นอย่างมากที่ต้องทราบ growth over time ของจุลินทรีย์ ซึ่งวิธีการทดสอบมีอยู่หลายวิธีด้วยกันแต่ที่นิยมใช้สามารถ แบ่งได้ 2 รูปแบบคือ

1) Turbidimetric Assay

เป็นวิธีการทดสอบที่ค่อนข้างง่าย และประหยัด หลักการ คือ เป็นการติดตามการเจริญของจุลินทรีย์จากความขุ่นที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการวัด ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ การวัดความขุ่นด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะวัดความขุ่นของจุลินทรีย์ได้เมื่อมีปริมาณเชื้ออยู่ในช่วง $10^6 - 10^7$ โคโลนี/มิลลิลิตร ซึ่งถ้าเชื้อมีปริมาณน้อยทำให้ไม่สามารถมองเห็นความขุ่นที่เกิดขึ้นด้วยสายตาเนื่องจากเชื้อมีปริมาณต่ำกว่า 10^5 โคโลนี/มิลลิลิตร เครื่องจะไม่สามารถวัดค่าได้ (ค่าการดูดกลืนแสงจะไม่เพิ่มขึ้น) ทำให้การแปลผลอาจจะผิดพลาดได้

2) Inhibition or Killing curve

เป็นวิธีการทดสอบสารด้านจุลินทรีย์ในอาหารที่มีการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ และติดตามการเจริญของเชื้อ โดยการนับเซลล์ที่เหลือรอดเป็นช่วงเวลา ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำมากกว่าวิธีอื่นๆ และเมื่อนำข้อมูลมาสร้างเป็นกราฟทำให้การแปลผลง่ายขึ้น

2.9.2 การเลือกรูปแบบวิธีทดสอบ

การเลือกวิธีทดสอบรูปแบบใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างที่สำคัญคือ

1) ลักษณะของงาน เช่น เป็นงานวิจัย งานตรวจสอบในห้องปฏิบัติการที่ทำเป็นประจำหรือนานๆทำครั้งและแต่ละครั้งมีจำนวนเชื้อทดสอบน้อยจะนิยมใช้วิธี agar diffusion test (เพื่อตัดปัญหาต้องเตรียมและเก็บสารละลายของตัวอย่างที่ต้องใช้ใน dilution test) ในขณะงานที่ต้องการรู้ค่า MBC ของตัวอย่างจะนิยมใช้ broth dilution test

- 2) ชนิดของเชื้อทดสอบ เช่น เชื้อที่เจริญช้าหรือเลือกเฟ้นการใช้อาหารมาก (fastidious organism) จะนิยมใช้ broth dilution test ขณะที่เชื้อซึ่งต้องเจริญบนเลือดหรือไม่ต้องการออกซิเจน (anaerobe) มัก ใช้ agar dilution test หรือเชื้อที่มีอัตราการเจริญไม่คงที่ควรเลือก dilution test
- 3) จำนวนเชื้อทดสอบ เช่น จำนวนเชื้อมากและต้องการหาค่า MIC จะนิยมทำ agar dilution test
- 4) ชนิดของยาทดสอบ เช่น ด้วยที่แพร่กระจาย (diffuse) ในอาหารชนิดแข็งไม่เคี้ยว จะนิยมใช้ dilution test
- 5) จำนวนยาทดสอบ เช่น มีด้วยจำนวนมากแต่มีจำนวนเชื่อน้อย จะนิยมใช้วิธี agar diffusion test

2.9.3 สมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากขิง

รายงานการวิจัยเกี่ยวกับสารต้านจุลินทรีย์ในขิงจะพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขิงทั้งในรูปแบบน้ำมันหอมระเหย (essential oil) น้ำมันชั้น (oleoresin) และขิงบดละเอียด (ground ginger) มีสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ รวมถึงยีสต์และเชื้อรา (Matins *et al.*, 2001) โดยเฉพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบลำไส้ใหญ่ที่เป็นตัวการทำให้เกิดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ (Ganguly *et al.*, 2003) และการที่น้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากขิงมีสมบัติต้านการเจริญของจุลินทรีย์ (antimicrobial) เนื่องจากขิงมีสารประกอบฟีนอลโดยเฉพาะ gingerone และ gingerol ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีฤทธิ์ค่อนข้างสูงในการยับยั้งเชื้อก่อโรค อหิวาตกโรค (cholera) และเชื้อไทฟอยด์ (typhoid)

Matins และคณะ (2001) ศึกษาถึงประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยขิง ซึ่งใช้วิธี agar diffusion พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากขิง 15 ไมโครลิตร / disc มีผลในการยับยั้งเชื้อ *E. coli*, *Staph. aureus*, *C. albicus* และ *A. niger* โดยมีขอบเขตการยับยั้ง (inhibition zone) คือ 15, 18, 33 และ 16.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยของอัญญา (2546) ซึ่งได้ศึกษาผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยจากขิงต่อการลดเชื้อ *E. coli* และ *Staph. aureus* พบว่าการใช้น้ำมันหอมระเหยจากขิงที่ระดับ 0.3, 0.5 และ 0.7 % สามารถที่จะยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli* ได้ แต่ไม่สามารถทำลายเชื้อได้ และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยทั้งสามระดับนี้สามารถทำลายเชื้อ *Staph. aureus* ลงได้ที่เวลา 6 ชั่วโมง

ในกรณีที่เป็นสารสกัดประสิทธิภาพของสารสกัดจากขิงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกัน เช่น วิธีการสกัด ตัวทำละลายที่ใช้ รวมทั้งระดับความเข้มข้นของสารสกัดทดสอบ จากการทดลองของ Chandarana และคณะ (2005) เปรียบเทียบวิธีการสกัดสารจากขิงผงโดยใช้น้ำกลั่นธรรมดาและการใช้ความร้อนร่วมด้วย เมื่อนำมาทดสอบความไวของสารสกัดด้วยวิธี agar diffusion ต่อเชื้อ *E. coli* และ *Staph. aureus* พบว่าสารสกัดจากขิงที่ใช้ความร้อนร่วมในการสกัดจะแสดงผล

การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดและเกิดโซนใสมากกว่าสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำกลั่นอย่างเดียว นอกจากนี้มีรายงานการวิจัยของ Ekwenye และ Elegalam (2005) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสมบัติการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์และน้ำ โดยวิธี agar disc diffusion และใช้ความเข้มข้นของสารสกัดทดสอบ 1,000 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร พบว่าสารสกัดจากขิงที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์สามารถยับยั้งเชื้อ *E.coli* และ *Salmonella typhi* ได้ดี โดยมีขนาดความกว้างของโซนใส 9.00 มิลลิเมตรและ 10.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนสารสกัดด้วยน้ำพบว่าไม่แสดงผลในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* แต่สามารถยับยั้งได้เฉพาะเชื้อ *salmonella typhi* เมื่อหาค่า Minimum Inhibitory Concentration (MIC) ของสารสกัดด้วยแอลกอฮอล์ที่มีต่อเชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด มีค่าเท่ากับ 75 มิลลิกรัม /มิลลิลิตร แต่สารสกัดด้วยน้ำไม่สามารถหาค่า MIC ได้

นอกจากสารสกัดและน้ำมันหอมระเหยจากขิงสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆได้แล้วยังพบว่าในน้ำขิงสดยังสามารถยับยั้งเชื้อ *A.niger*, *S.cerevisiae*, *Mycoderma spp.* และ *L. acidophilus* ได้ด้วย(Ganguly et al.,2003) รวมทั้งขิงสดบดก็สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ได้เช่นเดียวกันจากรายงานของ Leuschner และ Zamparini(2002) พบว่าขิงสดบดที่ระดับความเข้มข้น 1% เมื่อนำมาทดลองในอาหารเหลวสามารถที่ยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้ที่เวลา 7 ชั่วโมง

จากรายงานของ Akoachere และคณะ (2002) ที่ได้ศึกษาผลการยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อโรคที่พบในระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ เชื้อ *Staph. aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus pneumoniae* และ *Haemophilus* โดยใช้สารสกัดจากขิงโดยใช้ตัวทำละลายแอลกอฮอล์พบว่าค่า Minimum Inhibitory Concentration (MIC) อยู่ในช่วง 0.0003 – 0.7 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และค่า Minimum Bactericidal Concentration (MBC) อยู่ในช่วง 0.1- 2.04 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

นอกจากนี้ยังพบว่ามียารายงานการวิจัยหลายฉบับ ที่รายงานว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดและน้ำมันหอมระเหยจากขิงไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์หรือถ้ามีฤทธิ์ในการยับยั้งก็น้อยมากดังเช่นรายงานการวิจัยของ Takikawa และคณะ (2002) ได้ทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ของสารสกัดจากขิงที่ระดับความเข้มข้น 0.01- 0.1% โดยวิธี broth dilution พบว่าสารสกัดจากขิงทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* แต่อย่างใด

นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Onyeagba และคณะ (2004) ได้ศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *Bacillus spp.*, *Staph. aureus* , *E.coli* และ *Salmonella spp.*ของสารสกัดจากกระเทียม ขิง และส้มที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำกลั่นและแอลกอฮอล์ พบว่าสารสกัดจากกระเทียมและขิงไม่แสดงผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 4 ชนิด ต้องใช้สารสกัดของพืชตั้งแต่ 2 ชนิดร่วมกัน จึงจะแสดงผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้

นอกจากมีการศึกษาสมบัติสารต้านจุลินทรีย์ของขิงในหลอดทดลอง (in vitro) แล้วยังมีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการวิจัยสมบัติต้านจุลินทรีย์ของขิงในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม น้ำมันพืช เป็นต้น

ลินจง และคณะ (2545) ได้ศึกษาถึงผลการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียในน้ำส้มซึ่งประสิทธิภาพของสารสกัดจากขิงในการควบคุมแบคทีเรียและยีสต์ จะแสดงผลตั้งแต่ 10% ขึ้นไปโดยประสิทธิภาพของสารสกัดจากขิงจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากสารสกัดจากขิงที่ 25% มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของยีสต์และแบคทีเรียได้มากกว่า 50% และประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงนั้น พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์ได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ แบคทีเรียที่สร้างสปอร์และยีสต์ ตามลำดับ และในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ Ibrahim และคณะ (2003) ได้ศึกษาสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของสมุนไพรในเนื้อบด แต่พบว่าขิงมีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli* O157:H7 น้อยมาก

2.10 เชื้อจุลินทรีย์ที่บ่งชี้สุขลักษณะในอาหาร

2.10.1 เชื้อ *Escherichia coli*

เชื้อ *E. coli* เป็นแบคทีเรียที่พบได้ทั้งในดิน น้ำ พืชผัก และอาศัยอยู่ในลำไส้ของคนและสัตว์เลื้อยคืบ โดยไม่ก่ออันตราย แต่มีบางสายพันธุ์ที่ก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารในคนและสัตว์ ได้แก่สายพันธุ์ EHEC EIEC ETEC และ EPEC ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการปวดท้อง ท้องร่วงอย่างรุนแรง ถ่ายเป็นน้ำหรือเลือดและเกิดการอักเสบของปอด เชื้อ *E. coli* พบได้ในอุจจาระ ปัสสาวะ หรือแม้กระทั่งในสิ่งสกปรกต่างๆ ดังนั้นจึงใช้เป็นจุลินทรีย์บ่งชี้ถึงการจัดการด้านสุขาภิบาลของการผลิตได้

เชื้อ *E. coli* เป็นแบคทีเรียที่อยู่ในตระกูล Enterobacteriaceae เป็นแบคทีเรียแกรมลบ มีลักษณะเป็นแท่ง (รูปที่ 2.5) เคลื่อนที่ได้ เจริญได้ดีทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (facultative anaerobe) ให้ผลลบต่อการทดสอบแคสทาเลส (catalase) โคโลนีสีเทาบน blood agar และมีสีชมพูบน MacConkey agar เชื้อ *E. coli* จัดเป็นจุลินทรีย์จำพวก Mesophilic bacteria สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 7 – 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต คือ 37 องศาเซลเซียส ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญอยู่ระหว่าง 7 – 7.5 และค่า pH ต่ำสุดที่สามารถเจริญได้ เท่ากับ 4.4 ค่า Aw ต่ำสุดที่สามารถเจริญได้คือ 0.93 สายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินอาหาร แบ่งได้ 4 กลุ่ม ตามลักษณะความรุนแรงของเชื้อ (virulence properties) ลักษณะอาการ ของโรคและการจับกันของเชื้อมีวโคซา (mucosa)ของลำไส้ ดังนี้

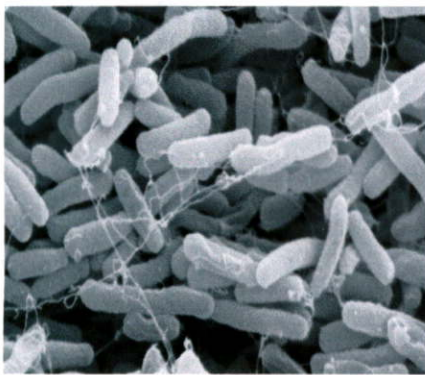
1) Enteropathogen *E. coli* (EPEC) เป็นสายพันธุ์ที่ไม่สร้างเอนเทอโรทอกซิน เจริญเติบโตในลำไส้ส่วนต้น ทำให้เกิดอาการอุจจาระร่วงเป็นน้ำ มีไข้ และหนาวแต่ไม่ค่อยพบอาการอาเจียน

ซึ่งจะมีอาการภายใน 12 – 30 ชั่วโมงภายหลังได้รับเชื้อ ซึ่งในเด็กแรกเกิดมีอาการไข้รุนแรงกว่าปกติจะมีอาการประมาณ 2 สัปดาห์

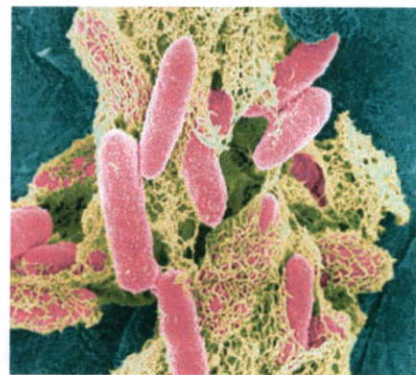
2) Enterotoxigenic *E.coli* (ETEC) เป็นเชื้อที่สามารถสร้างเอนเทอโรทอกซินซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ heat labile toxin (LT) และ heat stable toxin (ST) โดย LT จะทำให้เกิดอาการอย่างช้าๆ และมีอาการนาน ลักษณะอาการของ LT จะคล้ายกับพิษจากเชื้อโรคอหิวาตกโรค และถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ส่วน ST ทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และทนกรด ทำให้เกิดอาการของโรคตั้งแต่ท้องร่วงเพียงเล็กน้อย จนกระทั่งท้องร่วงอย่างรุนแรง ถ่ายเป็นน้ำ แต่ไม่มีเลือดหรือมูก ปวดท้องและอาเจียน หากพบเชื้อชนิดนี้ในเด็กแรกเกิดอาจทำให้เกิดการสูญเสียน้ำอย่างรุนแรงได้

3) Enteroinvasive *E.coli* (EIEC) ทำให้เกิดอาการท้องร่วงมีลักษณะคล้ายโรคบิด ถ่ายเป็นมูกเหลว อาจมีเลือดปน ปวดเบ่ง มีไข้ และอาจพบอาการอาเจียนร่วมด้วย

4) Enterohaemorrhagic *E.coli* (EHEC) หรืออาจเรียกว่า Verotoxin producing *Escherichia coli* (VTEC) ทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วงอย่างรุนแรง ความรุนแรงของเชื้อสายพันธุ์นี้ เนื่องจากสามารถผลิต Shigella – like toxin I และ Shigella – like toxin II ทำให้เกิดการอักเสบของลำไส้ (haemorrhagic colitis) ทำให้จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง เกร็ดเลือดลดลง อาจทำให้กระเพาะปัสสาวะอักเสบหรือไตวายได้ ซีโรไทป์ที่สำคัญในกลุ่มนี้ คือ *E.coli* O157:H7 ซึ่งพบในสัตว์จำพวกวัว ควาย แต่ไม่มีผลทำให้เกิดโรคในสัตว์ สามารถตรวจพบเชื้อนี้ในเนื้อสัตว์ที่ผ่านความร้อนไม่เพียงพอ ในน้ำมันดิบและผักต่างๆ *E.coli* O157:H7 เป็นเชื้อที่สามารถทนกรดได้สูงกว่าเชื้อ *E.coli* สายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งสามารถเจริญได้ที่ pH 2.5 อย่างน้อย 5 ชั่วโมง ทนการทำลายที่อุณหภูมิ 62.8 องศาเซลเซียส และสามารถเจริญในสภาวะที่ขาดน้ำได้



(a)



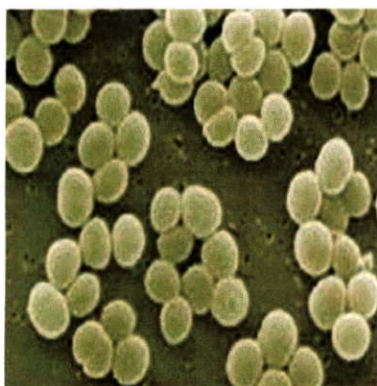
(b)

รูปที่ 2.5 รูปร่างของเชื้อ *E.coli* (a) , การย้อมติดสีแกรมลบของเชื้อ *E.coli* (b)

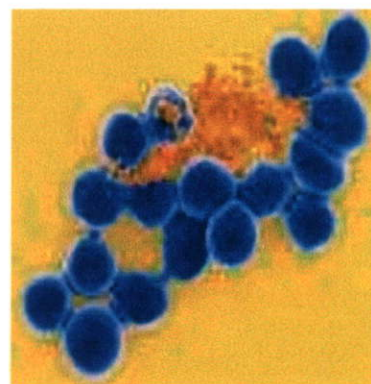
ที่มา : <http://commtechlab.msu.edu/site/dlc> และ www.yosemite.org/naturenote/image/E.coli.ipg

2.10.2 เชื้อ *Staphylococcus aureus*

Staph. aureus เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม Micrococaceae รูปร่างกลม (cocci) เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ไมโครเมตร มีการจัดเรียงตัวเป็นคู่หรือเป็นกลุ่มคล้ายรวงผึ้งหรือพวงองุ่น ติดสีแกรมบวก (gram positive) (รูปที่ 2.6) ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนที่ สามารถเจริญได้ทั้งในที่ที่มีอากาศและไม่มีอากาศ สามารถใช้น้ำตาลสำหรับการเจริญได้หลายชนิด นอกจากนี้ยังสามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีเกลือสูงถึง 10% และสามารถสร้างเอนไซม์ไลเปส โปรติเอส และ เพนนิซิลิน ได้ นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการถูกทำลายด้วยความร้อน และอยู่ในสภาพที่แห้ง หรือ Aw ต่ำได้ดี เป็นเชื้อที่สามารถพบได้ตามผิวหนัง โพรงจมูก ถ้าคอ ผิวหนังของคนและสัตว์ ด้วยเหตุนี้จึงมักทำการตรวจหาเชื้อนี้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งถ้าตรวจพบเชื่อดังกล่าวในผลิตภัณฑ์ จะบ่งชี้ถึงขั้นตอนการผลิตอาหารมีการปนเปื้อนจากการสัมผัสของผู้ประกอบอาหาร ด้วยเหตุนี้จึงมักใช้เชื้อ *Staph. aureus* เป็น ดัชนีบ่งชี้ถึงสุขลักษณะส่วนบุคคลของการผลิตอาหาร เชื่อดังกล่าวเมื่อปนเปื้อนในอาหารแล้ว ถ้าสามารถเจริญในอาหารได้ดี จะมีการสร้างสารที่เรียกว่า เอนเทอโรทอกซิน (enterotoxin) ซึ่งสารดังกล่าวนี้เป็นสารที่ทนความร้อนได้ดี เป็นสาเหตุการเกิดโรคอาหารเป็นพิษกับผู้บริโภคได้



(a)



(b)

รูปที่ 2.6 รูปร่างของเชื้อ *Staph. aureus* (a) , การย้อมติดสีแกรมลบของเชื้อ *Staph. aureus*(b)

ที่มา :www.hpa.org.uk/./images/staph_aureus.jpg และ www.microscopycosulting.com/main.html

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 ชิงสดพันธุ์หอยวักซ็อกจากตลาดสดหัวตะเข้

- ชิงแก่อายุประมาณ 8-10 เดือน
- ชิงอ่อนอายุประมาณ 4-6 เดือน

3.1.2 ผลิตภัณฑ์ชิง

ชิงคอง ตัวอย่างชิงคองจากท้องตลาด

- 1) แม่จินต์ ผลิตโดย บริษัทลำปางฟู้ดโปรดักส์ จำกัด ที่อยู่ 158 หมู่ 4 ถนนท่าล้อ-ห้วยเป้ง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
ส่วนประกอบชิงคอง ได้แก่ ชิง 65%, น้ำตาล 8%, น้ำ 24% และ กรด 3%
- 2) จูทาภรณ์ ผลิตโดย จูทาภรณ์ ที่อยู่ 52 /262 ถนนโนนไฮ - เมืองเก่า ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ
ส่วนประกอบชิงคอง ได้แก่ ชิง 40% เกลือ 4.9%, น้ำตาล 3%, กรด 0.3%, และน้ำ 51%
- 3) สองฝั่ง ผลิตโดย บริษัท สองฝั่ง มาร์เก็ตติ้ง ที่อยู่ 825/518 ถนนประชาอุทิศ เขตราชวัตรบูรณะ กรุงเทพมหานคร
ส่วนประกอบชิงคอง ไม่ระบุรายละเอียด

ชิงผง ตัวอย่างชิงผงจากท้องตลาด

- 1) จินเจน ผลิตโดย บริษัท เฮลิก วาสเซอร์ ฟู้ดโปรดักส์ จำกัด ที่อยู่ 77/168 อาคารสินสาทร ชั้น 38A ถนนกรุงธนบุรี แขวงคลองตันใต้ เขตคลองสาน กรุงเทพมหานคร
- 2) ครามือ ผลิตโดย บริษัท ง่วนสุน ที่อยู่ 83/4 หมู่ 5 ถนนสุขสวัสดิ์ แขวงจอมทอง เขตจอมทอง กรุงเทพมหานคร

3.2 สารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง

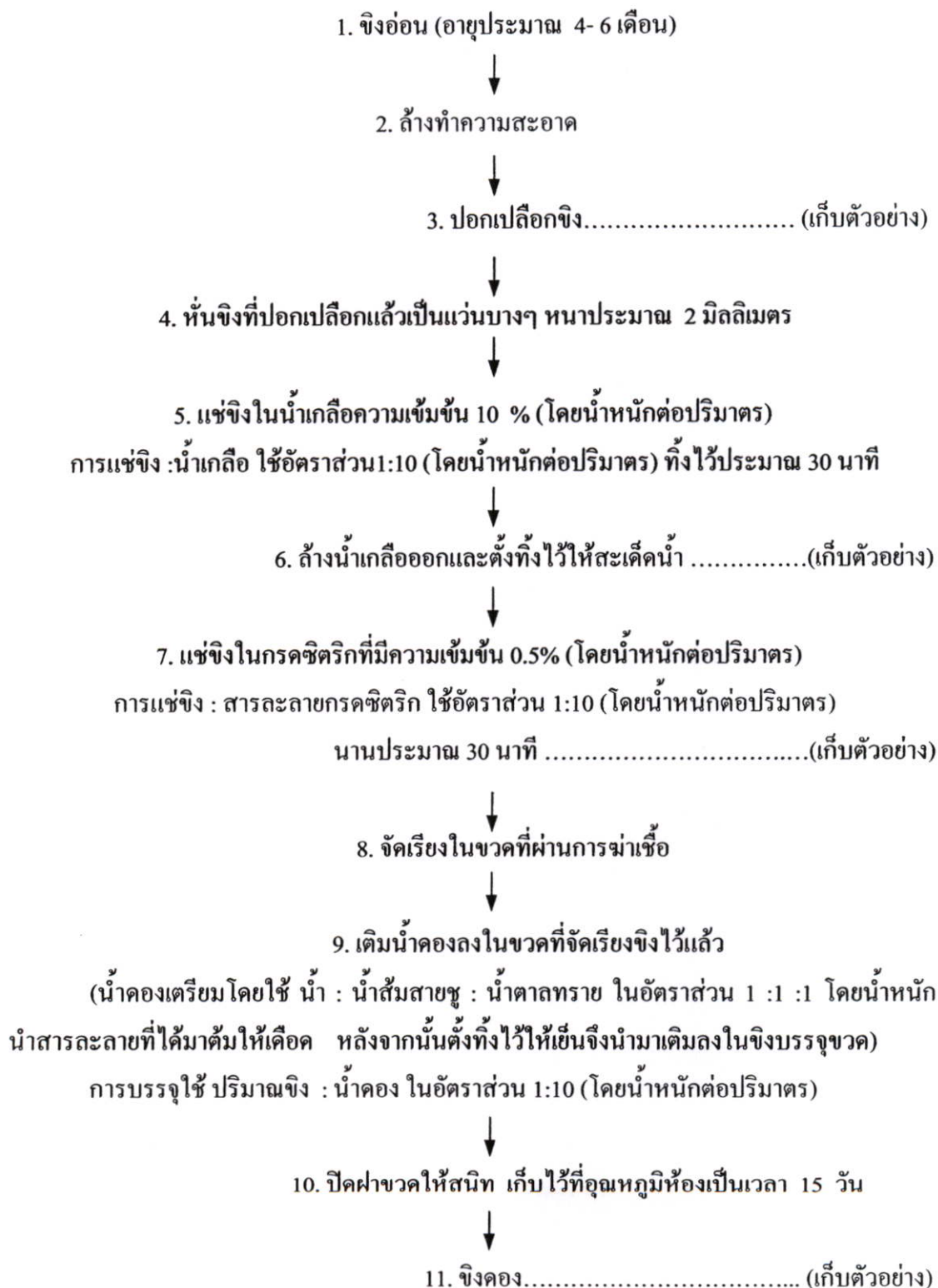
- | | | |
|-------|------------------|-----------------|
| 3.2.1 | Ethanol 95% | Merck , Germany |
| 3.2.2 | Sodium carbonate | Merck , Germany |
| 3.2.3 | Gallic acid | Sigma , USA |

- | | | |
|------------|--|------------------------------------|
| 3.2.4 | Folin – Ciocalteu reagent (FCR) | Sigma ,USA |
| 3.2.5 | 2,2 – diphynyl – 1 – picryhydrazyl (DPPH) | Sigma,USA |
| 3.3 | อาหารเลี้ยงเชื้อ | |
| 3.3.1 | Mueller Hinton agar (MHA) | Merck , Germany |
| 3.3.2 | Mueller Hinton broth (MHB) | Merck , Germany |
| 3.4 | ยาต้านจุลชีพ (Antibiotic) | |
| | Chloramphenicol | Oxiod ,UK. |
| 3.5 | เชื้อจุลินทรีย์ | |
| 3.5.1 | <i>Escherichia coli</i> JM109 | |
| 3.5.2 | <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 12600 | |
| 3.6 | อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง | |
| 3.6.1 | Spectrophotometer22 | Labomed , USA |
| 3.6.2 | Vacuum rotary evaporator | Rotavapor Buchi R-114 ,Switzerland |
| 3.6.3 | Hot air oven | Memmert , Germany |
| 3.6.4 | Tray dryer | Memmert, Germany |
| 3.6.5 | Blender | Molenex, Germany |
| 3.6.6 | Shaker | GFL, Germany |
| 3.6.7 | Cork borer | Japan |
| 3.6.8 | Autoclave | Tomy SS –325, Japan |
| 3.6.9 | ตู้ laminar flow | ABS 1200A, UK. |
| 3.6.10 | ตู้บ่มเชื้อ | Memmert, Germany |
| 3.7 | สถานที่ทดลอง | |
| | ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมอาหาร | โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร |
| | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | |

3.8 วิธีดำเนินการ

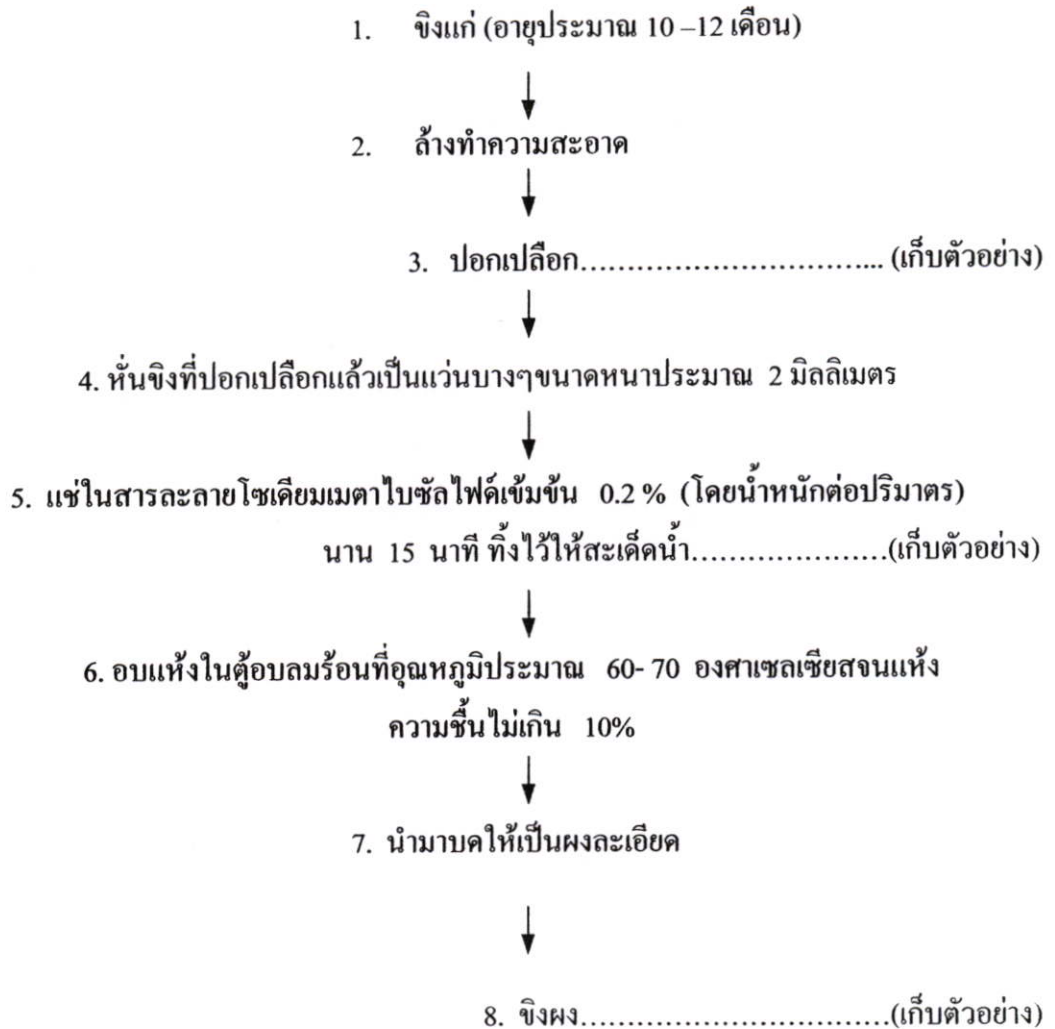
3.8.1 การเตรียมผลิตภัณฑ์ขิง

3.8.1.1 การเตรียมขิงคอง (ดัดแปลงจากวิธีของกรมวิชาการเกษตร , 2525)



รูปที่ 3.1. กระบวนการผลิตขิงคอง

3.8.1.2 การเตรียมขิงผง (ตัดแปลงจากวิธีของพิทยา , 2529)



รูปที่ 3.2. กระบวนการผลิตขิงผง

3.8.2 การเตรียมสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง

นำตัวอย่างขิงสดและผลิตภัณฑ์ขิงมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดผสม (blender) จากนั้นสกัดตัวอย่างโดยใช้ตัวทำละลายแอลกอฮอล์ 95% ในอัตราส่วนของตัวอย่างขิงต่อตัวทำละลาย 1 : 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สกัดโดยใช้วิธีเขย่าด้วยเครื่องเขย่า นาน 24 ชั่วโมง แล้วจึงกรองสารสกัดผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (vacuum rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เก็บสารสกัดที่ได้ไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.8.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากสารสกัดจากขิงสดและผลิตภัณฑ์ขิง

1) ขิงสด

นำตัวอย่างขิงสดทั้งแก่และอ่อนมาปอกเปลือก จากนั้นบดตัวอย่างให้ละเอียดและสกัดตัวอย่าง(ตามวิธีในข้อ3.8.2) นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ตามวิธีในข้อ 3.8.5) และวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ตามวิธีในข้อ 3.8.6) และสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์(ตามวิธีในข้อ 3.8.7)

2) ผลิตภัณฑ์ขิง

นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขิงจากท้องตลาด ได้แก่ ขิงคอง 3 ยี่ห้อและขิงผง 2 ยี่ห้อมาสกัดตัวอย่างตามวิธีในข้อ 3.8.2 นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ตามวิธีในข้อ 3.8.5) วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ตามวิธีในข้อ 3.8.6) และสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์(ตามวิธีในข้อ 3.8.7)

3.8.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากสารสกัดจากขิงในระหว่างกระบวนการแปรรูป

1) ขิงคอง

ทดลองแปรรูปขิงคองตามวิธีในข้อ 3.8.1.1 โดยเก็บตัวอย่าง ขิงระหว่างกระบวนการแปรรูปคือขั้นตอนที่ 3 , 6 ,7 และ 11 (รูปที่ 3.1) มาบดให้ละเอียดและสกัดตามวิธีในข้อ 3.8.2 นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด(ตามวิธีในข้อ3.8.5) วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ตามวิธีในข้อ 3.8.6) และสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์(ตามวิธีในข้อ 3.8.7)

2) ขิงผง

ทดลองแปรรูปขิงผงตามวิธีในข้อ 3.8.1.2 โดยเก็บตัวอย่างขิงระหว่างกระบวนการแปรรูป คือขั้นตอนที่ 3 , 5 และ 8 (รูปที่ 3.2) มาสกัดตามวิธีในข้อ 3.8.2 นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (ตามวิธีในข้อ3.8.5) วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ตามวิธีในข้อ3.8.6) และสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์(ตามวิธีในข้อ 3.8.7)

3.8.5 วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดจะใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีที่รายงานโดย Yildirim และคณะ(2001) โดยสารประกอบโพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับ Folin – Ciocalteu ได้ สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร ใช้กรดแกลลิกเป็น สารประกอบโพลีฟีนอลมาตรฐาน

เตรียมสารละลายของตัวอย่างสารสกัดจากขิงที่จะวิเคราะห์ โดยชั่งสารสกัดจากขิง 0.1 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์ 70% และปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 9.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม สารละลาย Folin – Ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที เติมน้ำ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 10% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ ห้อง 10 นาที (กรณีที่สารละลายปฏิกิริยาขุ่นให้นำไปหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนออก)นำไปวัดค่า การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้แอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างสารสกัดสำหรับเตรียม blank

3.8.6 วิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะใช้วิธีดัดแปลงจากวิธีที่ รายงานโดย Parejo และคณะ(2002) โดยที่สารละลายของอนุมูลอิสระ DPPH จะมีสีม่วงและ ดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ดังนั้นสารตัวอย่างที่มีความสามารถในการต้าน อนุมูลอิสระดังกล่าวได้ดีจะทำให้สีม่วงของสารละลายปฏิกิริยาจางลงมาก

เตรียมสารละลายปฏิกิริยาโดยปิเปตสารละลายต่างๆ ต่อไปนี้ใส่ในหลอดทดลองคือสาร ละลาย DPPH (0.8 มิลลิโมลาร์ ในแอลกอฮอล์ 95%) ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร, สารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตรและสารละลายแอลกอฮอล์ 40% ปริมาตร 5.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (\%)} = \left[1 - \left(A_{\text{sample}} / A_{\text{control}} \right) \right] \times 100$$

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง

A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายที่ใช้เป็นตัวควบคุม (control)

ในการศึกษาจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

3.8.7 วิเคราะห์สมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

การวิเคราะห์สมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากสารสกัดจากขิงใช้วิธี Agar – well diffusion method โดยดัดแปลงจากวิธีของ Perez และคณะ (1990) ซึ่งอาศัยหลักการแพร่ซึมของสารละลายที่ทดสอบโดยสารละลายที่ต้องการทดสอบลงในหลุมที่เจาะ(well)บนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้ทำการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ที่ทดสอบ ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโซนใส (inhibition zone) หน่วยเป็นมิลลิเมตร ความกว้างของโซนใสบอกถึงความสามารถของสารละลายที่ทดสอบว่ามีสมบัติในการต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ในการศึกษาสมบัติการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์จากสารสกัดจากขิงจะใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการทดสอบ 2 สายพันธุ์ คือ *E. coli* JM109 และ *Staph. aureus* ATCC 12600

เตรียมสารละลายสารสกัดจากขิง

ซึ่งตัวอย่างสารสกัดจากขิงที่จะวิเคราะห์ใช้ตัวทำละลาย คือ แอลกอฮอล์ 70 % เตรียมสารละลายสารสกัดให้ได้ความเข้มข้น 200, 100, 50, 25, 12.5 และ 6.25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยมีชุดควบคุม ได้แก่

- แอลกอฮอล์ 70%
- สารละลายกรดซัลฟูริก 0.5%
- สารละลายเกลือ 10%
- Chloramphenicol 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

ทำการทดสอบตัวอย่างสารสกัดจากขิงตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้หาค่าเฉลี่ย

เตรียมเชื้อจุลินทรีย์ทดสอบ

ในการทดลองใช้เชื้อจุลินทรีย์ *E. coli* JM109 และ *Staph. aureus* ATCC 12600 โดยใช้ห่วงเช็ยเชื้อ (loop) ถ่ายเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์ ปริมาณ 1 loop ลงในหลอดอาหารเหลว Mueller Hinton broth (MHB) และนำเชื้อจุลินทรีย์ในหลอดอาหารเหลวที่ได้ไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หรือจนเชื้อเจริญมีปริมาณอยู่ที่ $10^6 - 10^7$ โคโลนี / มิลลิลิตร

การทดสอบความไวของเชื้อจุลินทรีย์ต่อสารสกัดจากขิง

การเตรียมจานเพาะเลี้ยงเชื้อทดสอบใช้เทคนิค spread plate โดยหลอมอาหาร Mueller Hinton agar (MHA) ใช้ปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อจานเพาะเลี้ยงเชื้อ เทลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อรอให้อาหารแข็งและแห้ง จากนั้นเปิดสารแขวนลอยของเชื้อ 0.1 มิลลิลิตรลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อและทำการเกลี่ยเชื้อ (spread) ให้ทั่วผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นใช้ที่เจาะหลุม (cork borer) เบอร์ 3 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เจาะหลุมอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ หยดสาร

ละลายสารสกัดที่จะทดสอบลงในหลุมปริมาตร 100 ไมโครลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ให้สารละลายแพร่ในชั้นอาหารเลี้ยงเชื้อ ก่อนที่จะนำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

การแปลผลทดสอบ

ใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใส (Inhibition zone) ที่เกิดขึ้น โดยวัดรวมขนาดของหลุมเจาะ 8 มิลลิเมตรเข้าไปด้วย ซึ่งโซนใสแสดงถึงบริเวณที่เชื้อไม่เจริญเติบโต โดยทำการวัด 3 ตำแหน่งต่อหลุมเจาะแล้วรายงานค่าเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 3 ค่าเป็นค่าเฉลี่ย และเปรียบเทียบผลจากระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่แสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างสารสกัดจากขิงและในผลิตภัณฑ์ขิงจะแสดงผลเปรียบเทียบ 2 รูปแบบ คือ คำนวณจากน้ำหนักของสารสกัดและคำนวณจากน้ำหนักตัวอย่างแห้ง ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะเปรียบเทียบ 3 รูปแบบคือ ใช้น้ำหนักวัดดูเทียบเท่ากันในการทดสอบ ใช้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากันในการทดสอบ และใช้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างสารสกัดที่ได้จากตัวอย่างขิงบางชนิดหรือบางขั้นตอนของกระบวนการแปรรูปอาจมีส่วนผสมของสารประกอบชนิดอื่นปนมาด้วย เช่น น้ำตาล หรือ เกลือ เป็นต้นทำให้ไม่สามารถติดตามค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่แท้จริงขององค์ประกอบที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดได้ จึงต้องเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดทั้งสามรูปแบบเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนขึ้น

4.1 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง

จากการเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์จากขิงได้กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรง ซึ่งมีสมการเส้นตรง คือ $y = 0.0062x + 0.0059$ และมีค่า $r^2 = 0.9994$

4.1.1 ขิงสด

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากขิงสดทั้งขิงอ่อนและขิงแก่ที่ไม่ปอกเปลือก มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมากกว่าในขิงปอกเปลือกเล็กน้อย และประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากขิงสดที่ยังไม่ปอกเปลือกจะสูงกว่าขิงสดที่ปอกเปลือก ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการปอกเปลือกทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลส่วนที่อยู่บริเวณเปลือกถูกกำจัดออกไป ซึ่งตามลักษณะพฤกษศาสตร์ของเหง้าขิงเซลล์บริเวณที่ติดกับเปลือกขิงมีปริมาณ oil cells ซึ่งเป็นแหล่งเก็บ โอเลโอเรซินอยู่ค่อนข้างสูง (ถนอมศรี, 2538) นอกจากนี้การปอกเปลือกอาจทำให้เนื้อขิงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล อันเนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ที่มีอยู่ในเนื้อขิง ซึ่งสารประกอบโพลีฟีนอลที่อยู่ในเซลล์พืชเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศและเอนไซม์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน

สารฟีนอลถูกออกซิไดส์ให้เป็นสารควิโนน (นิธิยา, 2545) จึงทำให้ขิงที่ปอกเปลือกมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลง

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ของสารสกัดจากขิงสดในขั้นตอนการปอกเปลือก

ตัวอย่าง	สารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด (มิลลิกรัมกรดแกลลิก / กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการต้านอนุมูล อิสระ DPPH (%)*
ขิงอ่อนไม่ปอกเปลือก	15.31 ± 0.10	85.63 ± 0.07
ขิงอ่อนปอกเปลือก	14.45 ± 0.13	81.14 ± 0.09
ขิงแก่ไม่ปอกเปลือก	19.41 ± 0.55	85.91 ± 0.16
ขิงแก่ปอกเปลือก	17.56 ± 0.77	80.38 ± 0.27

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

* วัดประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระDPPH โดยใช้น้ำหนักตัวอย่างวัสดุเทียบเท่ากันในการทดสอบ (100 มิลลิกรัม)

4.1.2 ผลของกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ขิง

4.1.2.1 ผลิตภัณฑ์ขิงคอง

สำหรับขิงอ่อนเมื่อนำมาแปรรูปเป็นขิงคอง และเก็บตัวอย่างในระหว่างการแปรรูปมา 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปอกเปลือก แช่เกลือ แช่กรดซิตริก และในผลิตภัณฑ์ขิงคอง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงบางช่วงในขั้นตอนของการผลิตขิงคอง เริ่มตั้งแต่ในขั้นตอนการแช่ขิงปอกเปลือกในน้ำเกลือ 10% เพื่อให้เนื้อขิงนุ่ม ทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลง จาก 14.45 เป็น 11.34 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากในขั้นตอนการแช่ขิงในน้ำเกลือทำให้สารโพลีฟีนอลที่อยู่ในขิงละลายออกไป ซึ่งสารประกอบโพลีฟีนอลในธรรมชาติโดยทั่วไปมีทั้งกลุ่มที่มีโครงสร้างแบบที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic phenolics) และแบบที่ชอบน้ำ (hydrophilic phenolics) (Chun *et al*, 2005) ซึ่งสารประกอบ โพลีฟีนอลในกลุ่มที่ชอบน้ำที่มีอยู่ในเนื้อขิงเมื่อแช่อยู่ในสารละลายที่มีน้ำเกลือเป็นองค์ประกอบก็จะละลายออกจากเนื้อเยื่อของพืชมาอยู่ในสารละลายที่แช่ และอีกสาเหตุหนึ่งอาจเนื่องจากสารสกัดจากขิงในขั้นตอนนี้มีเกลือผสมอยู่ทำให้สัดส่วนของปริมาณสารโพลีฟีนอลลดลง ดูจากปริมาณสารสกัดที่ได้และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 พบว่าจากขั้นตอนขิงแช่เกลือมีปริมาณสารสกัดที่ได้เพิ่มขึ้นจากขั้นตอนขิงปอก

เปลือก คือ จาก 22.63 เป็น 32.64 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง และปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดจากขิงที่แช่เกลือมีปริมาณน้อยลงจากขิงปอกเปลือก คือจาก 63.86 เป็น 34.77 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมสารสกัด นอกจากนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดที่ได้จากขั้นตอนการแช่เกลือลดลงจาก 86.83 % เป็น 55.03% (เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ความเข้มข้นของสารสกัด 1% เท่ากันในการทดสอบ) แต่เมื่อทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้ปริมาณสารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 100 ไมโครกรัมเท่ากันในการทดสอบ พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากขิงที่แช่เกลือดังกล่าวลดลงจาก 89.07 % เป็น 85.82% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบโพลีฟีนอลในขิงแช่น้ำเกลือยังไม่เปลี่ยนแปลง เพียงแต่สารสกัดจากขิงที่นำมาทดสอบอาจมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเป็นองค์ประกอบในปริมาณน้อยลงเนื่องจากมีเกลือถูกสกัดออกมาด้วยจึงทำให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมีเปอร์เซ็นต์ต่ำลงมาก เมื่อวัดโดยใช้สารสกัดเท่ากันในการทดสอบ

เมื่อถึงขั้นตอนการนำตัวอย่างมาล้างน้ำเกลือออกและจากนั้นแช่ในสารละลายกรดซิตริกซึ่งเป็นการทำให้เนื้อขิงมีสีสด พบว่าสารสกัดที่ได้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดคงที่และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นจาก 85.82 เป็น 92.01% สาเหตุอาจเนื่องจากการแช่ในสารละลายกรดซิตริกเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase ที่จะทำลายสารประกอบในกลุ่มฟีนอลิก (Rossi *et al.*, 2003) ดังนั้นในขั้นตอนการแช่สารละลายกรดซิตริก จึงช่วยให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดคงที่และประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงขึ้นเล็กน้อย(เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเท่ากันในการทดสอบ) ดังตารางที่ 4.2 คอลัมน์ c ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารประกอบโพลีฟีนอลในสารสกัดส่วนมากจะมีความเสถียรเมื่ออยู่ในสถานะเป็นกรด (Yen and Hung, 2000) โดยเฉพาะสาร gingerol ซึ่งเป็นสารประกอบที่สำคัญในสารสกัดจากขิงจะมีความเสถียรของสมบัติการต้านทานอนุมูลอิสระในช่วง pH ที่กว้าง คือ 2.50-7.00 และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระจะลดลงเมื่อ pH สูงกว่า 7 (Mansour and Khalil, 2000) เช่นเดียวกับรายงานของ Nanjo และคณะ(1996) รายงานว่าระดับ pH จะมีผลต่อกลไกการทำงานของสารประกอบโพลีฟีนอล ซึ่งจะทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ดี เมื่ออยู่ในสถานะกรดมากกว่าสถานะที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยกำหนดให้ปริมาณสารสกัดที่ทดสอบเท่ากัน (ตารางที่ 4.2 คอลัมน์ b) จะเห็นว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างสารสกัดจากขิงที่แช่กรดซิตริกเพิ่มสูงขึ้น จาก 55.03 % ในขั้นตอนการแช่น้ำเกลือ เป็น 84.21% ในขั้นตอนการแช่กรดซิตริก แสดงให้เห็นว่าในขั้นตอนแช่กรดซิตริกอาจชะล้างเกลือในตัวขิงออกไป ทำให้สารสกัดที่ได้ไม่มีปริมาณเกลือปะปนออกมา โดยสังเกตได้จากปริมาณสารสกัดที่ได้ลดลง จาก 32.64 เป็น 12.98 กรัมต่อ100 กรัมตัวอย่างแห้ง โดยที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในตัวอย่างแห้งทั้งสองขั้นตอนใกล้เคียงกัน ด้วยเหตุผลดัง

กล่าวจึงส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากตัวอย่างชิงแช่กรดซิตริกมีค่ามากขึ้น เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ปริมาณสารสกัดเท่ากันในการทดสอบ

หลังจากขั้นตอนการแช่ชิงในสารละลายกรดซิตริกแล้วเก็บชิงคองที่ผลิตได้ไว้ในขวดแก้วใสโดยแช่ในสารละลายผสมของน้ำตาลทรายและน้ำส้มสายชู ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 วัน จึงนำตัวอย่างชิงคองที่ได้มาวิเคราะห์ พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 8.59 มิลลิกรัมกรดแกล ลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ที่มีอยู่วัตถุดิบเริ่มต้น (ชิงอ่อนปอกเปลือก) จนกระทั่งเป็นชิงคอง จะมีค่าเท่ากับ 59.37 % นอกจากนี้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงตามไปด้วย คือ มีค่าเท่ากับ 42.22% เมื่อวิเคราะห์โดยใช้สารสกัดที่มีความเข้มข้น 1% ในการทดสอบ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์โดยใช้สารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด 100 ไมโครกรัมเท่ากันในการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะลดลงเล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 81.27% แสดงให้เห็นว่าสารประกอบโพลีฟีนอลที่เหลืออยู่นี้ยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ใกล้เคียงกับที่มีอยู่ในวัตถุดิบเริ่มต้นและในตัวอย่างที่ได้ระหว่างกระบวนการแปรรูป สาเหตุที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์ชิงคองสูญเสียมากกว่าขั้นตอนอื่นๆ อาจเป็นเพราะว่าเนื้อชิงซึ่งแช่อยู่ในสารละลายเป็นระยะเวลาจนถึง 15 วัน เป็นผลทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลละลายออกจากเนื้อชิงไปอยู่ในสารละลายได้มาก ในทำนองเดียวกับกรณีที่แช่ในสารละลายน้ำเกลือซึ่งกล่าวมาแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการแปรรูป

ตัวอย่าง	ปริมาณสารสกัดจาก พืช (กรัมต่อ 100 กรัม)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด		ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%)		
		มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อกรัมสารสกัด	มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง	a	b	c
จิงอ๋อนปอกเปลือก	22.63	63.86 ± 9.14	14.45 ± 0.13	81.14 ± 0.09	86.83 ± 1.10	89.07 ± 2.14
จิงอ๋อนแช่เกลือ	32.64	34.77 ± 3.30	11.34 ± 0.25	90.01 ± 0.15	55.03 ± 2.45	85.82 ± 1.05
จิงอ๋อนแช่กรดซิตริก	12.98	86.39 ± 5.56	11.21 ± 0.30	85.24 ± 0.46	84.21 ± 1.45	92.01 ± 1.25
จิงคอง	70.95	12.11 ± 0.70	8.59 ± 0.06	77.80 ± 0.78	42.22 ± 1.00	81.27 ± 0.50

หมายเหตุ ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

a คือ ใช้น้ำหนักวัตถุเทียบเท่ากันในการทดสอบ (100 มิลลิกรัม)

b คือ ใช้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากันในการทดสอบ (1%)

c คือ ใช้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ (100 ไมโครกรัม)

4.1.2.2 ผลึกภัณฑ์ขิงผง

ในการแปรรูปขิงแก่เป็นผลึกภัณฑ์ขิงผง เก็บตัวอย่างในระหว่างการแปรรูปมา 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการปอกเปลือก แช่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ และในผลึกภัณฑ์ขิงผง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการแปรรูป

จากการทดลองพบว่าขั้นตอนที่นำขิงแก่ปอกเปลือกแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์จะทำให้สารสกัดจากขิงที่ได้มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงกว่าตัวอย่างขิงที่ปอกเปลือกคือ จาก 17.56 เป็น 19.94 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจาก สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์เป็นสารประกอบที่มีสมบัติเป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) เช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิก โดยทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมกับสารประกอบกลุ่มคีโตนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่ของกลุ่มคาร์บอนิลที่เกาะอยู่กับวงแหวนอะโรมาติกไปเป็นพันธะเดี่ยวของกลุ่มไฮดรอกซิลในรูปของสารกลุ่มฟีนอลได้มากขึ้น (Whitaker, 1994) ซึ่งสารประกอบที่พบในขิงมีโครงสร้างเป็นแบบฟีนอลคีโตนเช่นกัน ดังนั้นอาจเป็นไปได้ที่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่แช่ขิงทำให้โครงสร้างของสารประกอบที่อยู่ในขิงมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบในกลุ่มฟีนอลได้ในบางส่วน จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.4 คอลัมน์ a, b และ c)

สำหรับในขั้นตอนการทำแห้งจะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยนำขิงที่ผ่านการแช่โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์มาอบจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นไม่เกิน 10% แล้วนำขิงมาบดจนเป็นผงละเอียด ปริมาณสารสกัดที่ได้มีปริมาณมากขึ้น คือ จาก 17.85 เป็น 18.53 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากว่าการบดตัวอย่างขิงให้เป็นผงที่ละเอียดมากๆ ทำให้ตัวทำละลายสามารถที่จะสกัดสารประกอบต่างๆที่อยู่ในขิงออกมาได้มากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดพบว่าจะมีค่าสูงขึ้น จาก 19.94 เป็น 45.41 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง สาเหตุอาจเนื่องจากการทำแห้งด้วยความร้อนจะทำลาย parenchyma cell ของพืชจึงทำให้สารประกอบโพลีฟีนอลถูกสกัดออกมาได้ง่ายขึ้น (Azain *et al.*, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Choi และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลของการใช้ความร้อนที่มีต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในเห็ดชิตาเกะ พบว่าการให้ความร้อนสูงจะทำให้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Kim และคณะ (2006) ได้ศึกษาผลของความร้อนต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดเมล็ดคองุ่นพบว่าสารสกัดเมล็ดคองุ่นที่บดเป็นผงละเอียดจะให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าสูงสุดเมื่อให้ความร้อน

ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารสกัดเมล็ดงุ่นที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน

ส่วนประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของขิงพบว่ามี 3 รูปแบบ คือ ใช้ปริมาณวัตถุดิบเท่ากันในการทดสอบ ใช้ปริมาณสารสกัดเท่ากันในการทดสอบและใช้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเท่ากันในการทดสอบให้ผลการทดสอบไปในทิศทางเดียวกันคือมีค่าลดลงเล็กน้อย แสดงผลดัง ตารางที่ 4.3 คอลัมน์ a, b และ c สาเหตุอาจเนื่องจากสารประกอบในขิงอาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีผลตอบสนองต่อการทำปฏิกิริยาต่อสารอนุมูลอิสระ DPPH ได้น้อยลงซึ่งโดยทั่วไปแล้วสาร gingerol ที่พบในขิงเป็นสารที่มีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดในกลุ่มสารประกอบที่พบในขิงสดแต่สารตัวนี้จะเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นสาร shogaol หรือ zingerone ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อนหรือจัดเก็บในสภาวะที่ไม่เหมาะสม (Kikuzaki and Nakatani, 1993) ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้ อาจจะทำให้การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดได้ค่าสูงขึ้นแต่ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระกลับมีค่าลดลง ซึ่งจากรายงานของ Mansour และ Khalil (2000) พบว่าการลดลงของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดในสารสกัดจากขิงจะขึ้นอยู่กับระยะเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง โดย gingerol ในสารสกัดจากขิงที่เป็นสารในกลุ่มฟีนอลิกคือ โคนจะไม่ถูกทำลายถ้าใช้อุณหภูมิในการทำแห้งไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะลดลง 25 % เนื่องจากสาร gingerol เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบ shogaol โดยเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ตำแหน่ง C5 เป็นพันธะคู่อยู่ระหว่าง C4 - C5 ทำให้มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระลดลง (Jalad *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตามสารสกัดที่ได้จากขิงถือว่าเป็นสารสกัดจากธรรมชาติที่ทนต่อความร้อนได้สูงอีกชนิดหนึ่ง (Hamama and Nawar, 1991)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการแปรรูป
ขิงผง

ตัวอย่าง	ปริมาณสารสกัด จากขิง (กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด		ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH (%)		
		มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อกรัมสารสกัด	มิลลิกรัมกรดแกลลิก ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง	a	b	c
ขิงแก่เปลือก	16.16	108.70 ± 13.17	17.56 ± 0.77	80.38 ± 0.27	83.26 ± 1.45	83.02 ± 0.55
ขิงแก่แช่โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์	17.85	111.73 ± 13.10	19.94 ± 0.55	92.79 ± 0.47	90.49 ± 1.11	84.79 ± 0.98
ขิงผง	18.53	245.10 ± 11.05	45.41 ± 0.28	87.78 ± 0.15	88.97 ± 1.25	83.34 ± 1.05

หมายเหตุ ทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

a คือ ให้นำน้ำกัวิตูดิบ เท่ากันในการทดสอบ(100 มิลลิกรัม)

b คือ ใช้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากันในการทดสอบ (1%)

c คือ ใช้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ (100 ไมโครกรัม)

4.1.3 ผลการทดลองของปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากผลิตภัณฑ์จีน

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชทั้งจีนอ่อนและจีนแก่ คือ จีนคองและจีนผง ในแต่ละผลิตภัณฑ์และแต่ละยี่ห้อจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH แตกต่างกันไป ทั้งนี้อาจเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มีความแตกต่างกัน เช่น พันธุ์, แหล่งเพาะปลูก, ฤดูกาล, อายุที่เกี่ยวข้อง, ระยะเวลาและการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว, อุณหภูมิ (Zhang *et al.* 1994 ; Goyal and Korla . 1997) รวมทั้งสูตรและขั้นตอนการผลิตที่แตกต่างกัน

4.1.3.1 ผลิตภัณฑ์จีนคอง

ในผลิตภัณฑ์จีนคองยี่ห้อแม่จินต์(ลำปางฟูคส์), จีนคองยี่ห้อจุฑาภรณ์และจีนคองทดลอง เมื่อสังเกตด้วยสายตาและจากการชิมจะพบว่าความแก่ - อ่อนของจีนที่นำมาผลิตน่าจะมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ใกล้เคียงกันแต่เมื่อนำผลิตภัณฑ์จีนคองแต่ละยี่ห้อมาเตรียมสารสกัดจะได้ปริมาณสารสกัดที่แตกต่างกัน ซึ่งสารสกัดที่ได้จากจีนคองทดลองกับจีนคองยี่ห้อแม่จินต์มีปริมาณสารสกัดค่อนข้างสูง อาจเป็นไปได้ว่ามีส่วนผสมอื่นถูกสกัดปนออกมาด้วยนอกเหนือจากโอเลโอเรซิน เช่น น้ำตาล เกลือ ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการผลิต เป็นต้น ส่วนจีนคองยี่ห้อสองฝั่งเป็นจีนคองที่ใช้วัตถุดิบที่มีอายุการเก็บเกี่ยวค่อนข้างมาก เนื่องจากการสังเกตลักษณะของเนื้อจีนมีเส้นใยค่อนข้างสูง

ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในผลิตภัณฑ์จีนคองจากท้องตลาดและจีนคองทดลอง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 ซึ่งพบว่าจีนคองยี่ห้อแม่จินต์และจีนคองทดลองจะมีปริมาณสารสกัดที่ได้มีค่าสูง คือ 57.10 และ 70.95 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ แต่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดพบว่าจีนคองยี่ห้อแม่จินต์และจีนคองทดลองมีค่าน้อย คือ มีค่าเท่ากับ 10.04 และ 8.59 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH กรณีใช้ปริมาณสารสกัดเท่ากันในการทดสอบ พบว่าจีนคองยี่ห้อแม่จินต์และจีนคองทดลอง มีค่าน้อย คือ 47.74 % และ 42.22 % ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองมีปริมาณสารสกัดที่ได้ออกมามากและปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย รวมทั้งประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าน้อย แสดงให้เห็นว่าจีนคองสองตัวนี้มีสิ่งอื่นเจือปนที่เติมเข้าไปในระหว่างกระบวนการแปรรูปอยู่ในปริมาณมาก เช่น เกลือ น้ำตาล เป็นต้น ซึ่งจากการวัดค่าบrix (ภาคผนวก ง) ในจีนคองทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ ยี่ห้อแม่จินต์ ยี่ห้อจุฑาภรณ์ ยี่ห้อสองฝั่งและจีนคองทดลอง มีค่าดังนี้ คือ 22.20, 6.20, 4.00 และ 26.00% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าจีนคองยี่ห้อแม่จินต์และจีนคองทดลองมีปริมาณน้ำตาลที่สกัดออกมาปริมาณมากกว่ายี่ห้ออื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารโพลีฟีนอลที่มีในจีนคองว่ายังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระอยู่หรือไม่ จึงได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ 2 รูปแบบ คือ ใช้ปริมาณวัตถุดิบ

เท่ากันในการทดสอบและใช้ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.4 คอลัมน์ a และ c พบว่าชิงคองยี่ห้อแม่จินต์และชิงคองทดลองยังคงมีสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี คือ มีค่าเท่ากับ 80.06% และ 77.80 % ตามลำดับ (เมื่อใช้ปริมาณตัวอย่างวัตถุเทียบเท่ากันในการทดสอบ) และมีค่าเท่ากับ 86.43 % และ 81.27 % ตามลำดับ (เมื่อใช้ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ)

ส่วนชิงคองยี่ห้อจุฑาภรณ์และยี่ห้อสองฝั่ง พบว่าปริมาณสารสกัดที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 27.62 และ 28.48 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดของชิงคองยี่ห้อจุฑาภรณ์และยี่ห้อสองฝั่ง มีค่าเท่ากับ 14.30 และ 24.59 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของชิงคองทั้งสองตัวอย่างนี้พบว่าการวิเคราะห์ผลทั้ง 3 รูปแบบ ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ (ตาราง 4.4 คอลัมน์ a, b และ c) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากชิงคองทั้งสองยี่ห้อนี้มีการเติมสิ่งเจือปนอื่น ๆ ในระหว่างกระบวนการแปรรูปในปริมาณน้อย เช่น น้ำตาล เกลือ เป็นต้น จึงทำให้ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระทั้งสามรูปแบบให้ผลที่สอดคล้องกัน

ในการเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างชิงคองทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่าในชิงคองยี่ห้อสองฝั่งจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด ส่วนชิงคองทดลองพบว่ามีปริมาณน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุเริ่มต้นมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ ดังนั้นเมื่อผ่านขั้นตอนการผลิตจนเป็นผลิตภัณฑ์ชิงคองจึงมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเหลืออยู่น้อย และประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจึงมีค่าน้อยตามไปด้วย

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้ตัวอย่างวัตถุเทียบเท่ากันในการทดสอบจะพบว่าผลิตภัณฑ์ชิงคองในแต่ละยี่ห้อจะมีประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระอยู่ในเกณฑ์ที่ดี จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ชิงคองเป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่น่าจะมีประโยชน์ต่อสุขภาพเนื่องจากมีสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระที่ดี

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากชิงในผลิตภัณฑ์ขิงคองที่ผลิตในทางการค้าเปรียบเทียบกับขิงคองที่ได้จากการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ขิงคอง	ปริมาณสารสกัดจากขิง (กรัม / 100 กรัมตัวอย่างแห้ง)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด		ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH (%)		
		มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด	มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง	a	b	c
แม่จิ้นต์	57.10	17.59 ± 3.48	10.04 ± 0.76	80.06 ± 0.08	47.71 ± 2.00	86.43 ± 1.20
จุฬารณีย์	27.62	51.80 ± 1.63	14.30 ± 0.50	86.23 ± 0.02	85.92 ± 1.48	89.29 ± 0.97
สองฝั่ง	28.48	86.35 ± 1.05	24.59 ± 1.28	87.64 ± 0.86	91.25 ± 0.88	90.50 ± 0.15
ขิงคองทดลอง	70.95	12.11 ± 0.70	8.59 ± 0.06	77.80 ± 0.78	42.22 ± 0.56	81.27 ± 0.77

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

a คือ ใช้น้ำหนักวัดดูบเทียบเท่ากันในการทดสอบ (100 มิลลิกรัม)

b คือ ใช้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากันในการทดสอบ (1%)

c คือ ใช้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ(100 ไมโครกรัม)

เพื่อที่จะทำให้การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ขิง ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ขิงคอง จึงได้เปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่ผู้บริโภคจะได้รับต่อหน่วยการบริโภค (100 กรัม) จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าในผลิตภัณฑ์ขิงคองโดยทั่วไปในท้องตลาดยังคงมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเหลืออยู่ในระดับหนึ่งถึงแม้ว่าจะน้อยกว่าในผลิตภัณฑ์ขิงผงก็ตาม ซึ่งเมื่อคิดปริมาณต่อหน่วยการบริโภคพบว่าการบริโภคขิงคอง 100 กรัม จะทำให้ผู้บริโภคได้รับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด ของขิงคองขี้หอมแม่จินต์ มีค่าเท่ากับ 183.82 มิลลิกรัม ขี้หอมจุฑาภรณ์ มีค่าเท่ากับ 148.67 มิลลิกรัม ขี้หอมสองฝั่ง มีค่าเท่ากับ 185.65 มิลลิกรัม และขิงคองทดลอง มีค่าเท่ากับ 227.98 มิลลิกรัม ถ้าคิดโดยเฉลี่ยของขิงคองทั้ง 4 ขี้หอมมีค่าประมาณ 186.53 มิลลิกรัม แต่ทั้งนี้การที่ผู้บริโภคจะได้รับประโยชน์จากสารประกอบดังกล่าวมาน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายแต่คนซึ่งสารประกอบกลุ่มฟีนอลส่วนมากจะไม่ถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็กจะต้องไปผ่านกระบวนการย่อยให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็กโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ก่อนจึงจะสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ ดังนั้นจะทำให้ปริมาณสารฟีนอลจะถูกทำลายไปบางส่วนและสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระก็จะลดลงตามไปด้วย(Manach *et al.*, 2004)

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่มีในขิงคองต่อหน่วยการบริโภค

ผลิตภัณฑ์ขิงคอง	ปริมาณสารประกอบ โพลีฟีนอลทั้งหมด ต่อการบริโภคขิงคอง 100 กรัม (มิลลิกรัม)
แม่จินต์	183.82
จุฑาภรณ์	148.67
สองฝั่ง	185.65
ขิงคองทดลอง	227.98

4.1.3.2 ผลผลิตภัณฑ์ขิงผง

ขิงผง ทั้ง 3 ตัวอย่างก็เช่นเดียวกับกรณีของขิงคอง คือ ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตขิงผงของแต่ละแห่ง ซึ่งอาจจะคล้าย ๆ กันแต่ไม่เหมือนกันทั้งหมด เช่น ขิงผงที่ปอกเปลือกกับขิงผงที่ไม่ปอกเปลือกก่อนการทำแห้ง (พิทยา, 2529) ดังนั้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจึงมีปริมาณสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในขิงต่างกัน ได้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ขิงผงจากการทดลองจะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าขิงผงที่ได้จากท้องตลาดยี่ห้ออื่นๆ ดังตารางที่ 4.6 อาจจะเนื่องจากขิงผงจากการทดลองใช้เวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไม่นานก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์จึงทำให้การสูญเสียเกิดขึ้นน้อยกว่าขิงผงที่ได้จากท้องตลาด นอกจากนี้ระยะเวลาและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ รวมถึงบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ก็มีผลต่อปริมาณสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอลเช่นกัน ซึ่งจะเห็นว่าขิงผงยี่ห้อจินเจนนับรจุนั้นจะเป็นกระชายอลูมิเนียมฟลอยด์ส่วนขิงผงยี่ห้อตรามือบรรจุนั้นถุงพลาสติกใส นอกจากนี้ลักษณะของตัวอย่างขิงผงแต่ละยี่ห้อที่มีความแตกต่างกัน คือ ขิงผงยี่ห้อจินเจนนับรจุนั้นมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองนวล ในขณะที่ขิงผงยี่ห้อตรามือที่ 1 และขิงทดลอง มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองนวล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขิงผงแต่ละยี่ห้อที่มีขั้นตอนการผลิตที่ไม่เหมือนกัน ขิงที่มีสีน้ำตาลเข้มอาจจะ เป็นเพราะว่าเป็นขิงผงที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก ส่วนขิงผงที่มีสีเหลืองนวลเป็นขิงผงที่ปอกเปลือก ก่อนที่จะอบแห้ง ด้วยปัจจัยต่างๆ เหล่านี้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขิงผงในแต่ละยี่ห้อ แสดงผลในการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันได้ ซึ่งจากการศึกษาของ Mansour และ Khalil (2000) พบว่าสาร gingerol ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่อยู่ในสารสกัดจากขิงจะสูญเสียความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไปประมาณ 2.4% ในระยะเวลา 7 วัน เมื่อเก็บไว้ในที่มีแสงและที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) แต่ถ้าเก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 5, 25 และ 37 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระไม่เปลี่ยนแปลง

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดจากขิงผงในแต่ละยี่ห้อไม่แตกต่างกันมากนักไม่ว่าจะวิเคราะห์โดยใช้น้ำหนักตัวอย่างวัตถุดิบเริ่มต้นเท่ากันในการทดสอบ หรือใช้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากันในการทดสอบ หรือใช้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ เฮอร์เซ็นต์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงทั้งสามวิธี ดังแสดงในตาราง 4.6 คอลัมน์ a, b และ c ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารสกัดที่ได้จากขิงผงแต่ละยี่ห้อไม่มีสารประกอบอื่นๆที่เติมเข้าไปในระหว่างกระบวนการแปรรูปขิงผงนอกจากขิงเท่านั้น จึงทำให้สารสกัดที่ได้มีความบริสุทธิ์มากกว่าขิงคอง นอกจากนี้ในการทำแห้งจะทำให้สามารถสกัดสารประกอบต่างๆที่อยู่ในเซลล์ของพืชได้ง่ายขึ้นด้วย

จะเห็นว่าชิงผงตรามือที่ 1 (จากตารางที่ 4.6) มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ คือ มีค่าเท่ากับ 7.97 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง แต่ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ได้ใกล้เคียงกับชิงผงยี่ห้อจินเงินและชิงผงทดลองทั้งที่ปริมาณสารที่สกัดได้ก็มีปริมาณน้อยกว่าทุกยี่ห้อ คือ มีค่าเท่ากับ 7.44 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่างแห้ง เป็นการแสดงให้เห็นว่าสารสกัดที่ได้ไม่มีสิ่งเจือปนอยู่หรือไม่ก็อาจมีเจือปนปริมาณน้อยที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากสารสกัดจากชิงผงตรามือที่ 1 มีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลในกลุ่มที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ DPPH ซึ่งจากรายงานของ Chun และคณะ(2005) ว่าสารประกอบโพลีฟีนอลในกลุ่มที่มีโครงสร้างชอบน้ำ (hydrophilic phenolics) จะมีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ DPPH มากกว่ากลุ่มที่ชอบน้ำมัน (lipophilic phenolics) ดังนั้นปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดที่วัดได้กับประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระในบางครั้งจึงไม่จำเป็นเสมอไปที่จะต้องแปรผันตามกัน และสารสกัดส่วนมากจะมีลักษณะทางเคมีกายภาพที่เฉพาะตัว คือ ปริมาณสารสกัดจะมีค่าวิกฤตอยู่ระดับหนึ่งที่สามารถต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้สูงสุด ถึงแม้ว่าจะเพิ่มปริมาณสารสกัดหรือเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเท่าใดก็ตามจะพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะไม่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิง ในผลิตภัณฑ์ขิงผงที่ผลิตในทางการค้าแต่ละเปรียบเทียบขิงผงที่ได้จากการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ขิง	ปริมาณสารสกัดจากขิง (กรัม / 100 กรัม)	ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด		ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระDPPH (%)	
		มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด	มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง	a	b c
จินเจิน	18.30	110.66 ± 6.25	20.25 ± 0.20	93.23±0.72	89.89 ± 1.00 83.24 ± 0.66
ตรามือ	7.44	107.18 ± 4.28	7.97 ± 0.67	85.56±0.30	87.23 ± 1.00 81.65 ± 0.98
ขิงผงทดลอง	18.53	245.10 ± 1.05	45.41 ± 0.28	87.78±0.15	88.97 ± 1.25 83.34 ± 1.00

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

a คือ ใช้น้ำหนักวัตถุเทียบเท่ากันในการทดสอบ (100 มิลลิกรัม)

b คือ ใช้ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากันในการทดสอบ (1%)

c คือ ใช้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ (100 ไมโครกรัม)

4.2 ผลการทดลองสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากขิงและผลิตภัณฑ์ขิง

ในการทดสอบสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ จะเป็นการทดสอบความไวของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งวิธีที่ใช้ในการทดสอบความไวของเชื้อจุลินทรีย์จะใช้วิธี agar - well diffusion method ศึกษาโดยใช้ตัวอย่างสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 200, 100, 50, 25, 12.5 และ 6.25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดจากขิงโดยวัดจากขนาดความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสที่เกิดขึ้นโดยวัดรวมทั้งขนาดของหลุมเจาะ 8 มิลลิเมตรเข้าไปด้วย และระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่เกิดโซนใส

4.2.1 สมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph.aureus* ของสารสกัดจากขิง

ในการทดสอบสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph.aureus* จะทดสอบความไวของเชื้อต่อสารสกัดที่ได้จากตัวอย่างในกระบวนการผลิตขิงคองและขิงผง โดยใช้ตัวอย่างตั้งแต่วัตถุดิบเริ่มต้นจนกระทั่งเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ของสารสกัดจากขิงที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการผลิต

ในการวิเคราะห์สมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph.aureus* ของสารสกัดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปขิงคอง ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จาก 4 ขั้นตอนจากการแปรรูปขิงคอง และตัวอย่างของขิงอ่อนเริ่มต้นที่ยังไม่ปอกเปลือก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่าตัวอย่างขิงอ่อนที่ยังไม่ปอกเปลือกสามารถแสดงผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ที่ระดับความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เมื่อเป็นขิงปอกเปลือกแล้วการยับยั้งการเจริญของเชื้อลดลง จะเห็นจากระดับความเข้มข้นที่เกิดโซนใสเพิ่มขึ้น เป็น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทั้งนี้เนื่องจากการปอกเปลือกทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลลดลงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อของสารสกัดจากขิงปอกเปลือกลดลงตามไปด้วย

ขั้นตอนการแช่ขิงอ่อนในน้ำเกลือพบว่าผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อดีขึ้นจากขิงคองปอกเปลือกโดยเกิดโซนใสที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และมีขนาดของโซนใสใกล้เคียงกับตัวอย่างขิงที่ยังไม่ปอกเปลือก คือ ขิงยังไม่ปอกเปลือก มีค่าเท่ากับ 9.83 มิลลิเมตร และขิงแช่เกลือมีค่าเท่ากับ 9.92 มิลลิเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องจากการแช่เกลืออาจจะทำให้สารประกอบที่มีอยู่ในขิงเปลี่ยนโครงสร้างไปอยู่ในรูปที่แสดงคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีขึ้น

ขั้นตอนการแช่กรดซิตริก ระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่เริ่มเกิดโซนใส คือ ที่ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ได้จากการแช่เกลือ แต่ขนาดโซนใสของตัวอย่างขิงที่แช่กรดซิตริกจะกว้างขึ้นกว่าตัวอย่างขิงที่แช่เกลือ คือ ขิงแช่เกลือ มีค่าเท่ากับ 9.92 มิลลิเมตร และขิงแช่กรดซิตริก มีค่าเท่ากับ 12.00 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นระดับเดียวกันสารสกัดที่ได้จากขั้นตอนแช่กรดซิตริกทำให้ขิงมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อได้ดีขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจ

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph. aureus* ของสารสกัดจากพืชในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการแปรรูปจึงคอง
ขนาดไซโนไลส(มิลลิเมตร)รวมหตุมเจาะเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร.

ตัวอย่าง	ระดับความเข้มข้นของสารสกัด (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)					
	200	100	50	25	12.5	6.25
จึงอ่อนไม่ปกเปลือก	16.84 ± 0.16	14.50 ± 0.86	12.67 ± 0.56	9.83 ± 0.29	-	-
จึงอ่อนปกเปลือก	15.92 ± 0.38	13.83 ± 0.29	10.5 ± 0.50	-	-	-
จึงอ่อนเซ่เกลือ	15.50 ± 1.24	13.17 ± 0.76	11.83 ± 1.04	9.92 ± 0.74	-	-
จึงอ่อนแซ่กรดซิตริก	21.75 ± 1.08	17.25 ± 0.96	15.00 ± 0.50	12.00 ± 0.32	-	-
จึงคอง	13.00 ± 0.50	-	-	-	-	-

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ขนาดไซโนไลส positive control (chloramphenicol) = 19.45 ± 0.86 mm. , citric acid 0.5% = 9 mm , salt solution 10 % = - , ethanol 70% = 10 mm.

- = ไม่เกิดไซโนไลส

เนื่องมาจากสารสกัดจากขิงที่ได้จากขั้นตอนนี้ มีการแช่ขิงในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 0.5% (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ทำให้สารที่สกัดออกมามีค่า pH ต่ำ เมื่อเสริมฤทธิ์กับสารประกอบโพลีฟีนอลที่มีอยู่ในขิง ทำให้เกิดเป็นพิษต่อเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น (Casey and Condon, 2002)

เมื่อเป็นผลิตภัณฑ์ขิงคงพบว่าความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อลดลงอย่างมาก เนื่องจากสารสกัดจากขิงคงจะแสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อ ได้เมื่อใช้ระดับความเข้มข้นของตัวอย่าง 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรและมีขนาดไซนไฮสเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนอื่นๆในระหว่างการแปรรูปขิงคง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณสารโพลีฟีนอลในขิงคงทดลองที่มีปริมาณสารน้อย จึงทำให้ผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อของขิงคงน้อยลงตามไปด้วย

ในการวิเคราะห์สมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph.aureus* ของสารสกัดที่ได้จากกระบวนการแปรรูปขิงผง จาก 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขิงแก่ปอกเปลือก ขิงผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์และขิงผง รวมทั้งจากตัวอย่างขิงแก่ที่ยังไม่ปอกเปลือกซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตขิงผง แสดงผลดังตารางที่ 4.8 จากการทดลองพบว่าขิงแก่ที่ยังไม่ปอกเปลือกกับขิงแก่ปอกเปลือกแสดงผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อโดยเริ่มเกิดไซนไฮสที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน คือ 25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรและขนาดไซนไฮสที่เกิดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน คือ ขิงแก่ไม่ปอกเปลือกมีค่าเท่ากับ 9.50 มิลลิเมตร และขิงแก่ปอกเปลือก มีค่าเท่ากับ 9.70 มิลลิเมตร แต่เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นไป พบว่าขิงที่ยังไม่ปอกเปลือกจะแสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีกว่าขิงแก่ปอกเปลือก จะเห็นได้จากขนาดไซนไฮสที่เกิดขึ้นมีขนาดกว้างกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากการปอกเปลือกทำให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลที่อยู่บริเวณเปลือกคิดออกไปบางส่วนจึงทำให้ปริมาณสารโพลีฟีนอลในขิงแก่ปอกเปลือกลดลงส่งผลให้การยับยั้งการเจริญของเชื้อลดลงเล็กน้อยตามไปด้วย

ในขั้นตอนการแช่ขิงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ พบว่าส่งผลให้การยับยั้งการเจริญของเชื้อดีขึ้นด้วย จะเห็นจากระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่เริ่มเกิดไซนไฮส คือ 12.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และขนาดของไซนไฮสที่ทุกระดับความเข้มข้นมีขนาดกว้างกว่าในตัวอย่างขิงแก่ไม่ปอกเปลือก ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์เป็นสารถนอมอาหาร (preservative) ที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ เนื่องจากมีสารซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบซึ่งมีผลรบกวนผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Roller *et al.*, 2002) จากรายของ Joseph และ Akinyosoye (1997) พบว่าสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ที่ระดับเข้มข้น 0.2% สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph.aureus* และ *E.coli* ได้ ดังนั้นในขิงที่แช่โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ 0.2 % ก่อนอบแห้งอาจทำให้สารสกัดที่ได้จากขั้นตอนนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์คงอยู่ จึงช่วยเสริมฤทธิ์ให้มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้มากขึ้น รวมทั้งจากการวิเคราะห์

ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่ได้จากขิงในขั้นตอนนี้ พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น และการที่ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นก็จะส่งผลให้การยับยั้งเชื้อได้ดีขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากสารประกอบโพลีฟีนอลจะมีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์โดยการเข้าไปจับกับสารประกอบโลหะทำให้โปรตีนภายในเซลล์ตกตะกอน เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถแบ่งเซลล์ต่อไปได้ เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์จึงตายในที่สุด(Oonmettra – aree *et al.*, 2005)

สำหรับผลิตภัณฑ์ขิงผงผลของการยับยั้งการเจริญของเชื้อจะเริ่มเกิดโชนใสที่ระดับความเข้มข้น 12.5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรขึ้นไป ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อของขิงผงมีค่าใกล้เคียงกับสารคลอแรมฟินิคอล (chloramphenicol 30 ไมโครกรัม) ที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุม (control) ทั้งนี้อาจเนื่องจากขิงผงได้ผ่านความร้อนจากกระบวนการแปรรูปในขั้นตอนการทำแห้ง ทำให้สามารถสกัดสารประกอบโพลีฟีนอลและสารต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบในขิงออกมาได้ง่าย (Kim *et al.*,2006) ซึ่งในกลุ่มของสารประกอบต่างๆ นี้่าจะมีฤทธิ์ในการทำลายหรือยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดี ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้จึงอาจทำให้สารสกัดที่ได้จากขิงผงมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph. aureus* ของสารสกัดจากขิงในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการแปรรูปขิงผง ตัวอย่าง ขนาดไซนไส(มิลลิเมตร)รวมหลุมเจาะเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร

	ระดับความเข้มข้นของสารสกัด (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)					
	200	100	50	25	12.5	6.25
ขิงแก่ไม่ปอกเปลือก	17.33 ± 0.29	15.08 ± 0.14	13.25 ± 0.25	9.65 ± 0.90	-	-
ขิงแก่ปอกเปลือก	16.33 ± 0.58	14.17 ± 0.76	12.17 ± 1.04	9.70 ± 0.48	-	-
ขิงแก่แช่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์	17.83 ± 0.52	15.67 ± 1.04	14.33 ± 0.25	13.25 ± 0.66	11.65 ± 0.79	-
ขิงผง	20.25 ± 0.25	18.22 ± 0.60	15.42 ± 0.14	13.21 ± 0.25	11.58 ± 0.80	-

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ขนาดไซนไส positive control (chloramphenicol) = 19.45 ± 0.86 mm. , ethanol 70% = 10 mm.

- = ไม่เกิดไซนไส

สำหรับสารสกัดที่ได้จากผลิตภัณฑ์ขิงคองและขิงผง พบว่าสารสกัดที่ได้จากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภทมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Staph.aureus* ได้ในระดับหนึ่ง ดังแสดงผลในตารางที่ 4.9 โดยที่ขิงคองทั้งสามตัวอย่างที่ได้จากท้องตลาดพบว่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่ทำให้เกิดโซนใส คือ 25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ส่วนขิงคองทดลองพบว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดโซนใสอยู่ที่ระดับ 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสกัดจากขิงคองทดลองมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดอยู่น้อย ดังนั้นฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph.aureus* จึงน้อยตามไปด้วย ซึ่งต้องใช้ความเข้มข้นของสารสกัดในปริมาณสูงจึงจะสามารถยับยั้งเชื้อได้ จะเห็นได้ว่าในขิงคองแต่ละยี่ห้อแสดงผลในการยับยั้งเชื้อ *Staph.aureus* ได้ผลที่แตกต่างกันไปซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่วิเคราะห์ได้

ในผลิตภัณฑ์ขิงผงสารสกัดที่ได้จะเป็นสารสกัดที่บริสุทธิ์ไม่มีองค์ประกอบของสารอื่นปนอยู่ด้วย จึงพบว่าตัวอย่างขิงผงทั้ง 3 ตัวอย่างมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Staph.aureus* ได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ขิงคองจะเห็นได้จากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใสในแต่ละความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบจะมีขนาดกว้างกว่า เมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรของสารสกัดจากตัวอย่างขิงผงและขิงคอง พบว่าสารสกัดจากขิงผงจะเกิดโซนใสที่มีขนาดกว้าง คืออยู่ในช่วง 20-22 มิลลิเมตร ขณะที่สารสกัดจากขิงคองขนาดโซนใสมีความกว้างอยู่ในช่วง 12-15 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph. aureus* จากสารสกัดจากขิงที่ได้ผลิตภัณฑ์ขิงที่ผลิตที่จังหวัดน่านและเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขิงที่ได้จากการทดลอง

ตัวอย่าง	ขนาดไซนไส(มิลลิเมตร)รวมหุ้มน้ำจะเสี้ยนผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร					
	200	100	50	25	12.5	6.25
ผลิตภัณฑ์ขิงคอง						
แมงจินต์	15.88 ± 0.93	13.08 ± 0.95	11.92 ± 0.72	10.75 ± 1.09	-	-
จุฬารักษ์	16.17 ± 0.71	13.92 ± 0.80	12.00 ± 0.90	10.00 ± 0.50	-	-
สองฝั่ง	18.25 ± 0.75	15.42 ± 1.01	13.50 ± 0.50	11.95 ± 0.84	-	-
ขิงคองทดลอง	12.98 ± 0.48	-	-	-	-	-
ผลิตภัณฑ์ขิงผง						
ครามือที่1	22.33 ± 0.76	20.00 ± 0.50	17.50 ± 1.32	15.97 ± 0.80	13.50 ± 0.50	9.55 ± 0.58
จินเจน	21.53 ± 0.84	18.17 ± 0.58	14.88 ± 0.89	12.87 ± 0.38	10.18 ± 1.05	-
ขิงผงทดลอง	20.56 ± 0.62	17.58 ± 0.88	14.30 ± 1.15	12.77 ± 0.32	10.27 ± 0.75	-

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

positive control (chloramphenicol) = 19.45 ± 0.86 mm., citric acid 0.5% = 9 mm, salt solution 10% = -, ethanol 70% = 10 mm.

- = ไม่เกิดไซน

4.2.2 สมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* JM109 ของสารสกัดจากขิง

ในการศึกษาการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* จะใช้ตัวอย่างสารสกัดจากขิงที่ได้จากการแปรรูปขิงคองและขิงผงเช่นเดียวกับการทดสอบเชื้อ *Staph.aureus* ในกระบวนการแปรรูปขิงคอง พบว่าสารสกัดจากขิงในแต่ละขั้นตอนการผลิตขิงคองจะให้ผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ได้น้อยเมื่อเทียบกับผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph.aureus* ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.10 ซึ่งเริ่มต้นด้วยขิงอ่อนที่ไม่ปอกเปลือกจะเริ่มแสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แต่เมื่อผ่านการปอกเปลือกแล้วผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อจะลดลง คือจะเริ่มเกิดโซนใสที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

เมื่อผ่านการแช่เกลือขิงที่ได้จะแสดงผลการยับยั้งเชื้อไม่เปลี่ยนแปลงจากขิงที่ปอกเปลือกคือ เริ่มเกิดโซนใสที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และขนาดโซนใสไม่แตกต่างกัน คือ ขิงอ่อนปอกเปลือก มีค่าเท่ากับ 10.50 มิลลิเมตร และขิงแช่เกลือ มีค่าเท่ากับ 10.17 มิลลิเมตร ทั้งนี้จะเนื่องจากสารสกัดขิงในขั้นตอนนี้มีปริมาณเกลือปนอยู่สูง ทำให้ปริมาตรสารประกอบโพลีฟีนอลมีปริมาณน้อยตามไปด้วยและอีกสาเหตุหนึ่งคือ เกลือเป็นสารที่มีสมบัติในการทำให้เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดเล็กรอดได้ดีขึ้น และจากการทดลองของ Casey และ Condon (2002) พบว่าการเติมสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงในอาหารเหลวTSB ตั้งแต่ 0.5 % ขึ้นไปจะช่วยทำให้เซลล์ของเชื้อ *E.coli* เล็กรอดจากการทำลายของสารละลายกรดที่ระดับ pH 4.20 ได้ ดังนั้นการที่สารสกัดจากขิงที่ได้จากขั้นตอนการแช่เกลือที่ความเข้มข้น 10% (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จึงอาจจะส่งผลทำให้การยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้น้อยลง เนื่องจากสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 10% ช่วยทำให้เซลล์ของเชื้อ *E.coli* เล็กรอดได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดสอบโดยใช้สารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 10% เป็นตัวอย่างควบคุม พบว่าสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นนี้ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากเชื้อ *E.coli* สามารถทนต่อสารละลายเกลือได้มากกว่า 8% ขึ้นไป (Hajmeer *et al.*,2006)

เมื่อถึงขั้นตอนการล้างเกลือออกแล้วนำขิงไปแช่ในกรดซิตริก พบว่าขิงที่ได้แสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีขึ้น คือ เริ่มเกิดโซนใสตั้งแต่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรเท่ากัน พบว่าขนาดโซนใสของสารสกัดจากขิงที่แช่กรดซิตริกมีขนาดความกว้างกว่าตัวอย่างขิงที่ได้จากแต่ละขั้นตอน คือ มีค่าเท่ากับ 13.00 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากขิงที่แช่กรดซิตริกทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงขึ้นจากที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงอาจส่งผลให้การยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ค่า pH ของสารสกัดที่ได้จากขั้นตอนการแช่กรดก็อาจจะมีผลในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ร่วมด้วย จะเห็นจากตัวอย่างควบคุมที่ใช้กรดซิตริกที่ 0.5% จะเกิดโซนใสที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ซึ่งเชื้อ *E.coli* ส่วนมากแล้วจะไม่ทนต่อสภาพที่เป็นกรด(Brul and Coote,1999 ; Casey and Condon, 2002)

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* ของสารสกัดจากขิงในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการแปรรูปขิงคอง

ตัวอย่าง	ขนาดไซนไส(มิลลิเมตร)รวมกลุ่มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร.					
	200	100	50	25	12.5	6.25
ขิงอ่อนไม่ลอกเปลือก	11.67 ± 0.52	10.33 ± 0.52	-	-	-	-
ขิงอ่อนลอกเปลือก	10.50 ± 0.84	-	-	-	-	-
ขิงอ่อนแช่เกลือ	10.17 ± 0.41	-	-	-	-	-
ขิงอ่อนแช่กรดซิตริก	13.00 ± 0.63	11.17 ± 0.75	9.17 ± 0.98	-	-	-
ขิงคอง	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ขนาดของไซนไส positive control (chloramphenicol) = 15.50 ± 0.87 mm. , citric acid 0.5% = 9 mm , salt solution 10% = -, ethanol 70% = 9 mm.

- = ไม่เกิดไซนไส

เมื่อเป็นผลิตภัณฑ์จึงคงพบที่ไม่แสดงผลการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ทุกระดับความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบ เนื่องจากสารสกัดที่ได้จากจิงคองทดลองมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลน้อย ถึงแม้ว่าสารสกัดที่ได้จะมีค่า pH ต่ำคือ 3.27 ก็ไม่ได้ช่วยเสริมฤทธิ์ของสารสกัดให้แสดงผลการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้แต่อย่างใด ทั้งนี้เพราะว่าเชื้อ *E.coli* เป็นเชื้อที่มีความทนต่อการทำลายของสารต่างๆ ได้ดี

สำหรับสารสกัดจากจิงที่ได้จากขั้นตอนการผลิตจึงแสดงผลในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้น้อย ดังแสดงผลในตารางที่ 4.11 ต้องใช้ความเข้มข้นของสารสกัดที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 100 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตรขึ้นไปจึงจะเกิดโซนใส ยกเว้นจิงที่แช่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ พบว่าโซนใสจะเกิดที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งแสดงว่าสารสกัดจากจิงในช่วงนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ได้ดีกว่าตัวอย่างสารสกัดที่ไม่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ผลเนื่องจากสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์เป็นสารที่มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบได้และมีสารประกอบซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบซึ่งสารซัลไฟด์จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่ได้จากสารสกัดจากจิงในขั้นตอนนี้มีปริมาณที่สูง จึงอาจจะช่วยให้จิงที่แช่โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์แสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีขึ้น

เมื่อเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดที่ 50 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรจึงไม่แสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อเมื่อเปรียบเทียบกับจิงที่แช่โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ก็ตาม แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ความเข้มข้น 100 และ 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร พบว่าจิงจะมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีกว่าจิงที่แช่โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ เนื่องจากขนาดโซนใสที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันมีขนาดกว้างกว่า แสดงว่าจิงมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเชื้อของเชื้อได้ดีขึ้นนั่นเอง จากการทดลองของ Ekwenye และ Elegalam (2005) พบว่าสารสกัดจากจิงที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่แสดงผลการยับยั้งเชื้อ *E.coli* อยู่ที่ 75 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัด 1,000 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จะให้ขนาดโซนใส 9.00 มิลลิเมตร แต่ในขณะที่เดียวกัน Oonmettra - aree และคณะ (2005) ได้ทำการทดสอบการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ของสารสกัดจากจิงด้วยวิธี agar disc diffusion method พบว่าไม่แสดงผลการยับยั้งเชื้อแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* ของสารสกัดจากพืชในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการแปรรูปจึงผง

ตัวอย่าง	ขนาดไซโนไล (มิลลิเมตร)รวมหลุมเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร					
	200	100	50	25	12.5	6.25
จึงแก่ไม่ปกเปลือก	12.50 ± 0.55	10.00 ± 0.00	-	-	-	-
จึงแก่ปกเปลือก	12.17 ± 0.41	9.50 ± 1.05	-	-	-	-
จึงแก่แท่นสารละลายไซเดียมเมตาไบซัลไฟด์	13.33 ± 0.52	11.50 ± 1.22	9.83 ± 0.75	-	-	-
จึงผง	14.33 ± 1.03	12.00 ± 0.63	-	-	-	-

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ขนาดไซโนไล positive control (chloramphenicol 30 µg / ml.) = 15.50 ± 0.87 mm. , ethanol 70% = 9 mm.

- = ไม่เกิดไซโนไล

การทดสอบความไวของเชื้อ *E.coli* ที่มีต่อสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ขิง 2 ชนิด ได้แก่ ขิงคอง และขิงผง พบว่าขิงคองจากท้องตลาด แสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ได้น้อยมากดัง แสดงในตารางที่ 4.12 โดยขิงคองยี่ห้อสองฝั่งและจุฬารักษ์สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีต่อ เมื่อใช้ความเข้มข้นตั้งแต่ 200 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรขึ้นไป โดยมีขนาดโซนใส 13.50 มิลลิเมตร และ 11.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่ขิงคองยี่ห้อแม่จินต์และขิงคองทดลอง พบว่าทุกระดับความเข้มข้น ของสารสกัดที่ใช้ทดสอบจะไม่เกิดโซนใสหรือไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *E.coli* ทั้งนี้เนื่องจาก ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลที่วิเคราะห์ได้มีอยู่ในปริมาณน้อย

ส่วนผลิตภัณฑ์ขิงผง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องเทศและเป็นวัตถุดิบในการ สกัดน้ำมันหอมระเหยและสารสกัด พบว่าสารสกัดที่ได้จากขิงผงทั้ง 3 ตัวอย่าง คือ ยี่ห้อตรามือที่ 1 จินเจน และขิงผงทดลองสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ได้ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 100 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรขึ้นไป โดยมีโซนใส คือ 10.83, 10.50 และ 12.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ ถึงอย่างไร ก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า สารสกัดจากขิงมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* ได้น้อย มาก ซึ่งจากรายงานของ Takikawa และคณะ(2002) พบว่าการทดสอบสารสกัดจากขิงที่ระดับความ เข้มข้นในช่วง 0.001-0.1% โดยวิธี broth dilution ทุกความเข้มข้นไม่แสดงผลการยับยั้งเชื้อ *E.coli* แต่อย่างใด

จากการศึกษาสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิดคือ *Staph.aureus* และ *E.coli* จากสารสกัดจากขิงพบว่าเชื้อ *Staph.aureus* จะมีความไวต่อสารสกัดจากขิงมากกว่าเชื้อ *E.coli* ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างเซลล์ของเชื้อแกรมบวกและแกรมลบมีความแตกต่างกัน ซึ่งที่ผนัง เซลล์ของแบคทีเรียทั้งสองประเภท จะมีส่วนประกอบของ peptidoglycan โดยที่แบคทีเรีย แกรมบวกจะมีชั้นนี้หนากว่าแกรมลบ แต่ในแบคทีเรียแกรมลบจะมีชั้นของ lipopolysaccharide เป็น องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกทำให้มีการควบคุมการเข้าออกของสารต่างๆ ได้อย่างแข็งแรง (Smith *et al.*, 1998 ;Tongson, 2005) ดังนั้นการที่สารต่างๆ เข้าสู่เซลล์ของเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ จึงค่อนข้างยากทำให้เซลล์ของเชื้อแบคทีเรียแกรมลบไม่ถูกรบกวนจึงทำให้มีความไวต่อสารสกัดที่ ใช้ทดสอบน้อย ซึ่งในแบคทีเรียแกรมบวกจะไม่มีชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีส่วนประกอบของชั้น lipopolysaccharide ทำให้สารต่างๆ เข้าสู่เซลล์ได้ง่ายกว่า โดยทั่วไปแล้วสารสกัดจากพืชจะมีสาร ประกอบโพลีฟีนอลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการยับยั้งหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์จะมีกลไกการ เข้าทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยที่สารประกอบฟีนอลจะทำให้โปรตีนที่อยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ เสียสภาพไป เริ่มจากที่เข้าไปทำให้ระบบควบคุมการเข้า - ออกของสารที่ที่บริเวณผนังเซลล์ทำงาน ผิดปกติทำให้สารเข้าสู่เซลล์ได้ จากนั้นเซลล์จะเกิดการบวมและแตก สารประกอบฟีนอลจะรวมตัว กับสารประกอบโลหะเข้าไปแข่งจับกับตำแหน่ง metabolic enzyme ทำให้เอนไซม์ภายในเซลล์ แบคทีเรียทำงานได้ช้าลง กระบวนการเมตาบอลิซึมและการแบ่งตัวจะช้าลงตามไปด้วย และทำให้ เซลล์ของแบคทีเรียตายในที่สุด ซึ่งกลไกที่กล่าวมานี้อาจจะเป็นวิธีหนึ่งในอีกหลายวิธีในการเข้า

ทำลายเชื้อแบคทีเรียของสารประกอบในกลุ่มฟีนอล (Cowan *et al.*, 1999 ; Chandarana *et al.*, 2005 ; Karou *et al.*, 2005)

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* จากสารสกัดจากขิงที่ได้จากผลิตภัณฑ์ขิงที่ผลิตในทางการค้าและเปรียบเทียบ
ผลิตภัณฑ์ขิงที่ได้จากการทดลอง

ตัวอย่าง	Inhibition zone(มิลลิเมตร)รวมหลอดเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร					
	ระดับความเข้มข้นของสารสกัด (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)					
	200	100	50	25	12.5	6.25
ผลิตภัณฑ์ขิงทอง						
แมงจินต์	-	-	-	-	-	-
สองฝั่ง	13.50 ± 1.05	-	-	-	-	-
จุฬารามณ์	11.00 ± 0.63	-	-	-	-	-
ขิงคองทดลอง	-	-	-	-	-	-
ผลิตภัณฑ์ขิงผง						
ตราเมือที่1 (ง่วนฮุน)	14.00 ± 0.89	10.83 ± 0.98	-	-	-	-
จินเจน	13.17 ± 0.75	10.50 ± 0.84	-	-	-	-
ขิงผงทดลอง	14.33 ± 1.03	12.00 ± 0.63	-	-	-	-

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

ขนาดของไซนไนโซ positive control (chloramphenicol) = 15.50 ± 0.87 mm. , citric acid 0.5% = 9 mm , salt solution 10% = -, ethanol 70% = 9 mm.

- = ไม่เกิดไซนไนโซ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. จิงแก่จะมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงกว่าในจิงอ่อน ดังนี้จิงแก่ปอกเปลือก มีค่า 17.56 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง ส่วนจิงอ่อนปอกเปลือก มีค่า 14.45 มิลลิกรัมกรดแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง ในการปอกเปลือกจิงทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงทั้งในจิงอ่อนและจิงแก่ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของทั้งจิงอ่อนและจิงแก่ที่ไม่ปอกเปลือกมีค่าไม่แตกต่างกันแต่เมื่อทั้งจิงแก่และจิงอ่อนปอกเปลือกพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของจิงทั้งสองชนิดลดลง

2. เมื่อนำจิงอ่อนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จิงคองจะทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดลดลงเป็นอย่างมาก คือ จาก 14.45 เป็น 8.59 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง หรือลดลงประมาณ 59.37% จากจิงอ่อนปอกเปลือก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงเช่นเดียวกันคือ จาก 89.07 เป็น 81.27% (เมื่อคำนวณจากปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ) ส่วนในการแปรรูปจิงแก่เป็นจิงผงพบว่าจะทำให้ปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดสูงขึ้น คือ จาก 17.56 เป็น 45.41 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง แต่ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจะค่อนข้างคงที่ คือมีค่าประมาณ 83%

3. ในผลิตภัณฑ์จิงคองจากท้องตลาด จำนวน 3 ยี่ห้อ เมื่อเปรียบเทียบกับจิงคองทดลองพบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดมีความแตกต่างกัน คือมีค่าอยู่ในช่วง 8.59 – 24.59 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อยู่ในช่วง 81.27 – 90.50% (เมื่อคำนวณจากปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ) ส่วนผลิตภัณฑ์จิงผงจากท้องตลาด จำนวน 2 ยี่ห้อ เมื่อเปรียบเทียบกับจิงผงทดลอง พบว่าปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมด อยู่ในช่วง 7.97 – 45.41 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ อยู่ในช่วง 81.65 – 83.34% (เมื่อคำนวณจากปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดเท่ากันในการทดสอบ)

4. สำหรับผลทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากจิง พบว่าในจิงแก่และจิงอ่อนสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งเชื้อ *Staph. aureus* และ *E.coli* แต่จะแสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph. aureus* ได้ดีกว่า *E.coli* ในจิงอ่อนเมื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จิงคองพบว่าความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Staph. aureus* ลดลง และไม่แสดงผลการยับยั้งต่อเชื้อ *E.coli* แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนจิงแก่เมื่อแปรรูปเป็นจิงผงพบว่าสารสกัดที่ได้จะแสดงผลการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staph. aureus* ได้ดีขึ้นและยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ส่วนผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ขิงคองและขิงผงท้องตลาดจะแสดงผลในทำนองเดียวกันกับขิงคองและขิงผงที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้พบว่าขิงมีสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้มากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ อย่างไรก็ตาม สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากขิงจะผันแปรไปตามปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พันธุ์ ฤดูกาล แหล่งเพาะปลูก อายุการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา กรรมวิธีการผลิต เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของขิงที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขิงคองและขิงผงทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากมีปัจจัยต่างๆที่ไม่ใช่ปัจจัยที่เกิดจากการแปรรูปเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยเฉพาะการแปรรูปขิงคอง ซึ่งจะมีการเติมสารเข้าไปในแต่ละขั้นตอนการแปรรูป เช่น เกลือ น้ำตาล และกรดซิตริก เป็นต้น เมื่อสกัดสารออกมาแล้วทำให้สารเหล่านี้เจือปนออกมามีผลต่อการวิเคราะห์ผลเป็นอย่างมาก

2. ประโยชน์จากการศึกษาสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและสมบัติการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์จากสารสกัดจากขิงในงานวิจัยฉบับนี้ จะเห็นว่าขิงเป็นพืชที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้าง นอกจากการบริโภคเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพในการรักษาหรือป้องกันโรคแล้วยังสามารถนำสารสกัดมาใช้เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น *Staph. aureus* ในผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้ ซึ่งสารสกัดจากขิงจะสามารถยับยั้งได้เป็นอย่างดี จะได้เป็นแนวทางส่งเสริมให้คนไทยหันมาใช้พืชสมุนไพรในประเทศให้มากขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร.2525. ชิง. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 6 งานทะเบียนและประมวลสถิติ กองแผนงาน. ถนนอมศรี วงศ์รัตนาสถิต. 2538. เอกลักษ์ณ์สมุนไพโร. ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ธงชัย เนมขุนทด. มปป. การปลูกชิง. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน กรุงเทพมหานคร. 71 หน้า.
- นवलศรี รักอริยะธรรม และ อัญชญา เชนวิธิสุข. 2545. แอนติออกซิแดนที่สารต้านมะเร็งในผัก – สมุนไพโรไทย. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิจศิริ เรืองรังสี. 2542. เครื่องเทศ. พิมพ์ครั้งที่3. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 206 หน้า.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพมหานคร. 504 หน้า.
- มาลิน จุลศิริ. 2540. ยาต้านจุลชีพ. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- พิชญ์ออร์ ไหมสุทธิสกุล. 2547. ศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระและการตรวจประเมินกิจกรรมการเป็น สารต้านอนุมูลอิสระของสารจากพืช. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 24 :18 – 35.
- พิทยา สรวมศิริ. 2529. พืชเครื่องเทศ. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ .
- ลินจง สุขล้าภู. 2545. การใช้ความร้อนต่ำร่วมกับสารสกัดชิงในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ในน้ำส้ม. รายงานการวิจัย. ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. วารสารอาหาร. 32(4) : 245 – 253.
- วัลยา เนาวรัตน์วัฒนา และ พัทรี บุญศิริ . 2542. วารสารวิทยาศาสตร์. 196 - 198
- สมพร ภูதியานันต์ 2542. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการแพทย์แผนไทยว่าด้วยสมุนไพโรกับการแพทย์แผนไทย. ภาควิชาเภสัชเวช คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 3. โครงการพัฒนาดารา สถาบันแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 389 หน้า.
- สุนทรี วราอุบล กมลพร ปัญญาภาโส และ เพ็ญศิริ อัสวศิริทรัพย์. 2548 ประสิทธิภาพในการเป็น สารแอนติออกซิแดนที่ของชาเขียวและเครื่องเทศบางชนิดในเนื้อหมูปดปรุงสุก. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- เสาวนิตย์ ดาวรัตน์ชัย. 2545. ชิงแก้ไอเจียน. จุลสารข้อมูลสมุนไพโร 20 :4 –12.
- อรนุช โชคชัยเจริญพร. 2536. ชิง . จุลสารข้อมูลสมุนไพโร 10 :16 –21

- อัญญา ศรีสุวรรณ. 2546. ผลของน้ำสกัดกระเทียม น้ำมันหอมระเหยขิง และน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่อการลดเชื้อ *E.coli* และ *Staph. aureus* ในหลอดทดลอง. สัมมนา 2 โครงการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Akoachere, J.F.T.K., Ndip, R.N., Chenwi, E.B., Ndip, L.M., Njock, T.E. and Anong, D.N. 2002. Antibacterial effects of *Zingiber officinal* and *Garcinia kola* on respiratory tract pathogens. *East Afr. Med. J.* 11:588-592.
- Arora, D. S. and Kaur, J. 1999. Antimicrobial activity of spices. *Int. J. Antimicrob. Agent.* 12 : 257-262
- Aruoma, O.I., Spencer, J.P.E., Warren, D., Jenner, P., Butler, J. and Halliwell, B. 1997. Characterization of food antioxidants , illustrated using commercial garlic and ginger preparations. *Food Chemistry.* 60 : 149 -156
- Azian, M.N., Mustafa Kamal, A.A. and Azlina, M.N. 2004. Changes of structure in ginger during processing. *J. Food Engineering.* 62 : 359 – 364.
- Belewu, M.A., Belewu, K.Y. and Nkwunonwo, C.C. 2005. Effect of biological and chemical preservatives on the shelf life of West African soft cheese. *Afr. J. Biol.* 4 : 1076-1079.
- Brand- Williams,W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of Free Radical Method of Evaluate Antioxidant Activity. *LWT.* 28 : 25 –30.
- Brul, S., Coote, P.1999. Preservative agent in food Mode of action and microbial resistance mechanisms. *Int. J. food Microbiol.* 50:1-17
- Casey, P.G. and Condon, S. 2002. Sodium chloride decreases the bacteriocidal effect of acid pH on *E.coli* O157:H45. *Int. J. food Microbiol.* 76 :199-206.
- Chanwitheesuk, A., Teerawutgulrag, A. and Rakriyatham, N. 2005. Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plant of Thailand. *Food Chemistry.* 92 :491:497.
- Chandarana, H., Baluja, S. and Chanda, S.V. 2005. Comparison of Antibacterial Activity of Selected Species of *Zingiberaceae* Family and Some Synthetic compounds. *Turk J. Biol.* 29: 83-97.
- Choi, Y., Lee, S.M., Chun, J., Lee, H.B. and Lee, J. 2006. Influence of heat on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitaka (*Lentnus edodes*) mushroom. *Food Chemistry.* 99 : 381-387.
- Chrubasik, S., Pittler, M.H. and Roufogalis, B.D. 2005. Zingberis rhizoma: A comprehensive review on the ginger effect and efficacy profiles. *Phytomedicine.* 12 : 684 – 701.

- Chun, S.S. , Vatter, D.A., Lin, Y.T. and Shetty, K. 2005. Phenolic antioxidant from clonal oregano (*Origanum vulgare*) with antimicrobial activity against *Helicobacter pylori*. *Process Biochemistry*. 40 : 809 – 816.
- Cowan, M.M. 1999. Plant product as Antimicrobial Agents. *Clin. Microbiol. Rev.*12 :564 –582.
- Ekweneye, U.N. and Elegalam, N.N. 2005. Antibacterial Activity of *Ginger (Zingiber officinale Roscoe)* and *Garlic (Allium Sativum L.)* Extracts on *Escherichia Coli* and *Salmonella typhi*. *Int. J. Mol. Med. Adv. Sci.* 1 : 411- 417.
- Evan, B.K., James, K.C. and Luscombe, D.K. 1978. Quantitative structure –activity relationships and caminative activity. *J. Pharm. Sci.* 67 –277.
- Ganguly, N.K., Medappa, N. and Srivastava, V.K. 2003. Ginger : its role in xenobiotic metabolism. *ICMR BULL.* 33 : 57 - 63.
- Goyal, R.K. and Korla, B.N. 1997. Changes in the fresh yield, dry matter and quality of ginger (*Zingiber officinale Rosc.*) rhizomes during development. *J. Food Sci. Technol.* 34 : 472 – 476.
- Hajmeer, M., Ceylan, E., Marsden, J.L., and Fung D.Y.C. 2006. Impact of sodium chloride on *Escherichia coli* O157 : H7 and *Staphylococcus aureus* analysed using transmission electron microscopy. *Food Microbiol.* 23 : 446 – 452.
- Hamama, A.A. and Nawar, W.W. 1991. Thermal decomposition of some phenolic antioxidant. *J. Agric. Food Chem.* 39 :1063 – 1069.
- Hinneburg, I., Dorman, H.J.D. and Hiltunen, R. 2006. Antioxidant activity of extracts from selected culinary herbs and spices. *Food Chemistry.* 97 : 122- 129.
- Hiserodt, R.D., Franzblau, S.G. and Rosen, R.T. 1998. Isolation of 6-,8-,and10-gingerol from ginger rizome by HPLC and Preliminary Evaluation of Inhibition of *Mycobacterium avium* and *Mycobacterium tuberculosis*. *J. Agric. Food Chem.* 46 : 2504 -2508.
- Ibrahim, S.A., Dhamavaram, S.R., Seo, C.W. and Shahbazi, G.2003. Antimicrobial Activity of *Bifidibacterium longum*(NCFB2259) as Influennced by spices. *Internet J. food safety.* 2 : 6-8.
- Jolad, S. D., Lantz, R.C., Solyom, A.M., Chen, G.J., Bates, R.B. and Timmermann, B.N. 2004. Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*): composition and effects on LPS – induced PGE₂ production. *Phytochemistry.* 65 : 1937 - 1954.

- Joseph, J.K. and Akinyosoye, F.A. 1997. Comparative Studies on Red Sorghum Extracts and Other Chemicals as Preservatives for West African Soft Cheese. *Int. Dairy Journal*. 7 : 193 – 198.
- Kalidas, S. and Wahlqvist, M. 2004. A mode for the role of the proline – linked pentose phosphate pathway in phenolic phytochemical biosynthesis and mechanism of action for human health and environmental applications. *Asia Pacific J. Clin. Nutr.* 13 : 1-24.
- Karou, D., Dicko, M.H., Simpore, J. and Traore, A.S. 2005. Antioxidant and antibacterial activity of polyphenolics from ethnomedicinal plant of Burkina Faso. *Afr. J. Biol.* 4 : 823-828.
- Kawai, T., Kinoshita, K., Koyama, K. and Takahashi, K. 1994. Anti – emetic principles of *Magnolia obovata* Bark and *Zingiber officinale* Rhizome. *Planta Med.* 60 :17-20.
- Kikuzaki, H. and Nakatani, N. 1993. Antioxidant effect of some ginger constituent. *J. Food Sci.* 58 :1407 –1410.
- Kim, S.Y., Jeong, S.M, Park, W. P., Nam, K.C., Ahn, D.U. and Lee, S.C. 2006. Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts. *Food Chemistry.* 97 : 472 – 479.
- Kosar, M., Dorman, H.J.D. and Hiltunen, R. 2005. Effect of an acid treatment on the phytochemical and antioxidant characteristics of extracts from selected Lamiaceae species. *Food Chemistry.* 91 : 525 – 533.
- Lance, R.P and Shonholtzer, C.J. 1992. Test for Bactericidal effects of Antimicrobial Agent: Technical Performance and Clinical Relevance. *Clin. Microbiol. Rev.* 420 – 432.
- Leuschner, R.G.K. and Zamparini, J. 2002. Effect of spice on growth and survival of *Escherichia coli* O157 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in broth model systems and mayonnaise. *Food Control.* 13 : 399-404.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C. and Jimenez, L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.* 79 : 727-747.
- Mansour, E. H. and Khalil, A. H. 2000. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their application to ground beef patties. *Food Chemistry.* 69 : 135 – 141.
- Matins, A.P., Salgueiro, L., Goncalves, M., Proenea da C.A., Vila, R., Canigüeral, S., Mazzone, V., Tomi, F. and Casanova, J. 2001. Essential oil composition and antimicrobial activity of three Zingiberaceae from S. Tome principle. *Planta Med.* 67 : 580- 584.

- Nagabhusanb, M., Amonkar, A.J. and Bhide S.V.1987. Mutagenicity of gingerol and shogaol and antimutagenicity of Zingerone in *Salmonella* microsome assay. *Cancer Lett.* 36 :221 – 233.
- Nanjo, F., Goto, K., Seto, R., Suzuki, M., Sakai, M. and Hara, Y. 1996. Scavenging effects of tea catechins and their derivatives on 1,1-diphenyl – picrylhydrazyl radical. *Free Rad. Biol. & Med.* 21 : 895-902.
- Onyeagba, R.A., Ugbogu, O.C., Okeke, C.U. and Iroakasi, O. 2004. Studies on the antimicrobial effects of garlic (*Allium sativum* Linn) ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and lime (*Citrus aurantifolia* linn).*Afr. J. Biotechnol.* 3 : 552-554.
- Oonmettra – aree, J., Suzuki, T., Gasaluck, P. and Eumkeb, G. 2005. Antimicrobial and action of galangal (*Alpinia galanga* Linn.) on *Staphylococcus aureus*. Available online at www.Sciencedirect.com.
- Parejo, J., Viladomat, F., Bastida, J., Rosas – Romero, A., Flerlage, N., Burllo, J. and Codina, C. 2002. Comparison between the radical scavenging activity and antioxidant activity of six distilled and nondistilled Mediterranean herbs and aromatic plants. *J. Agric. Food chem.* 50 : 6882 – 6890.
- Prasad, S.V., Gholap, A.S and Thomas, P. 2000. Estimation in fresh gingers : a new fluorimetric assay. *J. Food Comp. Anal.* 13 :219 – 225.
- Rehman, Z.U., Salariya, A.M. and Habib, F. 2003. Antioxidant activity of ginger extract in sunflower oil. *J. Sci. Food Agric.* 83 : 624 – 629.
- Roller, S., Sagoo, R., Mahony, T.O., Caplice, E., Fitzgerald, G., Fogden, M. and Fletcher, H. 2002. Novel combination of chitosan, carnocin and sulphite for the preservative of chilled pork sausages. *Meat Sci.* 62 : 165 –177.
- Perez, C., Pauli, M. and Bazerque, P. 1990. An antibiotic assay by the well agar method. *Acta Biologicae Medicine Experimentalis.* 15 : 113-115.
- Rossi, M., Giussani, E., Morelli, R., Lo Scalzo, R., Nani, R.C., and Torreggiani, D. 2003. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice . *Food Res. Int.* 36 : 999 – 1005.
- Sharma, S.S., Vochuphillai, V., Gupta, S.K. and Seth, S.D. 1997. Antiemetic efficacy of ginger *Zingiber officinale* against cisplatin induced emesis in dog. *J. Ethnopharmacol.* 57 : 93 – 96.

- Shobana, S. and Naidu, A. 2000. Antioxidant activity of selected Indian spices. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty acid*. 62 : 107 – 110.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J. and Fyfe, L. 1998. Antimicrobial properties of plant essential oil and essences against five important food – borne pathogens. *Lett. Appl. Microbiol.* 26 : 118 - 122.
- Surh, Y. J., Lee, E. and Lee, J.M. 1998. Chemoprotective properties of some pungent ingredient present in red pepper and ginger. *Mutation Res.* 402 : 259 – 267.
- Takikawa, A., Abe, K., Yamamoto, M. and Yokoigawa, K. 2002. Antimicrobial Activity of Nutmeg against *Escherichia coli* O157. *J. Biosci. Bioeng.* 94: 315-320.
- Tongson, C. 2005. Antimicrobial activity of Thai spices against foodborne pathogens. *The dissertation of Doctor degree*. Kasetsart University Thailand.
- Whittaker, J.R. 1994. Principle of enzymology for the food sciences. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc. New York. pp :543-555.
- Yamahara, J., Huang, Q., Li, Y., Xu, L. and Fujimura, H. 1990. Gastrointestinal motility-enhancing effect of ginger and its active constituents. *Chem. Pharm. Bull.* 38 : 430-431.
- Yen, G.C. and Hung, C.Y. 2000. Effects of alkaline and heat treatment on antioxidant activity and total phenolics of extracts from Hsian – tsao (*Mesona procumbens Hemsl.*). *Food Res. Int.* 33 : 487 – 492 .
- Yildirim, A., Mavi, A. and Kara, A.A. 2001. Determination of antioxidant and antimicrobial activity of *Rumex crispus L.* extracts. *J. Agric. Food Chem.* 49 : 4083 – 4089.
- Zancan, K.C., Marques, M.O.M., Petenate, A.J. and Meireles, M.A.A. 2002. Extraction of ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) oleoresin with CO₂ and co – solvents : a study of the antioxidant action of the extracts. *J. Supercritical Fluids.* 24 : 57 – 76.
- Zhang, X., Iwaoka, W.T., Huang, A.S., Nakamoto, S.T. and Wong, R. 1994. Gingerol Decreases after Processing and Storage of Ginger. *J. Food Sci.* 59 : 1338 – 1340.
- <http://commtechlab.msu.edu/site/dlc>
- www.doae.go.th/.../html/detail/jinsen/kingg.htm
- www.hpa.org.uk/.../images/staph_aureus.jpg
- www.microscopyconsulting.com/main.html
- www.yosemile.org/naturenote/image/E.coli.ipg

ภาคผนวก ก

**การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกและ
การหาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลิกทั้งหมด**

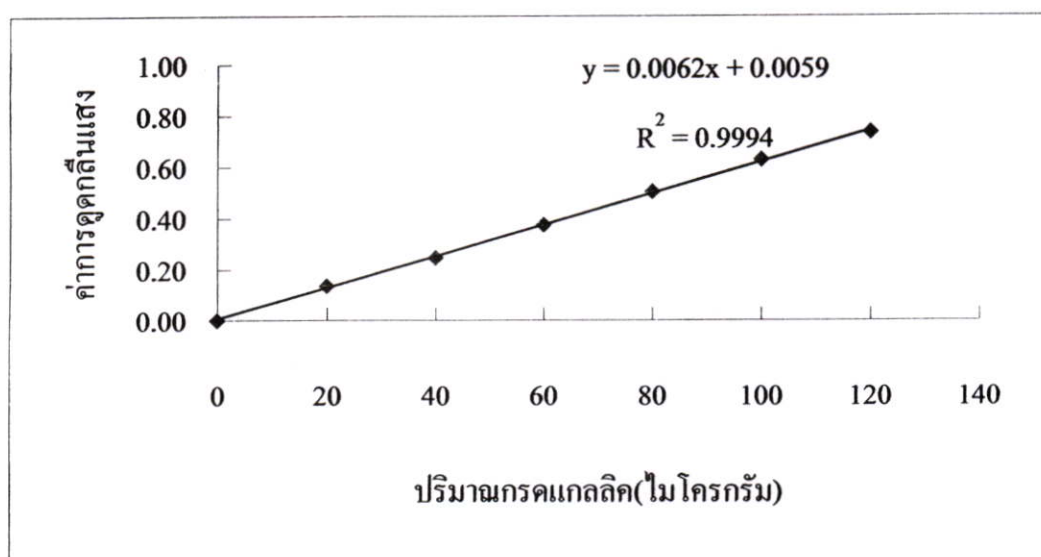
การเตรียมกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ความเข้มข้น 400 ไมโครกรัม / มิลลิลิตร โดยละลายกรดแกลลิก 0.0400 กรัม ในเอทานอล 95 % ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานที่ได้ใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 50 มิลลิลิตร ขวดละ 0 , 0.05, 0.1 ,0.15 ,0.2 , 0.25, 0.3 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้ปริมาตรในแต่ละขวดเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้ปริมาณของกรดแกลลิกในแต่ละขวดเท่ากับ 0 ,20 ,40 ,60, 80,100 และ 120 ไมโครกรัมตามลำดับ
3. นำขวด รูปชมพู่ทั้งหมดมาเติมสารละลาย Folin – Ciocalteu ขวดละ 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที
4. เติมสารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 10 % ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ทั้งหมดผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 730 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายจากขวดที่ 1 เป็น blank (กรณีที่ใช้สารละลายปฏิกิริยาขุ่นให้นำไปหมวนเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนออกก่อนการวัดค่าการดูดกลืนแสง)
6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตรกับปริมาณกรดแกลลิก

การคำนวณหาปริมาณโพลิฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดขิง

จากสมการกราฟมาตรฐาน $y = 0.0062x + 0.0059$ สามารถคำนวณหาปริมาณสารประกอบโพลิฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดได้ โดยการแทนค่าการดูดกลืนแสงเป็นตัวแปร y ในสมการแล้วคำนวณหาค่า x ซึ่งจะได้ปริมาณสารประกอบโพลิฟีนอลิกทั้งหมด

ปริมาณกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร
0	0
20	0.137
40	0.247
60	0.376
80	0.504
100	0.629
120	0.737



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

DPPH – scavenging activity assay

การวิเคราะห์การทำลายอนุมูลอิสระ DPPH

DPPH – scavenging activity assay

ในการทดสอบสมบัติการทำลายอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชันมีหลายวิธีด้วยกัน แต่มีวิธีหนึ่งที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วและไม่ยุ่งยาก นอกจากนี้ยังให้ผลการทดสอบที่เชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง นั่นคือวิธี DPPH free radical – scavenging activity assay

สาร 1,1-diphenyl – 1- picrylhydrazyl (DPPH) เป็นสารอนุมูลอิสระสังเคราะห์ เมื่อละลายในตัวทำละลายเมธานอลจะให้สีม่วงเข้มและดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร การวัดประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ทดสอบ จะอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อสารละลาย DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต้านออกซิเดชัน ดังปฏิกิริยาที่แสดงดังนี้



สารที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันจะให้ไฮโดรเจนอะตอมกับโมเลกุลของสารอนุมูลอิสระ DPPH ทำให้สีของสารอนุมูลอิสระจางลง การที่สีของสารละลายจางลงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระของสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งจะทำการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และจะวัดได้เมื่อการทำปฏิกิริยาของสารสิ้นสุดแล้ว นั่นคือ ค่าการดูดกลืนแสงจะคงที่ ซึ่งอาจใช้เวลาตั้งแต่ 10 นาที ถึง 6 ชั่วโมงก็ได้

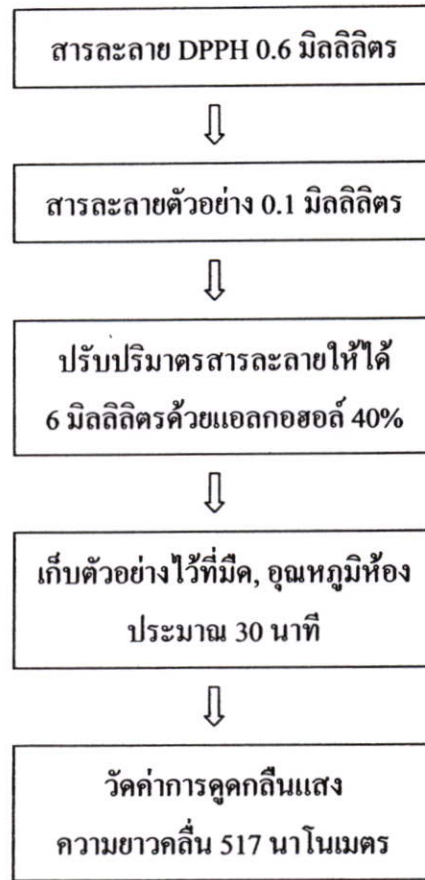
การเตรียมสาร

1. 0.8 mM DPPH

ชั่งสาร DPPH 0.0175 กรัม ละลายในตัวทำละลายแอลกอฮอล์ 95% จากนั้นปรับปริมาตรของสารละลายให้ได้ 50 มิลลิลิตร

2. แอลกอฮอล์ 40%

วิธีทดสอบ



สูตรคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (\%)} = 1 - (A_{\text{sample}} / A_{\text{control}}) \times 100$$

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง

A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายที่ใช้เป็นตัวควบคุม (control)

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างสารสกัดขิงอ่อนไม่ปอกเปลือก เตรียมจากวัตถุดิบน้ำหนัก 50 มิลลิกรัม ทำวัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารละลาย ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ได้ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ควบคุม $A_{\text{control}} = 0.901$

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (A_{sample}) ที่วัดได้ครั้งที่ 1 = 0.173

จากสูตร

$$\begin{aligned} \% \text{ การยับยั้ง (Inhibition)} &= \left[1 - (A_{\text{sample}} / A_{\text{control}}) \right] \times 100 \\ &= \left[1 - (0.173 / 0.901) \right] \times 100 \\ &= 80.79 \end{aligned}$$

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (A_{sample}) ที่วัดได้ครั้งที่ 2 = 0.179

$$\begin{aligned} &= \left[1 - (0.179 / 0.901) \right] \times 100 \\ &= 80.13 \end{aligned}$$

ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง (A_{sample}) ที่วัดได้ครั้งที่ 3 = 0.174

$$\begin{aligned} &= \left[1 - (0.174 / 0.901) \right] \times 100 \\ &= 80.68 \end{aligned}$$

ดังนั้นประสิทธิภาพในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดขิงอ่อนไม่ปอกเปลือก มีค่าเฉลี่ยคือ $(80.79 + 80.13 + 80.68) / 3 = 80.53 \pm 0.47\%$

ภาคผนวก ก

การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

การเตรียมอาหารเลี้ยง

Mueller Hinton agar (MHA)

Beef infusion	4.00	กรัม
Casein hydrolysate	17.50	กรัม
Starch	1.50	กรัม
Agar	15.00	กรัม
น้ำกลั่น	1.00	ลิตร
Final pH	7.4 ± 0.20	

วิธีการเตรียม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่นด้วยการต้มพร้อมทั้งกวนส่วนผสมอย่างสม่ำเสมอจนวุ้น (agar) ละลายหมด(ต้มจนเดือด) หรือต้มจนกระทั่งส่วนผสมทั้งหมดละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (อาหารเลี้ยงเชื้อจะใส) ถ่ายอาหารดังกล่าวลงในขวดที่มีจุกสำลีหรือฝาปิด นำเข้าฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
ในกรณีที่เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมสำเร็จแล้วเตรียมตามคำแนะนำที่ให้ไว้บนภาชนะบรรจุ

Mueller Hinton broth (MHB)

Beef infusion	4.00	กรัม
Casein hydrolysate	17.50	กรัม
Starch	1.50	กรัม
น้ำกลั่น	1.00	ลิตร
Final pH	7.40 ± 0.20	

วิธีการเตรียม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่นต้มจนเดือด ถ่ายอาหารดังกล่าวลงในขวดที่มีจุกสำลีหรือฝาปิด นำเข้าฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

Peptone water

Peptone	10.00	กรัม
น้ำกลั่น	1.00	ลิตร

วิธีการเตรียม

ละลายส่วนผสมทั้งหมดในน้ำกลั่นต้มจนเดือด ถ่ายอาหารดังกล่าวลงในขวดที่มีจุกสำลีหรือฝาปิด นำเข้าฆ่าเชื้อใน autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

ภาคผนวก ง

ค่าความชื้น ค่าความเป็นกรดด่าง และเปอร์เซ็นต์บรืกซ์ ในผลิตภัณฑ์จริง

ตารางที่ ง1 ค่าความชื้น ความเป็นกรดค่า (pH)และเปอร์เซ็นต์บrixในผลิตภัณฑ์ขิงคองและขิง
ผง

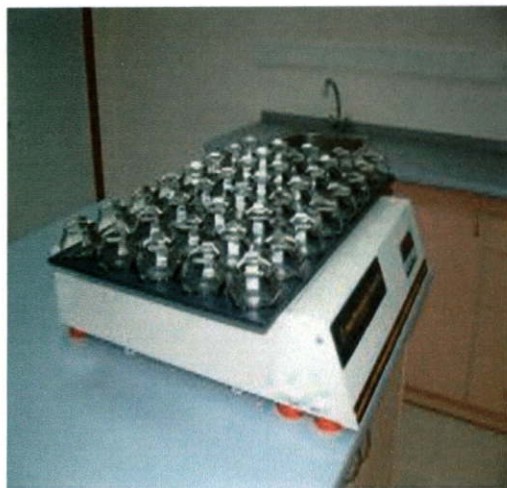
ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	pH	brix (%)
ขิงคอง			
แม่จินต์	81.70 ± 0.06	2.86 ± 0.18	22.20 ± 0.01
จุฑาภรณ์	89.61 ± 0.05	3.62 ± 0.04	6.20 ± 0.01
สองฝั่ง	92.45 ± 0.21	3.86 ± 0.07	4.00 ± 0.00
ขิงคองทดลอง	73.46 ± 0.10	3.27 ± 0.18	26.00 ± 0.20
ขิงผง			
จินเจน	8.25 ± 0.04	*	*
ครามือที่ 1	7.31 ± 0.15	*	*
ขิงผงทดลอง	7.97 ± 0.50	*	*

หมายเหตุ ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

* ไม่ได้ทำการทดสอบ

ภาคผนวก จ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ จ1 เครื่องเขย่า



ภาพที่ จ2 เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ



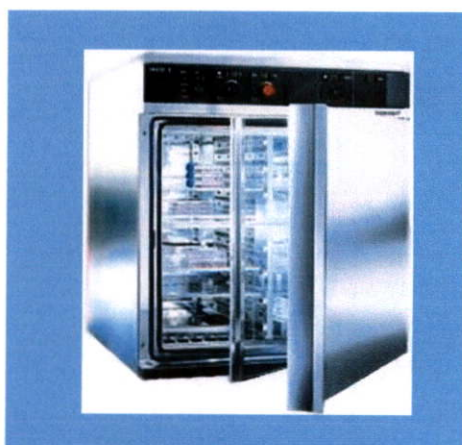
ภาพที่ จ3 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์



ภาพที่ จ4 ตู้บ่มร้อน



ภาพที่ จ5 ที่เจาะวุ้น (cork borer)



ภาพที่ จ6 ตู้บ่มเชื้อ



ภาพที่ จ7 หม้อนึ่งความดัน

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ เกิดวันที่ 12 สิงหาคม 2517 ที่จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต(วท.บ.) เกษตรศาสตร์ สาขาสัตวศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2539 และศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วท.ม.) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี พ.ศ. 2549