สารบัญ

บทที่ 1 6

บทนำ.....6

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา.....6
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 7
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....7

บทที่ 2 8

ทบทวนวรรณกรรม.....8

2.1 ขมิ้น (TURMERIC).....8
2.2 ชา (TEA).....14
2.3 การทำแห้ง.....22

บทที่ 3 34

วิธีการดำเนินการวิจัย.....34

3.1 วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....34
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....36

บทที่ 4 42

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล.....42

4.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมีของสมุนไพรสด 42
4.2 ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (WATER ACTIVITY; AW) และค่าสีของขมิ้นชัน หลังอบแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ.....44
4.3 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ 45
4.4 การศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของชาสด.....53
4.5 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ 55
4.6 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ 56
4.7 การวิเคราะห์พื้นที่ตอบสนอง (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY) ของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ 58

4.8 เปรียบเทียบคุณภาพคุณภาพขมิ้นชันอบแห้ง และ ชาเขียว ที่อบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ กับขมิ้นชันสด และ ใบชาสด.....63
บทที่ 5 65
สรุปผลการทดลอง 65
เอกสารอ้างอิง.....68
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี 74
ภาคผนวก ข มาตรฐานชาเขียว 82
ภาคผนวค ค ประวัติทีมนักวิจัย 96

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงสารประกอบที่สำคัญในใบชา และประโยชน์ต่อสุขภาพ.....20

ตารางที่ 3.1 กำลังไฟ (X_1) ของตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (X_2) ขมิ้นชัน.....37

ตาราง 3.2 กำลังไฟ (X_1) ของตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (X_2) ชาเขียว.....39

ตาราง 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันสด จากตลาดในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....43

ตาราง 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ.....45

ตาราง 4.3 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ.....48

ตาราง 4.4 REGRESSION MODELS ของการทดลองขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ.....48

ตาราง 4.5 คุณสมบัติทางเคมีของใบชาจีนสด จากโครงการหลวงขุนวาง อ.แม่วาง จังหวัดเชียงใหม่.....53

ตาราง 4.6 คุณสมบัติทางกายภาพของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ.....55

ตาราง 4.7 ปริมาณสาร TEA POLYOHENOLS ในชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ.....57

ตาราง 4.8 ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมดของชาเขียวที่เครื่องแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ.....58

ตาราง 4.9 REGRESSION MODELS ของการทดลองชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ.....59

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณสารฟินอกลิกทั้งหมด และ CURCUCMIN ของขมิ้นชันสด และขมิ้นชันอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ.....64

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณสารฟินอกลิกทั้งหมด และ TEA POLYPHENOLS ของชาเขียวสด และ ชาเขียวอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ.....64

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 ขมิ้นชันสด 8

รูปที่ 2.2โครงสร้างของเคอร์คูมิน (CURCUMIN).....11

รูปที่ 2.3 สวนชาในประเทศจีน.....16

รูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดทั่วไป 28

รูปที่ 3.1 กรรมวิธีการอบแห้งขมิ้นชัน 38

รูปที่ 3.2 แผนผังการผลิตชาเขียวอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ 40

รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมสารมาตรฐาน CURCUMIN ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC 43

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์แบบ RESPONSE SURFACE ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปร ค่าวอร์เตอร์แอ๊คติวิตี้ (A_W) และ ความชื้น (%) 49

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์แบบ RESPONSE SURFACE ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปร ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} ปริมาณฟินอลิกทั้งหมด 50

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์แบบ RESPONSE SURFACE ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปร ค่าปริมาณสาร CURCUMIN 51

รูปที่ 4.5 OPTIMIZATION POINT ของการอบขมิ้นชันด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ.....52

รูปที่ 4.6 ขมิ้นชันอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ 52

รูปที่ 4.7 โครมาโทแกรมสารสำคัญของใบชาจีนสดและ INTERNAL STANDARD (4-AMINO SALICYLIC ACID) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC 54

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์แบบ RESPONSE SURFACE ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปร ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ A_W และ ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50}.....60

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์แบบ RESPONSE SURFACE ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปร ปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมด.....61

รูปที่ 4.10 OPTIMIZATION POINT ของการอบชาเขียวด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ.....62

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบคุณภาพสีของชาเขียวอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ และ ชาเขียวอบแห้งด้วยวิธีดั่งเดิม (เตาอบลมร้อน) 63

รูปที่ 5.1 โมเดลแสดงผลกระทบของการใช้ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ ต่อ สมบัติทางกายภาพ (สี) และเคมี (สารฟีนอลิก) โดยการอบที่กำลังไฟฟ้าสูงเป็นระยะเวลานานสามารถยั้บยั้งเอ็มไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล ส่งผลให้ ขมิ้นชันอบแห้งมีสีสว่างขึ้น และมีสารฟีนอลลิกเพิ่มขึ้น.....66

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ในสภาวะของการแข่งขันด้านการแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์กำลังเป็นที่สนใจมากสำหรับผู้บริโภค ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับผลที่ได้จากการบริโภคหรืออุปโภคผลิตภัณฑ์ต่อสุขภาพเป็นสำคัญ ในทางอุตสาหกรรมเกษตรสิ่งหนึ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกสำหรับการพัฒนานั้น ก็คือ ตัวของวัตถุดิบ โดยเฉพาะสรรพคุณ ประโยชน์ที่จะเอื้อต่อสุขภา ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพทางเคมี กายภาพ หรือทางจุลินทรีย์ บวกกับกระบวนการที่ดี ก็จะทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นประสบความสำเร็จได้

ขมิ้นชันมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Curcuma longa Linn*. หรือ *C. domestica Valeton* วงค์ ZINGIBERACEAE เป็นไม้ล้มลุก สูง 50–70 เซนติเมตร ขมิ้นชันเป็นพืชเศรษฐกิจที่ใช้เป็นเครื่องเทศ โดยขายกันในรูปทั้งหัวหรือเป็นผง ใช้สำหรับแต่งรสอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ไข่ ผักดอง มัสตาร์ด เนย และเนยแข็ง ทำผงกะหรี่ นอกจากนี้ยังใช้ทำสีย้อมผ้า เครื่องหนัง ผ้าไหม ผ้าขนสัตว์ ผ้าฝ้าย และใยจากต้นปาล์ม ใช้ทำ Turmeric paperสำหรับตรวจแอลคาลอยด์ และกรดบอริค ในด้านสาธารณสุขมูลฐานขณะนี้ได้มีการทดลองใช้ขมิ้นชันในการรักษาโรคท้องอืดเฟ้อ และรักษาแผลในกระเพาะอาหาร จะเห็นได้ว่าขมิ้นชันมีประโยชน์ ทั้งเป็นยา เครื่องเทศ และทำสี ๖(นิรนาม, 2529) โดยในปัจจุบันประเทศไทยสามารถปลูกขมิ้นชันได้มาก ผู้คนทั่วไปรู้จักแต่ยังขาดกระบวนการพัฒนาที่ดี ที่จะคงไว้ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของขมิ้นชัน

ชา (Tea) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia sinensis* เป็นเครื่องดื่มที่มนุษย์รู้จักมาตั้งแต่ 2737 ปี ก่อนศริสต์ศักราช {วรนันท์, 2550 #48} จนถึงปัจจุบันก็ยังคงเป็นที่นิยมบริโภคกันอยู่โดยเฉพาะผู้บริโภคในแถบเอเชีย และยุโรปบางประเทศ ชาเป็นพืชสวนอุตสาหกรรมที่ใช้แปรรูปเป็นเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยผลผลิตชาของโลกเป็นชาดำหรือชาฝรั่ง (Black tea) ประมาณ 70% อีก 30% เป็นชาใบซึ่งรวมชาจีน (Oolong tea) และชาเขียว (Green tea) ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก สืบเนื่องจากชาที่ผลิตขึ้นในประเทศมีคุณภาพที่ไม่ค่อยดี ทำให้ผู้บริโภคชาหันไปซื้อผลิตภัณฑ์ชาที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากกระบวนการหรือวัตถุดิบก็ไม่สามารถสรุปได้

ซึ่งทั้งชาเขียวและขมิ้นชันมีสารสำคัญและที่เป็นประโยชน์หลายชนิด โดยเฉพาะสารที่แสดงคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถที่จะป้องกันโรคต่างๆ ได้อย่างมากมาย แต่ยังขาด

การศึกษากันอย่างจริงจังในด้านคุณภาพต่างๆ ในการศึกษานี้จะเน้นการตรวจสอบของคุณภาพทางเคมี กายภาพของสมุนไพร 2 ชนิด คือ ชาเขียวและขมิ้นชัน ในรูปแบบสดและแบบแห้ง รวมถึงศึกษาสภาวะของการทำแห้งที่ดีที่สุดด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศ และยังคงไว้ซึ่งคุณภาพที่เหมือนเดิมกับของสดมากที่สุด อีกทั้งยังเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาของผลผลิตอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันสด และใบชาจีนสด
2. เพื่อพัฒนากรรมวิธีการทำแห้งขมิ้นชันและชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศ
3. เพื่อตรวจสอบคุณภาพทางเคมี กายภาพ ของขมิ้นชันและชาเขียวที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ตัวอย่างขมิ้นชันสดที่ใช้ในการศึกษาจำนำมาจากที่มีจำหน่ายตลาดสดใน อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ส่วนตัวอย่างใบชาสดนำมาจากไร่ชาโครงการหลวง จ.เชียงใหม่
2. ศึกษาเทคโนโลยีการทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ ที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ขมิ้น (Turmeric)

ขมิ้นมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Curcuma longa Linn*. Or *C. domestica Valeton* วงค์ ZINGIBERACEAE เป็นไม้ล้มลุก สูง 50–70 เซนติเมตร มีเหง้าใต้ดิน เนื้อในสีเหลืองอมส้ม มีกลิ่นหอม ใบออกเป็นรัศมีติดผิวดิน รูปหอกแกมขอบขนานกว้าง 8-10 เซนติเมตร ยาว 30-40 เซนติเมตร ก้านใบยาว 8-15 เซนติเมตร ดอกออกเป็นช่อ ก้านช่อดอกยาว 5-8 เซนติเมตร ใบประดับสีเขียวอ่อนๆ หรือสีขาว รูปหอกเรียงซ้อนกัน ใบประดับ 1 ใบมี 2 ดอก ใบประดับย่อยรูปขอบขนานยาว 3-3.5 เซนติเมตร ด้านนอกมีขน กลีบรองกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นรูปท่อ มีขน กลีบดอกสีขาว โคนเชื่อมติดกันเป็นท่อยาว ปลายแยกเป็น 3 ส่วน เกสรผู้คล้ายกลีบดอก มีขน อับเรณูอยู่ที่ใกล้ๆ ปลายท่อเกสรเมียเล็ก ยาว ยอดเกสรเมียรูปปากแตร เกลี้ยง รังไข่มี 3 ช่อง แต่ละช่องมีไข่อ่อน 2 ใบ

ขมิ้นมีชื่อพื้นเมืองต่างๆ กันคือ ขมิ้นแกง ขมิ้นหยอก ขมิ้นหัว ขมิ้นชัน ขี้มิ้น หมิ้น ตายอ สะยอ ขมิ้นมีหลายชนิด แต่ที่พบมากๆ ในตลาดโลกมี 2 ชนิดคือ Madras type ขายในรูปแว่น ซึ่งได้จากส่วนกลางของหัวและหัวย่อยหั่นตามยาว มีสีเหลืองน้ำตาล ใช้แต่งรสและกลิ่น ส่วนอีกชนิดคือ Bengal type มีขนาดเล็กกว่ารูปทรงกระบอก ภายนอกสีออกเทา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร ภายในสีน้ำตาลเหลืองเข้ม มีลักษณะ resinous ใช้สำหรับทำสีขมิ้นที่พบในประเทศไทยนอกจาก *C. longa Linn*. แล้วยังมีผู้รายงานว่าพบพันธุ์ต่อไปนี้คือ *Curcuma alis matifolia* Gagnap ขมิ้นโคก, *C. amarissima* Roscoe ขมิ้นขม, *C. roscaeana* Wall ขมิ้นแดง และ *C. zedoaria* Roscoe ขมิ้นอ้อย ละเมียด

รูปที่ 2.1 ขมิ้นชันสด **ที่มา:** http://kbherbalforhealthy.blogspot.com

ขมิ้นเป็นพืชเศรษฐกิจที่ใช้เป็นเครื่องเทศ โดยขายกันในรูปทั้งหัวหรือเป็นผง ใช้สำหรับแต่งรสอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ไข่ ผักดอง มัสตาร์ด เนย และเนยแข็ง ทำผงกะหรี่ นอกจากนี้ยังใช้ทำสีย้อมผ้า เครื่องหนัง ผ้าไหม ผ้าขนสัตว์ ผ้าฝ้าย และใยจากต้นปาล์ม ใช้ทำ Turmeric paper สำหรับตรวจแอลคาลอยด์ และกรดบอริค ในด้านสาธารณสุขมูลฐานขณะนี้ได้มีการทดลองใช้ขมิ้นในการรักษาโรคท้องอืดเฟ้อ และรักษาแผลในกระเพาะอาหาร จะเห็นได้ว่าขมิ้นมีประโยชน์ ทั้งเป็นยา เครื่องเทศ และทำสี

อินเดียเป็นผู้ผลิตขมิ้นรายใหญ่ของโลก และเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ด้วยแต่ก็ส่งออกเพียง5% ของปริมาณที่ผลิต เพราะปริมาณการใช้ในประเทศสูงมาก เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีผู้ผลิตรายใหม่คือ ปากีสถาน ไฮติ จาไมก้า จีน และเปรู ซึ่งประเทศเหล่านี้ส่งออกมากพอสมควร นอกจากนี้ยังมีผู้ผลิตอื่นคือ บังคลาเทศ เอซัลวาดอร์ ไต้หวัน สิงคโปร์และฮ่องกงก็ส่งออกโดยนำเข้าจากจีนแล้วส่งออกอีกทีหนึ่ง (ชฎา, 2549)

การทำหัวขมิ้นแห้งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

1. การทำความสะอาดเพื่อกำจัดเศษดิน เศษผงที่อาจติดมากับหัวขมิ้น รวมทั้งทำการตัดเศษราก (fibrous root) ออกจากหัวขมิ้น ก่อนจะนำไปผลิตขมิ้นแห้งในขบวนการนี้จะเป็นการคัดเลือกขมิ้นหัวที่มีลักษณะสมบูรณ์ไม่มีแมลงหรือหนอนไช และไม่เป็นสีน้ำตาลมาผลิต

2. กรรมวิธีผลิตขมิ้นแห้ง (Curing) ประกอบด้วย

2.1 การต้ม (Boiling)ตามรายงานเรื่องขมิ้นของศรีลังกา จะแยกส่วนที่เป็นหัวใหญ่ (bulb) กับส่วนที่เป็นหน่อซึ่งมีลักษณะคล้ายนิ้วมือ ต้มแยกกันเพราะส่วนแรกใช้เวลาต้มนานกว่า ปกติจะต้มด้วยไฟอ่อนๆ ใช้เวลา 2-5 ชั่วโมง ภาชนะที่ใช้ต้มอาจทำด้วยเหล็กหรือหม้อเคลือบ เติมน้ำที่จะต้มจนท่วมขมิ้นขึ้นมา 2-3 นิ้ว ภาชนะที่ใช้ต้มมีฝาปิดเพื่อป้องกันกลิ่นเหม็น เวลาต้มจะต้มจนหัวขมิ้นอ่อนนิ่มแล้วนำมา treat กับอิมัลชันของ castor seed paste alum หรือ lead chromate สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแนะนำให้ใช้ calcium oxide เพื่อให้สีคงตัว

2.2 การทำแห้ง (Drying) ปกติจะใช้วิธีตากแดด ใช้เวลา 10-15 วัน ระหว่างตากแดดต้องหมั่นกลับข้างบ่อยๆ เพื่อให้ขมิ้นแห้งสม่ำเสมอ ตอนกลางคืนต้องเก็บอย่าให้ถูกน้ำค้าง จะตากจนหัวขมิ้นแห้งและเปราะ หักดูว่ามีเสียงคล้ายโลหะ (metallic sound)

3. การขัด (Polishing) เพื่อให้ได้ขมิ้นที่มีผิวเรียบสีเหลือง เอาหัวขมิ้นแห้งแล้วมาถูกับของที่ผิวขรุขระเป็นการเอาเปลือกนอกออก อาจใช้วิธีง่ายๆ โดยเขย่าขมิ้นกับก้อนหินในถุงหรือตะกร้าใน

รายงานของศรีลังกาใช้เครื่องมือขัดเรียกว่า Polishing drum ผลผลิตร้อยละของขมิ้นที่ขัดแล้วประมาณ 15-25 ของขมิ้นสด

สารเคมีที่สำคัญในขมิ้น

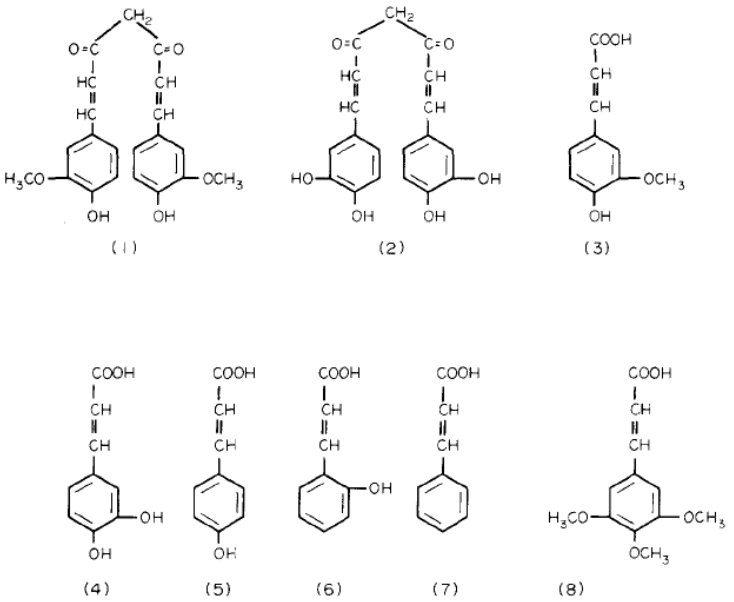
สารเคมีที่พบในขมิ้นนั้นจะพบในส่วนของน้ำมันหอมระเหยเป็นสำคัญ โดยทั่วไปแล้วขมิ้นจะมีน้ำมันหอมระเหยตั้งแต่ 2-6 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันมีสีเหลืองและเรืองแสงได้เล็กน้อยสารเคมีที่พบมากที่สุดคือ เทอร์มีโรน (termerone) ประมาณ 58-59 เปอร์เซ็นต์ สารนี้มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{15}H_{22}O$ รองลงมาได้แก่ ซิงจิเบอรีน (zingiberene) 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบสารต่างๆ อีกหลายชนิด ได้แก่ ซาบินีน (sabinene), บอร์นีออล (borneol), ซินีออล (cineol), เทอร์พีรอล (termerol), เคอร์คูโมน (curcumone) และฟิลแลนดรีน (phellandrene)

ในสารดังกล่าวนี้นั้นพบว่า เทอร์มีโรนหรือดีไฮโรเทอร์มีโรนและเคอร์คูโมนไม่ได้มีพบอยู่ในน้ำมันหอมระเหยของขมิ้น แต่เกิดจากการรวมตัวในขณะที่มีการสกัดสารต่างๆ เช่น เคอรีคูโมนจะเกิดขึ้นในขณะที่มีการนำสารพวกอัลคาไล (alkali) เติมในน้ำมันหอมระเหยนอกจากนี้ยังพบสารที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ เคอร์คูมิน (curcumin) ซึ่งมีประมาณ 1.8-5.4 เปอร์เซ็นต์ สารนี้มีสีเหลืองส้มหรือสีเหลืองแดง ซึ่งเป็นสีของขมิ้นนั่นเอง สารนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ และกรดอะซิตริก จากการศึกษาต่อมาพบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหยและเคอร์คูมินในขมิ้นจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอายุของพืช กล่าวคือขมิ้นที่มีการเจริญเต็มที่แล้วจะมีปริมาณของเคอร์คูมินเปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะการเจริญตั้งแต่เดือนที่ 5 ถึงเดือนที่ 8 เพียง 7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ส่วนน้ำมันหอมระเหยในขมิ้น ที่มีการเจริญเต็มที่จะมีปริมาณลดลงและการลดลงจะมีมากที่สุดในเดือนที่ 8 นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ในการปลูกขมิ้นนั้น ถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสหรือโปตัสเซียมหรือทั้งสามชนิด จะทำให้ได้ผลผลิตของขมิ้นเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณของเคอร์คูมินจะลดลง

ความต้องการของตลาด

มีผู้ประมาณการว่ามีการนำเข้าขมิ้นปีละ 9,000-10,000 ตัน เป็นมูลค่า 8-10ล้านเหรียญสหรัฐ อิหร่านเป็นผู้นำเข้ามากที่สุดในช่วง 1976-1968 คือนำเข้าถึง 3,400 ตัน เพราะใช้ในอาหารที่เป็นเนื้อสัตว์และข้าวขมิ้น นับเป็นพืชที่มีศักยภาพ เนื่องจากมีความต้องการผงกะหรี่และเครื่องเทศผสมมาก แต่รูปแบบอาจเปลี่ยนไป ขณะนี้ประเทศซึ่งผลิตขมิ้นได้ส่งออกในรูปเครื่องเทศผสม

มากกว่าผงขมิ้นหรือขมิ้นเดี่ยวๆ ในปี 1978 อินเดียห้ามส่งออกขมิ้นทำให้บริษัทผู้นำเข้าหันไปหาแหล่งอื่น ดังนั้นอาจมีช่องให้ผู้ผลิตขมิ้นเข้าไปมีส่วนร่วมตลาดในส่วนที่ขาดไป และเนื่องจากในประเทศที่พัฒนาส่วนใหญ่พยายามหลีกเลี่ยงการใช้สีสังเคราะห์ดังนั้นแนวโน้มการใช้สีธรรมชาติจึงมีมากขึ้นประโยชน์ทั่วไปของขมิ้น (ชฎา, 2549)



รูปที่ **2.2** โครงสร้างของเคอร์คูมิน (Curcumin)

ประโยชน์ทางยาของขมิ้น

ฤทธิ์ลดการอักเสบ

พบรายงานเพิ่มเติมว่าเคอร์คิวมิน (curcumin) และอนุพันธ์คือสาระสำคัญในการออกฤทธิ์ โดยเคอร์คูมินมีฤทธิ์ลดการอักเสบเฉียบพลันเท่า phenylbutazone ส่วนฤทธิ์ลดการอักเสบเรื้อรังมีเพียงครึ่งเดียว อย่างไรก็ตามข้อดีคือมีฤทธิ์กัดกระเพาะน้อยกว่า และยังป้องกันตับอักเสบและเคอร์คูมินไม่มีฤทธิ์ลดไข้ แก้ปวด นอกจากนั้นได้มีการศึกษาอนุพันธ์ของ curcumin ที่พบในธรรมชาติคือ feruloyl-4-hydroxycinnamoyl methane และ bis-(4-hydroxycinnamoyl)methane พบว่าอนุพันธ์เหล่านี้ให้ผลลดการอักเสบตามขนาดที่ให้จนถึงขนาด 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ถ้าให้ขนาดสูงขึ้นคือขนาด 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะมีฤทธิ์ลดลง และนักวิจัยกลุ่มนี้ยังศึกษาพบด้วยว่า sodium curcuminate จะลดการบีบตัวของลำไส้หนูตะเภาที่เหนี่ยวนำให้บีบตัวด้วย

nicotine,acetylcholine, 5-hydroxytryptamine, histamine และ BaCl2 ลดการบีบตัวในลำไส้กระต่าย ยากลุ่มนี้มีฤทธิ์เช่นเดียวกับยาลดการอักเสบที่ไม่ใช่ Cousins และ คณะ 2007 ได้ทดลองฤทธิ์ลดการอักเสบของเคอร์คิวมินและอนุพันธ์ พบว่ามีฤทธิ์ลดการอักเสบเฉียบพลันเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ คือ sodium curcuminate, tetrahydro curcumin, curcumin, phenylbutazone, triethylcurcumin และพบว่าฤทธิ์ลดการอักเสบจะเป็นสัดส่วนกับขนาดเมื่อให้ขนาดต่ำ แต่เมื่อให้ขนาดสูงจะมีฤทธิ์ลดลงเช่นกัน

นอกจากเคอร์คิวมินและอนุพันธ์แล้วได้มีผู้รายงานฤทธิ์ลดการอักเสบของน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้น สามารถนำไปรักษาอาการไขข้ออักเสบได้ด้วย Deodhar และคณะ (1980) ได้ทดลองใช้เคอร์คิวมินวันละ 1.2 กรัม เทียบกับ phenyl butazone วันละ 300 กิโลกรัม คนไข้ที่มีอาการขัดข้อ ยืดไม่ออก และข้อบวมในตอนเช้ามีอาการดีขึ้น หลังจากได้รับเคอร์คิวมิน หรือphenyl butazone เนื่องจากขมิ้นมีฤทธิ์ลดการอักเสบจึงมีผู้นำไปใช้ในยาสีฟัน พบว่าช่วยลดการอักเสบเนื้อเยื่อในช่องปาก และเหงือกอักเสบ

ฤทธิ์ขับน้ำดี

มีผู้พบฤทธิ์ขับน้ำดีของเคอร์คิวมิน ซึ่งเป็นสาระสำคัญในขมิ้น ตั้งแต่ปี 1927 และได้มีผู้ทดลองนำสารสังเคราะห์ synthobilin ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเคอร์คิวมินไปทดสอบพบว่าสามารถขับน้ำดี และมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วย ต่อมาได้มีผู้รายงานฤทธิ์ขับน้ำดีของเคอร์คิวมินและน้ำมันหอมระเหยจากขมิ้น sodium curcuminate ในขนาด 24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถเพิ่มอัตราการขับน้ำดีได้เกือบ 100% โดยไม่มีผลต่อความดันโลหิตหรือการหายใจ เคอร์คิวมินจะทำให้ถุงน้ำดีและตับขับน้ำดีเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาเพิ่มเติมของ Ramprasad และ Sirsi (1956) พบว่า sodiumcurcuminate เมื่อฉีดเข้าหลอดเลือดสุนัขในขนาด 5, 10, 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะเพิ่มปริมาณน้ำดีและปริมาณของแข็งในน้ำดีลดลง เคอร์คิวมินนอกจากจะช่วยขับน้ำดีแล้วยังมีฤทธ์ฆ่าเชื้อจึงเหมาะสมสำหรับลดการอักเสบจากเชื้อ *Staphylococcus* Jentzsch และคณะ ได้พบว่าเคอร์คิวมินมีฤทธิ์ขับน้ำดีจากตับแต่ demethoxy curcumin ลดปริมาณการหลั่งน้ำดี นอกจากนี้ได้มีผู้ทดลองฤทธิ์ในการป้องกันตับ โดยสามารถป้องกันพิษที่เกิดจาก CCl4 และD-galactosamine

ฤทธิ์ลดปริมาณคอเลสเตอรอล

Rao และคณะ (1970) ได้ทดลองพบว่าเมื่อผสมเคอร์คิวมินในอาหารหนูในขนาด 0.1 และ 0.5% มีผลลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและตับถึง 1/2 หรือ 1/3 ของหนูซึ่งไม่ได้

รับเคอร์คิวมิน โดยไปเพิ่มการขับกรดน้ำดีและคอเลสเตอรอลในอุจจาระในหนูปกติ และหนูที่มีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงซึ่งต่อมามีผู้พบว่าในขนาด 0.05% ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน นอกจากเคอร์คิวมินก็มีผู้รายงานฤทธิ์ลดปริมาณคอเลสเตอรอลของสารสกัดของขมิ้นด้วย

ฤทธิ์ต่อต้านมะเร็ง

มีผู้รายงานฤทธิ์ต่อต้านมะเร็งของสารสกัดจากขมิ้น และเคอร์คิวมิน โดยสารสกัดในขนาด 0.4 มิลลิกรัมต่อซี.ซี. สามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งทั้งในหลอดทดลองและในหนูถีบจักร ส่วนเคอร์คิวมินให้ผลเมื่อให้ในขนาด 4 ไมโครกรัมต่อซี.ซี. และได้มีผู้ทดลองกับคนไข้ 62ราย ใช้สารสกัดด้วยอีเธอร์และขี้ผึ้งเคอร์คิวมินในการรักษามะเร็งผิวหนัง พบว่าสามารถลดกลิ่น 90% และลดอาการคัน เกือบทุกคนแผลแห้ง 70% และ 10% ของคนไข้พบว่าแผลเล็กลงและอาการเจ็บลดลง และในคนไข้หลายคนมีผลต่อไปหลายเดือน ต่อมามีผู้รายงานว่านอกจาก curcumin แล้วยังมีสารที่มีฤทธิ์ต้านมะเร็งคือ

ฤทธิ์ต้าน oxidation

เคอร์คิวมิน ดีเมธอกซีเคอร์คิวมิน บิสเดสเมธอกซีเคอร์คิวมินและ 5-เมธอกซีเคอร์คิวมินมีฤทธิ์ต้าน oxidation นักวิจัยชาวอินเดียได้พบสารโปรตีนจากขมิ้น ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้ง lipid peroxidation ซึ่งเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับโรคต่างๆ เช่น ความแก่ มะเร็ง เบาหวาน เป็นต้น

ฤทธิ์ต้านเชื้อ HIV

Curcumin มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ protease ของ HIV-1 และ HIV-2 โดยมีค่า IC50 =100 uM และ 250 uM ตามลำดับ การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง curcumin และ boron จะทำให้ได้สารที่มีฤทธิ์แรงขึ้นมาก โดยมีค่า IC50 เพียง 6 uM เท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่า curcuminสามารถยับยั้งเอนไซม์ integrase ของเชื้อ HIV-1 ได้ โดยมีค่า IC50 40 uM ดังนั้นจึงได้มีการนำcurcumin ไปทดลองขั้นคลินิกในผู้ป่วยเอดส์อยู่ในขณะนี้

ฤทธิ์ต่อต้าน เนื้องอก (Tumour)

Pisano และคณะ (2008) ได้ทำการสังเคราห์สารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของ curcumin ซึ่งมีฤทธิ์.ในการยับยั้งเซลล์เนื้องอกได้เร็วกว่า จากการศึกษาพบว่า alpha,beta-unsaturated ketone D6 เป็นสารที่มีความสามรถในการยับยั้งการเจริญของเซลล์เนื้องอกได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ curcumin.

2.2 ชา (Tea)

ชา (Tea) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia sinensis* มนุษย์รู้จักมาตั้งแต่ 2737 ปี ก่อนศริสต์ศักราช (วรนันท์, 2550) ปัจจุบันก็ยังคงเป็นที่นิยมบริโภคกันอยู่โดยเฉพาะผู้บริโภคในแถบเอเชียและยุโรปบางประเทศ ชาเป็นพืชสวนอุตสาหกรรมที่ใช้แปรรูปเป็นเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยผลผลิตชาของโลกเป็นชาดำหรือชาฝรั่ง (Black tea) ประมาณ 70% อีก 30% เป็นชาใบซึ่งรวมชาจีน (Oolong tea) และชาเขียว (Green tea) ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก โดยในปี 2540 มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศรวม 500 ตัน มูลค่า 33 ล้านบาท และส่งออกรวม 197 ตัน มูลค่า 18 ล้านบาท แต่ในปี 2544 มีการนำเข้า 574.72 ตัน มูลค่า 62.22 ล้านบาท และส่งออกรวม 1,249.36 ตัน มูลค่า 85.97 ล้านบาท และในปี 2545 มีการส่งออกรวมมูลค่า 102.73 ล้านบาท (กรมการส่งออก, 2546 และ กรมวิชาการเกษตร, มปป)

จากสถิติดังกล่าวสามารถบ่งบอกแนวโน้มถึงการค้าชาในตลาดโลกว่าสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ชาได้มากขึ้น แต่เมื่อเทียบมูลค่าแล้วจะเห็นได้เด่นชัดว่ามูลค่าผลิตภัณฑ์ชาของไทยยังมีต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศ ซึ่งสาเหตุสำคัญคือ ชาที่ผลิตได้ในประเทศไทยยังมีคุณภาพต่ำและไม่ตรงตามความต้องการของตลาดจึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพ (กรมวิชาการเกษตร, มปป)

สำหรับตลาดชาในประเทศไทย ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา ตลาดชาเขียวพร้อมดื่มมีการเติบโตสูงมาก ตั้งแต่ปี 2545 มีมูลค่า 1,000 ล้านบาท ปี 2546 มีมูลค่า 1,500 ล้านบาท ปี 2547 มีมูลค่า 3,200 ล้านบาท ปัจจุบันมีมูลค่าถึง 4,500 ล้านบาท (กรรณิการ์, มปป) จะเห็นได้ว่ามีการเติบโตของตลาดมากกว่า 100% จากการสำรวจของกองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร ในปี 2544 พบว่าทางภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งเป็นแหล่งปลูกและผลิตชาที่สำคัญ มีพื้นที่ปลูกชาจีนคุณภาพดี 3,938 ไร่ (5.3%) ซึ่งส่วนใหญ่ดำเนินกิจการโดยชาวไต้หวัน ส่วนที่เหลืออีก 70,334 ไร่ (64.7%) เป็นชาพื้นเมืองหรือชาผสมระหว่างชาจีนและชาอัญสัม (กรมวิชาการเกษตร, มปป) จากพื้นที่ปลูกดังกล่าวจะเห็นได้ว่ายังคงมีผลผลิตยอดชาพื้นเมืองเป็นจำนวนมากที่ต้องการการแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ชาที่มีคุณภาพดี

สารสำคัญในใบชาเป็นสารกลุ่ม Polyphenol จำพวก Flavonols ส่วนใหญ่เป็น Catechins ซึ่ง Catechin ในใบชาสดมีสูงถึง 30% (Graham, 1992) ส่วนในชาเขียวจะมี Catechins ประมาณ 35-50% ซึ่งจะมีปริมาณมากกว่าในชาดำ (10% Catechins) และชาอูหลง (8-20% Catechins) เนื่องจาก Flavonols จะถูกเปลี่ยนเป็น Theaflavins และ Thearubigind ขณะที่ชาผ่านกระบวนการหมัก โดยปกติ Catechins ในใบชาอ่อน จะประกอบด้วยสารประกอบที่สำคัญอีก 5 ชนิด ได้แก่

Epigallocatechin gallate (EGCG), Epigallocatechin (EGC), Epicatechin gallate (ECG), Gallocatechin (GC) และ Epicatechin (EC) ส่วนปริมาณ Catechins ในใบชาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ สภาพอากาศ ฤดูกาล การเพาะปลูกชา ความแก่อ่อนของใบชา และพันธุ์ชา (Graham, 1992) ซึ่ง Catechins รวมทั้งสาร Phenolic compound ในชาเขียวมีคุณสมบัติสำคัญคือเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) โดยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในชาสามารถป้องกันการเกิดมะเร็ง และลด LDL cholesterol งานวิจัยทางการแพทย์พบว่า คนที่ดื่มชาเขียวเป็นประจำมีโอกาสป่วยเป็นโรคหัวใจ มะเร็ง และความดัน น้อยกว่าคนที่ไม่ดื่ม และยังพบว่าช่วยเสริมภูมิต้านทางและชะลอความชราอีกด้วย (วรนันท์, 2550)

ในกรรมวิธีการผลิตชาเขียวแบบดั่งเดิมจะเริ่มจากการเก็บเกี่ยวยอดอ่อนและใบอ่อน นำมาลวกใบชาที่อุณหภูมิ 97-100°C เพื่อยังยั้งเอ็นไซม์ที่ทำให้เกิดการออกซิเดชั่น (Polyphenol oxidase) ผ่านกระบวนการนวดพร้อมกับการให้ความร้อน เพื่อทำให้เซลในใบชาแตกออกให้น้ำ และเอ็นไซม์ออกมาภายนอก ทำให้สารให้กลิ่นรสของชาละลายได้ง่ายเมื่อมีการชงในน้ำ การนวดมี 4 ขั้นตอน ได้แก่ Loosening เป็นการนวดเพื่อแยกใบชาออกจากกัน Rolling เป็นการนวดเพื่อให้เซลแตกออก Rubbing เป็นการนวดเพื่อให้ใบชาม้วนตัว และ Pressing and Sharping up เป็นการอัดใบชาที่ม้วนตัวให้มีขนาดเล็กลง กระบวนการสุดท้ายเป็นการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อน (Hot air drier) เพื่อลดความชื้นของใบชาลงให้ต่ำกว่า 7% เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สามารถเก็บใบชาไว้ได้นานโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รส จะเห็นได้ว่าจากกระบวนการผลิตดั่งเดิมนี้ยังมีขั้นตอนหลายขั้นตอนที่อาจเกิดการสูญเสียสารสำคัญ ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ อาทิเช่น ในการลวกอาจไม่สามารถทำลายเอ็นไซม์ได้ทั้งหมด การนวดหลายขั้นตอนจะเกิดการสูญเสียคุณสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระได้ และการอบแห้งในเวลาที่ยาวนานยิ่งเป็นการเสี่ยงในการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระเป็นอย่างยิ่ง

ชา ทางพฤกษศาสตร์: *Camellia sinensis*

ชามีต้นกำเนิดในจีนตอนใต้และอินเดียตอนเหนือ ทุกวันนี้แหล่งชาที่สำคัญได้แก่ บริเวณไหล่เขาของประเทศศรีลังกา จีน อินเดีย ไต้หวัน ญี่ปุ่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย เวียดนาม และไทย เป็นต้น ชาเป็นพืชยืนต้นที่เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีความสูงถึง 6 เมตร ชาบางชนิดสามารถมีชีวิตอยู่ได้นานถึง 100 ปี ตามปกติชาวไร่จะนิยมปลูกชาตามบริเวณไหล่เขา ทั้งนี้ก็เพื่อให้รากชาช่วยยึดดิน และเพราะเหตุว่าคุณภาพของชาขึ้นกับสภาพดินฟ้าอากาศ ดังนั้นชาที่ปลูกในแต่ละพื้นที่ ในแต่ละฤดู จะให้ชาที่มีรสไม่เหมือนกัน และโดยทั่วไปแล้วชาที่ปลูกในที่สูงจะมีกลิ่นและรสชาติที่ละมุนละไมกว่าชาที่ปลูกในพื้นที่ที่ต่ำกว่ามาก

รูปที่ 2.**3** สวนชาในประเทศจีน ที่มา**:** http://www.travel-in-china.ob.tc

เมื่อต้นชามีอายุได้ 4-5 ปี ชาวไร่จะเลือกเก็บใบชา โดยเขาจะเลือกเก็บเฉพาะยอดอ่อนและใบอ่อน และเมื่อเก็บใบแล้วใบชาใหม่ก็จะแตกใหม่ในเวลาอีกไม่นาน สำหรับการแบ่งกลุ่มตามประโยชน์ในทางการค้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

1. กลุ่มชาจีน (China tea) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Camellia sinensis Var. sinensis* เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูงประมาณ 1-6 เมตร ชาจีนจะถูกนำไปใช้แปรรูปเป็นชาเขียว โดยใช้ยอดอ่อนที่มี 1 ยอดตูมและ 3-4 ใบบาน ชาจีนจะทนทานต่ออุณหภูมิและสภาพแวดล้อมที่ผันแปรได้ดี ผลผลิตต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มพันธุ์ชาอัสสัม
2. กลุ่มชาอัสสัม (Assam tea) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Camellia sinensis Var. assamica* เป็นกลุ่มที่เหมาะสำหรับใช้ยอดชาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาฝรั่ง เป็นไม้พุ่มขนาดกลาง ถึงใหญ่ มีขนาดใหญ่กว่าใบชากลุ่มอื่นอย่างเด่นชัด ชาอัสสัมจะเจริญเติบโตเร็ว ทนแล้ง สามารถแบ่งออกเป็นสายพันธุ์ย่อยๆ คือ

- พันธุ์อัสสัมใบจาง (Light leaved Assam jat) ต้นมีขนาดเล็ก ยอดและใบมีสีเขียวอ่อน ลักษณะใบเป็นมันวาว ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย เป็นพันธุ์ที่อ่อนแอ ให้ผลผลิตต่ำและคุณภาพไม่ดี เมื่อนำมาทำชาจีนจะมีสีน้ำตาล
- พันธุ์อัสสัมใบเข้ม (Dark leaved Assam jat) ยอดและใบมีสีเขียวเข้ม ใบนุ่มเป็นมัน มีขนปกคลุม ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย เป็นที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดี เมื่อนำมาทำชาจีนจะมีสีดำ

- พันธุ์มานิปุริ (Manipuri jat) เป็นพันธุ์ที่แข็งแรง ให้ผลผลิตสูง ใบมีสีเขียวเข้มเป็นประกาย ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย ทนแล้งได้ดี
- พันธุ์พม่า (Burma jat) ใบมีสีเขียวเข้ม ใบแก่มีสีเขียวแกมน้ำเงิน ใบกว้าง แผ่นใบเป็นรูปไข่ ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีมาก
- พันธุ์ลูไซ (Lushai jat) ขอบใบหยักลึก ปลายใบเห็นได้ชัด

3. กลุ่มชาลูกผสม (Hybrid tea) จัดเป็นกลุ่มที่มีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากชาเป็นพืชผสมข้าม จึงทำให้ชาที่ปรากฏโดยทั่วไปเป็นชาลูกผสมระหว่างกลุ่มพันธุ์ชาทั้งสองกลุ่มดังกล่าวข้างต้น สำหรับการใช้ประโยชน์จากชากลุ่มนี้ สามารถใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชาได้ทั้งชาใบและชาฝรั่ง ส่วนชาเขมร (Indo-china tea) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Camellia sinensis Var. Indo-China* จัดได้ว่าเป็นกลุ่มที่ไม่มีประโยชน์ในทางการค้า แต่จะนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการปรับปรุงพันธุ์ชาเป็นหลัก (ทำความรู้จักกับต้นชา, 2553)

การแบ่งชนิดใบชาตามกรรมวิธีการผลิต แบ่งเป็น 3 ชนิด

1. ชาดำ (Black tea) เป็นชาที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีกลิ่นหอมและรสชาติเข้มข้น การผลิตชาดำนั้น ทำโดยนำเอาใบชามาทำให้แห้งด้วยการผึ่งไว้เพื่อลดความชื้น ใช้เวลาประมาณ 12-16 ชั่วโมง จากนั้นนำมานวดเพื่อให้ใบชาลีบอ่อนด้วยลูกกลิ้งและเซลล์ชาแตกปลดปล่อยเอนไซม์ออกมา จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการบ่มโดยวางเป็นแผ่นบางๆ ให้มีลมพัดผ่านให้อากาศระบาย แล้วทำให้แห้งด้วยลมร้อน จะได้ใบชาดำที่แห้งสนิท

2. ชาอู่หลง (Oolong) มีกระบวนการผลิตแบบเดียวกับชาดำ เพียงแต่ผ่านกระบวนการบ่มเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นโดยกระบวนการลดความชื้นจะใช้เวลาเพียง 6 ชั่วโมง แล้วผ่านขั้นตอนนวดและบ่มด้วยเวลาสั้นๆจึงทำให้ชาอู่หลงมีรสชาติและสรรพคุณผสมผสานกันระหว่างชาดำและชาเขียว

3. ชาเขียว (Green tea) การผลิตชาเขียวเริ่มจากเก็บยอดอ่อนของต้นชาแล้ว นำมาอบด้วยไอน้ำหรือคั่วก่อนเป็นขั้นตอนแรก เพื่อทำลายเอนไซม์จากนั้นนำไปนวดด้วยลูกกลิ้ง และทำให้แห้งอย่างรวดเร็ว การทำชาเขียวจะยังไม่ผ่านกระบวนการบ่มใดๆ ซึ่งแตกต่างจากชาดำและชาอู่หลง ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ใบชายังคงมีลักษณะเป็นสีเขียวอยู่ จากกระบวนการผลิตด้วยขั้นตอนที่ง่ายและรวดเร็วนี้เอง ทำให้ชาเขียวยังคงสารสำคัญจากพืชที่เราเรียกว่า สารพฤกษเคมีที่มีประโยชน์ต่างๆ ไว้ได้มากกว่าชาดำและชาอู่หลง ส่วนชาขาว คือ ชาที่ได้จากการเลือกเก็บยอดชาที่อ่อนมาก

คือยังมีขนเล็กๆสีขาวปกคลุมยอดชาอยู่ ใบชาจะคงสภาพเหมือนใบชาสดและมีสีขาว น้ำที่ชงจากชาขาวจะมีสีใสๆ ถึงสีเหลืองอ่อน มีลักษณะใกล้เคียงกับชาเขียว ในแต่ละปีจะเก็บเกี่ยวยอดชาเพื่อนำมาผลิตชาขาวได้ในบางวันเท่านั้น (สมพล, 2544)

การผลิตชา

1. การเก็บใบชา (Tea plucking)

เป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากต้องอาศัยความละเอียดในการเก็บ ชาที่เหมาะสำหรับการเก็บเกี่ยวจะมีอายุประมาณ 4-5 ปี การเก็บจะต้องเลือกเก็บเฉพาะยอดชาที่ตูมและใบที่ต่ำจากยอดตูมลงมา 2 ใบ (เก็บ 1 ยอด 2 ใบ) เนื่องจาก polyphenols ซึ่งเป็นสารที่มีความสำคัญในชา และมีอยู่มากเฉพาะในยอดชาเท่านั้น การเก็บยอดชาโดยทั่วไปมี 3 วิธีการ คือ ใช้มือเด็ด ใช้กรรไกรตัด และใช้เครื่องจักร อย่างไรก็ตามใบชาที่มีคุณภาพดีมักได้จากวิธีใช้มือเด็ด

2. การผึ่งชา (Withering)

เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร ต่าง ๆ ในใบชา การผึ่งชาจะทำให้น้ำในใบชาระเหยไป ทำให้ใบชาเหี่ยวและจะมีการซึมผ่านของสารต่าง ๆ ภายในและภายนอกเซลล์ ในการผึ่งชานี้เอง เอนไซม์ polyphenol oxidase จะเร่งปฏิกิริยา oxidation และ polymerization ทำให้สาร polyphenol เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นองค์ประกอบใหม่ที่ทำให้ชามีสี กลิ่น และรสชาติที่แตกต่างกันไป

3. การนึ่งชา (Steaming) หรือการคั่วชา (Pan firing)

เป็นขั้นตอนที่ให้ความร้อนกับใบชาเพื่อทำลายเอนไซม์ เช่น polyphenol oxidase ที่ทำให้หยุดปฏิกิริยาการหมัก และ Chlolopyllase ที่สามารถออกซิไดส์ Chlorophyll (สารสีเขียว) เป็นสาร Phaeophytin ที่ทำให้เกิดสีเหลืองน้ำตาลในใบชา นอกจากการลวกจะสามารถรักษาสีเขียวได้แล้วยังสามารถลดกลิ่นเหม็นเขียวของใบชา ได้อีกด้วย ปกติการลวกชาจะใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำ อุณหภูมิ 97-100 องศาเซลเซียส นาน 20 วินาที ถึง 3 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

4. การนวดชา (Rolling)

เป็นขั้นตอนที่ใช้น้ำหนักกดทับลงใบชา เป็นการขยี้ใบชาเพื่อให้เซลล์แตก เมื่อเซลล์แตกจะทำให้สารประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในเซลล์ไหลออกมานอกเซลล์และเคลือบอยู่บนส่วนต่าง ๆของใบชา น้ำ เอนไซม์ และ Essential oil จะออกมาภายนอก ทำให้สามารถลดความชื้นได้เร็วขึ้น และทำให้สารให้กลิ่นรสของชาละลายได้ง่ายเมื่อมีการชงในน้ำ

5. การหมักชา (Fermentation)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเริ่มตั้งแต่การผึ่งชา และนวดชา ก่อนที่จะถึงขั้นตอนการหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์ polyphenol oxidase ด้วยความร้อน (steaming หรือ firing) ในกระบวนการนี้เอนไซม์ polyphenol oxidase จะเร่งปฏิกิริยา oxidation ทำให้ polyphenols เกิด oxidized และเกิดปฏิกิริยา polymerization ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง polyphenols ที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้ชาเกิดกลิ่น สี และรสชาติที่แตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ในชาและตามกรรมวิธีการ ผลิต

6. การอบแห้ง (Drying)

เป็นขั้นตอนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นในใบชาให้เหลือประมาณ 5% เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยา oxidation ทำให้สามารถเก็บรักษาชาได้นานขึ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น รส โดยทั่วไปการอบจะทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้กลิ่นรสของชาระเหยออกไปได้ การอบแห้งส่วนมากจะใช้ตู้อบลมร้อน

7. การคัดบรรจุ (Sorting and packing)

เป็นการคัดเลือกเศษกิ่งก้านของใบชา และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกจากใบชา เสร็จแล้วนำมาบรรจุใส่ถุงเพื่อรอจำหน่ายต่อไป

องค์ประกอบทางเคมีของใบชา

ชามีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ เมทิลแซนทีน (Methylxanthines) แทนนิน (tea tannins) และส่วนที่ให้กลิ่นหอม (aromatic principles) ใบชาสดประกอบด้วย เซลลูโลส ไฟเบอร์

และโปรตีน ซึ่งมีปริมาณของแข็งรวมกันได้ 25 % โดยปริมาตรและมีสารที่ละลายน้ำได้ อันได้แก่ แทนนิน คาเฟอีน โปรตีน กัม (gummy matter) และน้ำตาลต่างๆ ละลายอยู่

ตารางที่ 2.1 แสดงสารประกอบที่สำคัญในใบชา และประโยชน์ต่อสุขภาพ

สารประกอบ	Healthy Effect
โพลีฟีนอล (Polyphenol) (เป็นสารประกอบที่ให้รสฝาด-ขม)	- ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง, ยับยั้งการเกิดเนื้องอก - ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด,ป้องกันโรคความดันโลหิตสูง - ป้องกันภาวะน้ำตาลในเลือดสูง, ป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน - ต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย และป้องกันการเกิดโรคอาหารเป็นพิษ - ต่อต้านเชื้อไวรัสที่ทำให้เกิดโรคไข้หวัด - ป้องกันฟันผุ - ป้องกันการเกิดกลิ่นปากและกลิ่นลมหายใจไม่พึงประสงค์ - ป้องกันการถูกทำลายของตับ จากฤทธิ์แอลกอฮอล์
คาเฟอีน (เป็นสารประกอบที่ให้รสขม)	- ช่วยให้สดชื่น กระปรี้กระเปร่าและ ลดอาการเหนื่อยล้า - มีฤทธิ์เป็นสารขับปัสสาวะ
แคโรทีน	- เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง
วิตามินซี	- มีผลช่วยลดความเครียด และ ป้องกันการเกิดโรคหวัด
วิตามินบี	- ช่วยกระตุ้นการเผาผลาญอาหาร
วิตามินอี	- เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง - ช่วยชะลอความแก่
กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริก (GABA)	- ช่วยลดระดับความดันโลหิต สำหรับผู้ที่ความดันโลหิตสูง
ฟลาโวนอยด์	- เสริมสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์เม็ดเลือดแดง - ป้องการเกิดกลิ่นลมหายใจไม่พึงประสงค์
โพลีแซคคาไรด์	- ป้องกันภาวะน้ำตาลในเลือดสูง
Fluoride	- ช่วยให้ฟันแข็งแรงและป้องกันฟันผุ
Theanine (A kind of Amino acid)	- เป็นสารที่ให้กลิ่น-รส ที่ดี ในชาเขียว

ที่มา: Green Tea Industry Hand Book, 1996

ชาเขียว (Green tea)

ชาเขียวที่มีคุณภาพดีได้จากใบชาคู่ที่หนึ่งและใบชาคู่ที่สองที่เก็บจากยอด จีนเรียกว่า "ปู่อี๋" (ฮกเกี้ยน) ใบชาใบคู่ที่สามและคู่ที่สี่ จากยอดจะให้ชาชั้นสอง จีนเรียกว่า "อันเคย" (ฮกเกี้ยน) ส่วนใบชาคู่ที่ห้าและคู่ที่หกจากปลายยอดจะให้ชาชั้นเลว ที่จีนเรียกว่า "ล่ำก๋อง" (ฮกเกี้ยน) เมื่อชงดื่มจะได้น้ำชาที่มีสีเหลืองอ่อน หรือเขียวและมีกลิ่นหอม (สายพิน, 2549)

ชาเขียวแบ่งตามลักษณะการนำมาบริโภคได้เป็น 2 ประเภทคือ "ชาคอ" (breast tea) ที่ดื่มแล้วจะรู้สึกชุ่มคอ และ "ชากลิ่น" (scented tea) ที่มีกลิ่นหอม เนื่องจากอบด้วยกลิ่นหอมจากดอกไม้ เช่น ดอกมะลิ ดอกประยงค์ ชาเขียวเป็นชาที่นิยมดื่มในจีนและญี่ปุ่น วิธีการทำชาเขียวสามารถทำได้โดย ขั้นตอนแรกนำใบชาอ่อนที่ได้มาผ่านไอน้ำหรืออบด้วยความร้อนทันทีเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ใบชาที่ได้จึงมีความสด และยังมีสีเขียวอยู่มาก จากนั้นจะทำการนวด ใบชา โดยใช้มือคลึงเบาๆ ก่อนการทำแห้ง จากกระบวนการแปรรูปข้างต้นทำให้ชาเขียวมีประโยชน์มากกว่าชาชนิดอื่นๆ เนื่องจากใบชาเขียวจะถูกนำมาอบไอน้ำ ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้สารประกอบ Epigallocatechins Gallate (EGCG) เข้ารวมตัวกับออกซิเจน โดยที่ Epigallocatechins Gallate (EGCG) เป็นสารประกอบสำคัญในชาเขียว ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม Catechins Polyphenol ที่มีอยู่ในชาเขียว ประโยชน์ของสารEGCG คือ เป็นสารต้านพิษ และยังช่วยยับยั้งการเติบโตของเซลมะเร็งด้วย นอกจากจากสาร EGCG ที่มีอยู่ในชาเขียวแล้ว ยังให้พบสารอื่นๆอีกมากมาย เช่น สารคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) วิตามิน (Vitamins) เกลือแร่ (Minerals)

ประโยชน์จากชาเขียว

1. การป้องกันโรคมะเร็ง การดื่มชาเขียวจะช่วยป้องกันโรคมะเร็งในกระเพาะอาหาร นอกจากนั้นการดื่มชาเขียววันละ 3 แก้วจะลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งเต้านม กลไกการป้องกันการเกิดมะเร็งได้แก่
   -ช่วยสลายสารพิษที่เรารับประทานเข้าไป เช่น nitrosamine, aflatoxin
   -ป้องกันสารก่อมะเร็งไปจับกับ DNA ของเซลล์จึงป้องกันการเกิดมะเร็ง
   -ป้องกันสารอนุมูลอิสระที่จะมาทำลาย DNA ของเซลล์
   -ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่จะทำให้เซลล์กลายเป็นมะเร็ง
2. การป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด นักวิทยาศาสตร์พบว่าคนที่ดื่มชามากกว่า 15 แก้วต่อสัปดาห์จะมีอัตราการตายจากโรคหัวใจลดลงถึงร้อยละ 44 เพราะชาเขียวสามารถลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (Sheng-Dun Lin, 2010)

กลไกการป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด คือ

-Catechins จะลดลดการเพิ่มของ LDL Cholesterol และ Triglyceride ในกระแสเลือด

-ชาเขียวจะป้องกันการจับตัวของเกร็ดเลือด platelet aggregation

-ชาเขียวจะเพิ่ม HDL Cholesterol ซึ่งเป็นไขมันที่ป้องกันหลอดเลือดตีบ

-ชาเขียวจะออกฤทธิ์ยับยั้ง angiotension-converting enzyme (ACE) ซึ่งทำให้ความดันลดลง

3. การป้องกันผิวหนังจากแสงแดด เมื่อนำสาร polyphenols จากชาเขียวทาที่ผิวหนังจะพบว่าสามารถลดการอักเสบของผิวหนัง ลดการเจริญเติบโตของเนื้องอก และลดการทำลายของ DNA จากแสงแดด
4. เพิ่มความหนาแน่นของกระดูก
5. การลดน้ำหนัก พบว่าสารสกัดจากชาเขียวสามารถเพิ่มการเผาผลาญไขมันในร่างกาย
6. ป้องกันฟันผุ เนื่องจากชาเขียวหรือชาดำจะลดการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนั้นในชาจะมีสาร fluoride
7. ป้องกันอาหารเป็นพิษ

2.3 การทำแห้ง

นิธิยา (2543) กล่าวว่าการทำแห้ง (Drying) หมายถึง กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย

การอบแห้งวัสดุทั่วๆ ไปว่าเป็นการใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ ในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศ ถ้าผิววัสดุปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณลดลงมาก อุณหภูมิ และความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เรียกว่าความชื้นวิกฤต วัสดุทางการเกษตรส่วนใหญ่มักมีโครงสร้างภายในรูพรุนสามารถแบ่งการอบแห้ง

ได้เป็น 2 ช่วง ในช่วงแรก ขณะที่มีความชื้นสูงการอบแห้งมักเป็นอัตราการอบแห้งคงที่ เมื่อวัสดุมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงความชื้นวิกฤต น้ำจากภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของของเหลวหรือไอน้ำ แล้วจึงระเหยเคลื่อนที่ไปยังกระแสอากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะเกิดขึ้นในระยะแรก ขณะที่วัสดุยังมีความชื้นสูงพอประมาณเมื่อความชื้นลดต่ำมากแล้วน้ำจะเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งในผลิตผลที่นำมาอบแห้งเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้า มีผลมาจากปัจจัยหลายประการ ดังนี้

(1) ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่ลักษณะเป็นรูพรุนมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหาร สามารถเคลื่อนออกจากภายในออกมายังภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมาก อัตราการอบแห้งสามารถเกิดขึ้นได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

(2) รูปร่างและความหนาของอาหาร อาหารที่มีความหนามากอัตราการ.อบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

(3) ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้า เนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราอบแห้งช้าลง

(4) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ความชื้นของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

(5) ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำๆลงมา น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น (พิชญา และคณะ, 2547)

ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ

(1) ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณค่าอาหารการอบแห้งจะระเหยไล่ความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร ทำให้คุณภาพอาหารลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และถ้ามีการลวกหรือแช่สารเคมีก่อนการอบแห้งเพื่อหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์

(2) ผลของการอบแห้งที่มีต่อเอนไซม์ เอนไซม์จะหยุดปฏิกิริยา เมื่อใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่การใช้ความร้อนในการอบแห้งในกระบวนการทกแห้ง (Dehydration หรือ Drying) เอนไซม์จะมีความทนทานถึง 204 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องลวกน้ำร้อนหรือใช้สารเคมีเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ก่อนที่จะนำไปอบแห้ง ปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับความชื้นของอาหาร ถ้าความชื้นของอาหารในอาหารลดลงปฏิกิริยาก็จะลดลงด้วย แต่อัตราเร็วของปฏิกิริยาของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์ และถ้าอาหารความชื้นลดลงต่ำกว่า 1% ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะไม่เกิดขึ้น

(3) ผลของการอบแห้งที่มีต่อจุลินทรีย์ การลดความชื้นในอาหารให้เหลือน้อยที่สุดอาหารก็จะเก็บไว้ได้นานขึ้น ถ้าอาหารมีความชื้นมากกว่า 12% เชื้อราจะเจริญเติบโตได้ ส่วนแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าความชื้นมากกว่า 30% ขึ้นไป ดังนั้นในการอบแห้งจึงนิยมใส่เกลือลงในอาหารเพื่อควบคุม จุลินทรีย์ และลวกน้ำร้อนก่อนการอบแห้งเป็นต้น

(4)ผลของการอบแห้งที่มีต่อเม็ดสีในอาหารเมื่ออบแห้งสีของอาหารจะเปลี่ยนไปเม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน จะซีดจางลง ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานหรือใช้สารเคมีบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอมไซม์จะทำให้อาหารสีจางลง พวกผักและผลไม้จึงมีการ Fixed สีก่อนการอบแห้ง โดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่ในสารเคมีจะไม่ทำให้สีผักและผลไม้ซีดจางลงหรือเป็นสีน้ำตาลแต่จะทำให้อาหารแห้งกระด้างขึ้น และการอบแห้งยังทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า Millard Reaction เป็นปฏิกิริยาหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของแอมโมเนียกรดอะมิโน หรือโปรตีน เป็น Carbonyl-amine reaction ซึ่งจะทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นและทำให้กลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป

(5) ผลของการอบแห้งต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารแข็ง เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพลักษณะและการจัดการเบื้องต้น เช่น การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำลวก ชนิดและลักษณะการลดขนาดและการปลอกเปลือก ล้วนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ที่นำมาดูดคืนน้ำใหม่ในอาหารที่ได้ผ่านการลวกอาจเกิดการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากการเกิดเจลของแป้ง การตกผลึกของเซลลูโลส การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการทำแห้งส่วนต่างๆ ของอาหารทำให้เกิดความเครียดภายใน ปัจจัยเหล่านี้จะอัดและเปลี่ยนรูปร่างเซลล์ที่ค่อนข้างแข็งทำให้อาหารมีลักษณะเหี่ยวย่น อาหารจะดูดคืนความชื้นอีกครั้งในระหว่างการดูดคืนน้ำอย่างช้าๆ แต่จะไม่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นเหมือนวัตถุดิบเดิม

อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งมีผลมากต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยทั่วไปการทำแห้งโดยรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าตัวทำละลายจะเคลื่อนที่จากภายในของอาหารไปที่ผิวระหว่างที่น้ำจะถูกกำจัดออกระหว่างการทำ

แห้ง กลไกและอัตราการเคลื่อนที่มีความจำเพาะสำหรับตัวทำละลายแต่ละชนิดของอาหารและสภาวะการทำแห้ง การระเหยน้ำทำให้ตัวทำละลายที่ผิวอาหารมีความเข้มข้นมากขึ้นอุณหภูมิที่สูงของอากาศทำให้อาหาร โดยเฉพาะผลไม้ ปลา และเนื้อ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าอาหารและทำให้ผิวอาหารแห้งแข็ง หรือที่เรียกว่า Casehardening ซึ่งเป็นปัจจัยที่จะไปลดอัตราการทำแห้ง และทำให้อาหารมีผิวหน้าแห้งแต่ภายในชื้นการควบคุมสภาวะการอบแห้งเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นภายในและที่ผิวของอาหาร จะช่วยลดเหตุการณ์ดังกล่าวได้

(6) ผลของการอบแห้งต่อการดูดคืนน้ำ การดูดคืนน้ำไม่ใช่ปฏิกิริยาย้อนกลับของการทำแห้ง การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวทำละลายและการสูญเสียสารระเหยไม่สามารถเกิดแบบย้อนกลับไปเหมือนเดิมได้ ความร้อนจะลดระดับการดูดคืนน้ำของแป้งและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและระดับของการดูดคืนน้ำอาจใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ อาหารที่ทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมากกว่าจะเกิดความเสียหายน้อยกว่า และดูดคืนน้ำได้เร็วกว่าอาหารแห้งที่สภาวะที่เหมาะสมน้อยกว่า (พิชญา และคณะ, 2547)

การเก็บและการลดการสูญเสียคุณภาพของอาหารแห้ง

อาหารแห้งจะมีการสูญเสียคุณภาพอาหาร เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีและเอนไซม์ในอาหาร เช่น การเหม็นหืน Millard reaction การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนสีและโครงสร้างการลดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำได้โดย

(1) รักษาความชื้นในอาหารให้ต่ำมากๆ

(2) ลดปริมาณของน้ำตาลรีดิวซิงลง

(3) เมื่อทำการลวกควรใช้น้ำที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำต่ำ

(4) เติมซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการป้องกันการเสียของอาหารแห้งจากเชื้อรา คือ ควรรักษาความชื้น ของสภาวะแวดล้อมให้ต่ำและเก็บอาหารไว้ภายในภาชนะปิดมิดชิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นของอาหาร

ปัจจัยชี้วัดคุณภาพ (Quality Parameters)

การอบแห้งมีผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนและมีการสูญเสียน้ำ ปัจจัยชี้วัดที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณเถ้า สี และปริมาณน้ำมันหอมระเหย (จันทนาและคณะ, 2543)

(1) ความชื้น

ความชื้นจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ สี ลักษณะที่ปรากฏ รวมถึงความสามารถในการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ โดยจะสอดคล้องกับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ หากมีความชื้นในผลิตภัณฑ์สูงจะส่งผลให้มีค่าน้ำที่เป็นประโยชน์สูงตาม

(2) ปริมาณเถ้า

เถ้า คือ อนินทรีย์สารที่เหลือตกค้างจากการเผาอินทรีย์สาร ซึ่งส่วนประกอบในเถ้าขึ้นอยู่กับสภาพของอาหารเริ่มต้น และวิธีที่ใช้หาปริมาณเถ้าเถ้าของอาหารใดๆ หมายถึง สารประกอบ อนินทรีย์ (inorganic residue) ที่เหลืออยู่หลังจากที่เผาให้สารประกอบอินทรีย์ (organic matter) สลายไปหมดแล้ว ปริมาณเถ้าที่ได้ไม่จำเป็นจะต้องเท่ากับจำนวนสารประกอบอนินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารเสมอไป เพราะอาจมีบางส่วนของเถ้าหายไปเนื่องจากการระเหย (evaporation) หรือเกิด interaction ระหว่างสารประกอบ ในกรณีของพืชสมุนไพรนั้นการหาปริมาณเถ้าเป็นวิธีตรวจสอบสิ่งปลอมปนได้วิธีหนึ่ง ซึ่งการเผาตัวอย่างให้เป็นเถ้าสามารถใช้วิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้ดังนี้

2.1) เถ้าทั้งหมด (total ash)

2.2) เถ้าที่ละลายน้ำ (water soluble ash)

2.3) ความเป็นด่างของเถ้าที่ละลายน้ำ (alkalinity of the soluble ash)

2.4) เถ้าที่ไม่ละลายในกรด (acid-insoluble ash)

2.5) sulphated ash

(3) สี

สีของอาหารที่เกิดขึ้นเนื่องจากในอาหารมีสารที่เรียกว่า เม็ดสี หรือ รงควัตถุ ซึ่งมีอยู่ในอาหารตามธรรมชาติ สีเขียวของผักใบเขียวเนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ สีเป็นสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของอาหาร ทั้งอาหารที่ได้จากธรรมชาติและอาหารที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพราะสีเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารร่วมกับลักษณะปรากฏอื่นๆ

นอกจากนั้นสีของอาหารยังบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่อาจเกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น

ในระหว่างกระบวนการแปรรูปพืชผักที่มีสีเขียวโดยใช้ความร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเนื่องจากมีการสูญเสียแมกนีเซียมอิออนหรือสูญเสียหมู่ไฟนิลออกไปจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ทำให้พืชเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (olive-brown) ปัญหาที่สำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้ง ก็คือการเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งเป็นความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน หากการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นมากจะมีผลทำให้ กลิ่น และรสของผลิตภัณฑ์ถูกกระทบไปด้วยการเปลี่ยนแปลงสีจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด หากมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเสียหายในลักษณะนี้มักเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา

(4) ปริมาณน้ำมันหอมระเหย

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึงเนื่องจากพืชสมุนไพรเป็นผลิตผลที่ไวต่อการสูญเสียสารที่ให้ฤทธิ์ทางยาและน้ำมันหอมระเหย ความร้อนนอกจากจะทำให้น้ำระเหยแล้ว ยังทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่อุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไดและความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารหอมระเหย สารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหยสูงจะเกิดการสูญเสียในช่วงแรกของการอบแห้ง มีสารระเหยปริมาณน้อยที่เกิดการสูญเสียในช่วงหลังของการทำแห้ง การควบคุมสภาวะการทำแห้งในแต่ละขั้นตอนจะช่วยลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรม

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเครื่องอบแห้งชนิดที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยเท่านั้น

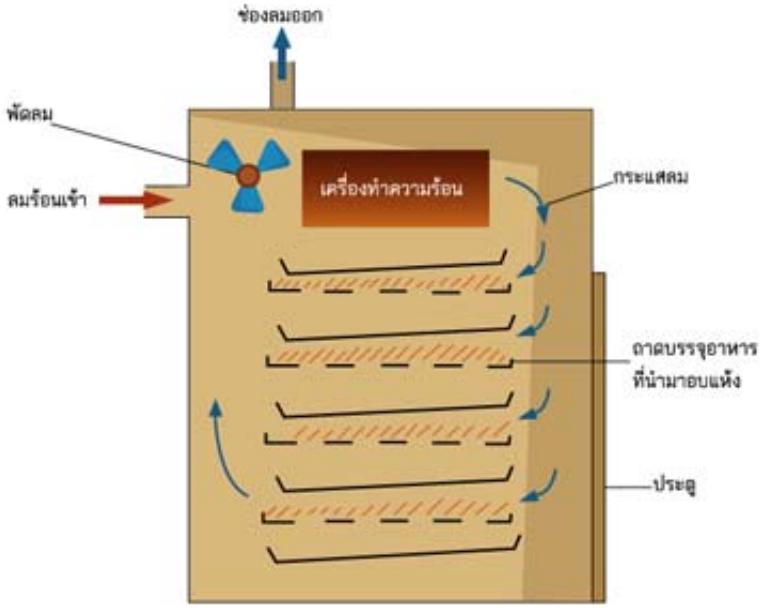
1) เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray dryers)

เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดประกอบด้วยถาดเตี้ยๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่อง

ด้วยฉนวนในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารชิ้นบางๆ ขนาด 2-6 เซนติเมตร อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในต้ที่ความเร็วลม 0.5-5 เมตร/วินาที/เมตร^2 ของพื้นที่ผิวของถาด มีระบบท่อเพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ อาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มด้านบนหรือด้านข้างของถาดเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง นิยมใช้สำหรับการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบ เครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูรักษาต่ำแต่ควบคุมดูแลยาก และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด เป็น

เครื่องอบแห้งแบบชั้นมีลักษณะเป็นตู้สูง ทรง สี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในอาจวางถาดได้ตั้งแต่ 5-8 ชั้น มีส่วนประกอบดังนี้ (รุ่งนภา, 2541)

1. ตู้เหล็กฉนวนสูงรูปสี่เหลี่ยม ภายในวางถาดอาหารที่จะอบแห้งได้ 5-8 ชั้น (ใน อุตสาหกรรมอาจใช้ตู้ใหญ่มีจำนวนเป็นสิบๆ ชั้น)
2. ถาดที่ใช้วางอาหารควรทำจากเหล็กปลอดสนิม
3. มอเตอร์(เพื่อทำหน้าที่หมุนเวียนลมร้อน)
4. ขดลวดร้อนที่ให้ความร้อนสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส
5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในตู้



รูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดทั่วไป
ที่มา: http://118.175.80.83/E-learning/kaaato/1/lesson05/content/05.htm

ระบบการทำงาน

เป็นเครื่องมือทำแห้งลมร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำงานที่ความดันบรรยากาศ ลักษณะ ของเครื่องจะเป็นตู้บุฉนวน มีถาดสำหรับใส่อาหารเรียงเป็นชั้นอยู่ภายใน ลมร้อนจะถูกบังคับให้หมุนเวียนโดยพัดลม การหมุนเวียนของอากาศจะเป็นในแนวนอนขนานกับถาดใส่อาหารหรือในแนวดิ่งผ่านทะลุถาดใส่อาหาร ความเร็วของลมร้อนที่นิยมใช้สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวนอน คือ 2-5 เมตร/วินาที ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งนิยมใช้ปริมาณอากาศร้อน 0.5-1.25 ลูกบาศก์เมตร/วินาทีต่อตารางเมตรของพื้นที่หน้าตัดของถาด แหล่งความร้อนที่ใช้อาจเป็นการเผาไหม้ของก๊าซไอ น้ำ หรือจากขดลวดให้ความร้อน (รุ่งนภา, 2541)

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดเป็นการอบที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้สำหรับพาความชื้นออกจากวัตถุดิบค่อนข้างสูง ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่จะอบ ดังนั้นวัตถุดิบควรเป็นประเภทที่ไม่ไวต่อความร้อนและเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาไม่แพง เพื่อการเพิ่มมูลค่าการตลาด สำหรับข้อดีของตู้อบแห้งแบบถาดคือ เสียค่าใช้จ่ายในการสร้างและการ บำรุงรักษาต่ำ มีความยืดหยุ่นของการใช้งานสูง นิยมใช้ในการอบแห้งผักและผลไม้ นอกจากนั้นยัง นิยมใช้ในกระบวนการผลิตขนาดเล็กหรือในโรงงานขนาดเล็ก แต่เนื่องจากเป็นวิธีดั้งเดิมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการให้ความร้อนสูงและใช้เวลานานจึงทำให้เกิดข้อเสียต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่น รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการเสียไป

2) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Sun dryers)

เป็นเครื่องอบแห้งที่มีการพัฒนาโดยอาศัยหลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบตู้ โดย การใช้แสงแดดเป็นพลังงานความร้อนให้กับตู้อบ ซึ่งมีความเหมาะสมกับประเทศไทย ทำให้ไม่ต้อง เสียต้นทุนพลังงาน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับตู้อบ แสงอาทิตย์ สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้มากและรวดเร็วขึ้น เช่น เครื่องอบแห้งระบบ Active เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ และเครื่องอบแห้งระบบ Hybrid เป็นต้น (สมบัติ, 2544)

หลักการทำงาน

พลังงานที่ต้องการสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ สามารถตรวจสอบได้จากปริมาณความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด อัตราการอบแห้งและการใช้อุณหภูมิ แตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ พลังงานที่เหมาะสมต่อการอบแห้งเพื่อง่ายต่อการคำนวณพื้นที่ของ solar panel ที่ต้องการเพื่อผลิตความร้อนอย่างเพียงพอ เพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงด้วย พลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ใช้อบแห้ง ซึ่งใส่ตัวอย่างที่ต้องการอบแห้ง และส่วนที่เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อทำให้อากาศร้อน นอกจากนี้อาจมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น พัดลม

แผงรับรังสีเป็นอุปกรณ์รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยดูดพลังงานแสงอาทิตย์ และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และแผงรับแสงอาทิตย์เป็นแผ่นแบนราบ (flat plate collector) ทำหน้าที่เป็นตัวดูดพลังงาน (absorber plate) โดยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนให้กับอากาศ เพื่อประสิทธิภาพในการ ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์จึงทาแผ่นดูดพลังงานด้วยสีดำด้าน ทำให้มีค่าการดูดรังสีสูงที่ความยาว คลื่น

ของรังสีต่ำ แต่ให้การส่งออก (emissivity) ต่ำที่ความยาวคลื่นรังสีสูง และเพื่อเป็นการป้องกัน การสูญเสียพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อให้ความร้อนกระจายภายในจึงต้องมีแผ่นกั้นด้านบน (top cover) เป็นแผ่นพลาสติกใส (ธีระชัย และคณะ, 2532)

การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของระดับที่จุดเข้า ออกของเครื่องอบแห้ง ความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศภายนอกและภายในเครื่องอบแห้ง การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบที่ 2 คือ แบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ ซึ่งโดยทั่วไปใช้พัดลมเป็นตัวสร้างความแตกต่างของ ความดันรวมระหว่างทางเข้า และทางออกของเครื่องอบแห้ง

การอบแห้งแบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ เหมาะกับงานขนาดเล็กในไร่นาหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กทั้งนี้เพราะเครื่องอบแห้งแบบนี้มีราคาถูก สร้างได้ง่าย ส่วนการอบแห้งแบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับเหมาะกับงานทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ต้องลงทุนมากขึ้น (วีนัส, 2542)

3. เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ เป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับระบบการทำแห้งภายใต้สุญญากาศ (สายสนม และคณะ, 2546) ใช้หลักการลดจุดเดือดของน้ำในผลิตภัณฑ์ลงโดยใช้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งสามารถทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อรักษาสี รูปทรง รส กลิ่น และสารอาหารให้ได้ใกล้เคียงกับของสด การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟแตกต่างจากการให้ความร้อนโดยวิธีปกติ ที่ความร้อนจะเคลื่อนที่จากผิวด้านนอกเข้าสู่ ใจกลางของผลิตผลแล้วทำให้ไอน้ำระเหยออกมาผลผลิตจะค่อยๆ แห้ง จากผิวนอกเข้าไปสู่แกนกลาง ผิวซึ่งแห้งแล้วก็จะเป็นฉนวนความร้อน ทำให้การนำความร้อนลดลงจึงต้องใช้เวลาอบแห้งนานแล้วยังมีผลให้ผิวนอกแข็งและมีสีคล้ำ ส่วนวิธีการให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟนั้นทุกส่วนของผลิตผลที่นำมาอบแห้งจะได้รับพลังงานพร้อมกัน ทำให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ เคลื่อนที่จากภายในออกสู่ผิวนอก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปทรงคล้ายรูปเดิม และการอบแห้งด้วยวิธี นี้จะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่นมาก ทำให้ประหยัดพลังงานในการอบแห้ง และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสี ใกล้เคียงกับของเดิม เพราะได้รับความร้อนเป็นเวลาสั้นๆ เท่านั้น (วีระชัย, 2544) นอกจากนั้นการ อบแห้งโดยวิธีนี้ยังสามารถทำได้ตลอดเวลาไม่ว่าสภาวะอากาศจะเป็นอย่างไร ระบบการทำงานเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน เป็นการอบแห้งที่สภาวะสุญญากาศ ซึ่งมีส่วนประกอบของเครื่องที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ถังอบไมโครเวฟ ถังอบไมโครเวฟ มีลักษณะเป็นห้องอบแห้งทรงกระบอกและมีท่อนำคลื่นไมโครเวฟต่ออยู่ด้านข้างของผนังถัง เพื่อนำคลื่นไมโครเวฟจากแหล่งกำเนิด

(แมก'นีตรอน) มาสู่บริเวณภายในห้องอบที่มีถังหมุน ซึ่งเป็นส่วนที่ใส่วัตถุดิบที่ต้องการอบแห้ง โดย ได้มีการออกแบบให้มีใบกวาดเป็นครีบอยู่ภายใน ทำหน้าที่พาผลิตภัณฑ์ขึ้นไปแล้วปล่อยให้ตกลง มาอย่างอิสระ ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานไมโครเวฟอย่างทั่วถึง และไอน้ำที่ระเหยออกมาจาก ผลิตภัณฑ์สามารถเคลื่อนที่ออกไปได้สะดวก ทำให้การอบแห้งใช้เวลาน้อย

2. เครื่องดักจับไอน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดปริมาตรของไอน้ำก่อนเข้าปมสุญญากาศ เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำเมื่อปริมาตรของน้ำที่กลายเป็นไอจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นหลายเท่า ทำให้ปมสุญญากาศไม่สามารถที่จะดูดอากาศออกได้ทันกับปริมาตรไอน้ำที่ขยายตัวในถังอบ จึงทำให้ความสามารถในการดูดอากาศ ลดลงมา ส่งผลให้ความดันที่เป็นสุญญากาศลดลง นอกจากนั้นยังทำให้ไอน้ำเกิดการกลั่นตัวภายในถังอบและการอบแห้งไม่สามารถทำงานต่อได้ หรือทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งเปลี่ยนสภาพไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องดักจับไอน้ำ เพื่อให้ปมสุญญากาศทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตลอดช่วงเวลาการอบแห้ง

3. ปั้มสุญญากาศ เครื่องปมสุญญากาศเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ดูดอากาศทำให้เกิดสภาพสุญญากาศภายในถังอบ

อย่างไรก็ตาม การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศก็ยังมีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือ มีการใช้กระแสไฟฟ้าซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูง หากมีการใช้ระบบที่ผสมผสานกันระหว่างการอบแห้งวิธีดั้งเดิมที่ใช้ระบบลมร้อน สำหรับใช้ในการกำจัดความชื้นที่ระเหยได้ง่ายออกไป ตามด้วยการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศสำหรับกำจัดความชื้นที่ระเหยได้ยากออกไปในขั้นตอนสุดท้ายของการอบแห้ง อาจช่วยลดต้นทุนได้มากกว่าการอบแห้งโดยใช้ระบบไมโครเวฟแบบสุญญากาศเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลิตภัณฑ์และต้นทุนของแหล่งพลังงาน ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณา เนื่องจากมีผลต่อการเลือกกระบวนการในการทำแห้ง และต้องมีการพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งต้องมีคุณภาพสูงและเป็นที่ต้องการในท้องตลาด

น้ำในอาหาร

น้ำเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในอาหารธรรมชาติทั่วไป คือมีอยู่ระหว่างร้อยละ 70-95 น้ำที่มีอยู่ในอาหารมักเรียกว่า "ความชื้น" น้ำเป็นส่วนประกอบหลักของอาหารทุกชนิดโดยอยู่ในรูปอิสระ (free water) และเกาะเกี่ยวกับสารอื่น (bound water) น้ำอิสระเป็นน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างอาหาร อาจมีการเกาะตัวกับองค์ประกอบของอาหารบ้าง ด้วยแรงที่ไม่แข็งแรงมากนัก มีคุณสมบัติเหมือนน้ำปกติ สามารถเป็นตัวทำละลายได้ มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี และจุลินทรีย์สามารถนำน้ำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้ แต่น้ำส่วนนี้ก็ยังมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำอิสระในธรรมชาติอย่างแท้จริง จึงนิยมเรียกน้ำอิสระนี้ว่า "แอกทีฟวอเตอร์" (active water) ซึ่งหมายถึงน้ำที่ยังคงรักษาคุณสมบัติ

ของน้ำอิสระไว้ได้ (ณรงค์, 2538) ส่วนน้ำที่เกาะเกี่ยวกับสารอื่นเป็นน้ำที่เกาะติดกับอาหารด้วยพันธะที่แข็งแรงมาก อาจเป็นพันธะโควาเลนต์หรือพันธะอื่นๆ ไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย ไม่มี ส่วนในปฏิกิริยาเคมีและจุลินทรีย์ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Duckworth, 1972)

ในอาหารมีองค์ประกอบที่ละลายน้ำ หรือเกิดคอลลอยด์กับน้ำได้หลายชนิด องค์ประกอบเหล่านี้จะสร้างพันธะกับน้ำ น้ำซึ่งอยู่ในสถานะเกาะเกี่ยวกับพันธะอื่น ส่วนที่เหลือเป็นน้ำอิสระ น้ำอาจถูกดูดซับด้วยสารคอลลอยด์ และอยู่ในสภาพของเจลที่พองตัวเนื่องจากคุณสมบัติการมีขั้วของน้ำ น้ำชนิดนี้เรียกว่า น้ำของไฮเดชัน นอกจากนั้นน้ำอาจจับตัวกับเกลือบางชนิดซึ่งสามารถไล่ออกไปได้ด้วยวิธีการแปรรูปธรรมดา ถ้าองค์ประกอบของอาหารหรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อน้ำอิสระโดยทางอ้อม จึงทำให้ปริมาณน้ำอิสระไม่คงที่ อาหารต่างชนิดกันซึ่งมีความชื้นเท่ากันจึงไม่ จำเป็นต้องมีน้ำอิสระเท่ากัน ถ้าอาหารมีน้ำอิสระมากจะเน่าเสียง่าย เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ การทราบปริมาณน้ำอิสระในอาหารจึงสำคัญมากในการคาดคะเนว่า อาหารจะเกิดการเสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์หรือไม่ (ณรงค์, 2538)

การวัดปริมาณน้ำอิสระโดยตรงทำได้ยาก อย่างไรก็ตามน้ำอิสระมีความสัมพันธ์กับความดันไอตามกฎของเราท์ (Raoult's low) กล่าวคือ ความดันไอเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณน้ำอิสระ ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้ค่าความดันไอเป็นตัววัดความเป็นอิสระของน้ำ โดยที่ความเป็นอิสระของน้ำหรือวอเตอร์แอกติวิตี้จะมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนน้ำอิสระต่อน้ำที่มีอยู่ทั้งหมดในอาหาร (วิไล, 2543)

ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (วอเตอร์แอกติวิตี้)

ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ หรือ วอเตอร์แอกติวิตี้ (water activity : a_w) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ มีอยู่ในอาหาร เป็นน้ำที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบของโมเลกุลทางเคมีของอาหาร (bound water) และยังเป็นอิสระ (free water) อยู่ในอาหาร ถ้ามีมากจะทำให้อาหารเก็บไว้นานไม่ได้ หรือเรียกว่า อายุการเก็บรักษา (shelf-life) สั้น การหาความชื้นในอาหาร หาได้จากการนำอาหารไปอบแล้วชั่ง หาน้ำหนักของของแข็งที่เหลือ ทำให้ทราบความชื้นหรือปริมาณน้ำที่หายไป แล้วคำนวณออกมา เป็นร้อยละของความชื้นหรือร้อยละของน้ำที่อยู่ในอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าความชื้นของอาหารน้อย กว่าร้อยละ 50 หรือในอาหารแห้งโดยทั่วไปควรหาค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ หรือ a_w จะทำให้เห็น ความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของอาหารได้ชัดเจนกว่า เพราะถ้าค่าความชื้น ในอาหารเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยก็จะเห็นความแตกต่างของค่า a_w ได้ทันที

งานวิจัยการอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

Soysal (2004) ศึกษาการอบแห้ง parsley leaves โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟที่มีกำลังไมโครเวฟในช่วง 390-900 วัตต์พบว่า ในการอบแห้งมีการสูญเสียความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟลดลงเป็นผลให้อัตราเร็วในการอบแห้งลดลง การเพิ่มกำลังไมโครเวฟจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง จากการประเมินค่าสี พบว่า ไม่มีความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์สดและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงค่าสีไม่ขึ้นกับกำลังไมโครเวฟ และถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยไมโครเวฟจะเกิดสีดำขึ้นเป็นบางแห่ง แต่ก็ยังสามารถรักษาสีเขียวใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สดไว้ได้ การอบแห้งโดยใช้กำลังไมเครเวฟ 900 วัตต์แทน 360 วัตต์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี เนื่องจากลดเวลาในการทำแห้งได้ถึง 64 เปอร์เซ็นต์

Ozkan และคณะ (2007) ศึกษาการอบแห้งผักโขม (spinach) โดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 90-1,000 วัตต์ จนกระทั่งเหลือปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ 0.1 กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมน้ำหนักสารแห้งพบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 290 - 4,005 วินาที ขึ้นอยู่กับระดับกำลังไมโครเวฟ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 500 และ 800 วัตต์ จะให้ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองดีที่สุด และที่กำลังไมโครเวฟ 750 วัตต์ เป็นระดับกำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งผักโขม เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งต่ำ ประหยัดพลังงาน และคงปริมาณกรดแอสคอร์บิกและค่าสีของผลิตภัณฑ์ไว้ได้มากที่สุด

Rao และคณะ (1998) ศึกษาผลของการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศต่อการคืนรูป (rehydration) สี ความหนาแน่น คุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของแครอทแผ่นเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน และเครื่อง freeze-dry พบว่า แครอทแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศมีการคืนรูป ปริมาณ แอลฟา-แคโรทีน (a-carotene) และวิตามินซีสูงกว่า แต่มีความหนาแน่นต่ำกว่า และมีลักษณะเนื้อ สัมผัสที่นุ่มกว่าแครอทแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบลมร้อน ให้สี เนื้อสัมผัส และกลิ่นรส ที่เท่ากับหรือดีกว่าการทำแห้งโดยใช้เครื่อง freeze-dry

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

- ใบชาสดจีนสด จากโครงการหลวงขุนวาง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่
- ขมิ้นชันสด จากตลาดเมืองใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1.2 อุปกรณ์การผลิต

- เครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ ผลิตโดยบริษัทมาร์ชคูล ประเทศไทย
- ตู้อบเบเกอรี่
- เครื่องผสมอาหารแบบสองแขน (double arm mixer, Thailand)
- ถาด
- ตะแกรง
- เครื่องชั่งสองตำแหน่ง (Sartorius, Italy)
- ที่ฝานผักผลไม้

3.1.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- เครื่องวัดสี (Minolta Camera: ModelCR-310, Japan)
- ตู้อบลมร้อน (Memmert, Model : ULM500, Germany)
- เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ (AQUA LAB, Model: series 3, USA)
- โถดูดความชื้น
- เครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง (Sartorius, Model: CP224S, USA)
- ที่คีบกระป๋อง
- บีกเกอร์ ขนาด 50 ml

3.1.4 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- เครื่องHPLC (Shimadzu, Model: FCV-10 ALVP, Japan)
- คอลัมน์HPLC (Column-HPLC) (Inertsil®ODS-3 (GL.Sciences), 5 μm 4.6 x 250 mm, Japan)
- เครื่อง UV/VIS Spectrometer (Perkin Elmer precisely, Model: Lambda 35, USA)
- เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) (Büchi, Model: R-205, Switzerland)
- เครื่อง Freeze dry (LABCONCO Freeze dry sys/freezone®4.5, Model: 7751001, USA)

- เครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง (Sartorius, Model: CP224S, USA)
- Cuvette Quartz
- ปิเปต
- บิวเรต
- ขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 ml, 500 ml ,1000ml
- ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 ml, 500 ml ,1000ml
- บีกเกอร์ ขนาด 50 ml, 500 ml ,1000ml
- ขวดน้ำกลั่น
- กระดาษกรอง เบอร์ 4 (Whatman)
- กรวยกรอง
- แท่งแก้ว
- ตู้ดูดควัน
- กระบอกตวงขนาด 100 ml
- ลูกยางดูดสารเคมี

3.1.5สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

- สารมาตรฐาน curcumin (Fluka, India)
- สารมาตรฐาน EGCG (Sigma-Aldrich, Singapore)
- สารมาตรฐาน ECG (Sigma-Aldrich, Singapore)
- สารมาตรฐาน EC (Sigma-Aldrich, Singapore)
- Orthophosphoric acid ~85% (BDH Laboratory Supplies, England)
- Acetonitrile ยี่ห้อ LAB – SCAN (Analytical science, RCI, Thailand)
- Tetrahydrofuran (RCI Labscan Limited., Thailand)
- Methanol (RCI Labscan Limited., Thailand)
- 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl ($C_{18}H_{12}N_5O_6$) (Sigma life science จาก Sigma-Aldrich Pte. Ltd., Singapore)
- Folin – Ciocalteu's phenol reagent (MERCK, Darmstadt, Germany)
- Deionized water (RCI Labscan Limited., Thailand)

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของขมิ้นชันสด ได้แก่

- ค่าสี L, a*, b*
- ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)
- ความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณเถ้าทั้งหมด (AOAC, 2000)
- Antioxidant activity โดยวิธี DPPH assay ดัดแปลงวิธีจาก Masuda, 1999
- Total phenolic content โดยวิธี Folin –Ciocalten's colorimetric method ดัดแปลงวิธีจาก Ragazzi and Veronese,, 1973
- วิเคราะห์หาปริมาณ Cucumin ในขมิ้นชัน โดยใช้ Column C_{18} (250 X 4.6 mm.) reversed-phase Mobile phase เป็น 1% acetic acid : acetonitrile (45:55), UV detector วัดที่ λ = 425 nm, Injection 20μl flow rate 1.0 mL/min ดัดแปลงวิธีจาก ปรีชาและคณะ (2006)

3.2.2 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของของใบชาสด ได้แก่

- ค่าสี L, a*, b*
- ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)
- ความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณเถ้าทั้งหมด (AOAC, 2000)
- Antioxidant activity โดยวิธี DPPH assay ดัดแปลงวิธีจาก Masuda, 1999
- Total phenolic content โดยวิธี Folin –Ciocalten's colorimetric method ดัดแปลงวิธีจาก Ragazzi and Veronese,, 1973
- วิเคราะห์หาปริมาณ Catechins ในชาเขียว โดยใช้ Column C_{18} (250 X 4.6 mm.) reversed-phase Mobile phase A ประกอบด้วย ร้อยละ0.2 (v/v) phosphoric acid ร้อยละ86.5 (v/v), acetonitrile ร้อยละ12 (v/v) และ tetrahydofuran ร้อยละ1.5 (v/v) และ Mobile phase B ประกอบด้วย ร้อยละ0.2 (v/v) phosphoric acid ร้อยละ73.5 (v/v), acetonitrile ร้อยละ 25 (v/v) และ tetrahydrofuran ร้อยละ 1.5 (v/v)ใช้เวลาทั้งหมด 90 นาที โดยเริ่มจาก mobile phase A ร้อยละ100 ที่เวลา 0-30 นาที จากนั้น mobile phase B จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 100 ที่เวลา 31-40 นาที และที่เวลา 41-60 นาทีเป็น mobile phase B ร้อยละ 100 mobile phase B จะลดลงจากร้อยละ 100 เป็นร้อยละ 0 ที่เวลา 61-70 นาที และสุดท้ายเป็น mobile phase A ที่เวลา 71-90 นาที ฉีดตัวอย่าง

พร้อม internal satandard (4-amino salicylic acid) UV detector วัดที่ λ = 280 nm Injection 20μl flow rate 1.0 mL/min ดัดแปลงวิธีจาก Hirun and Roach (2011)

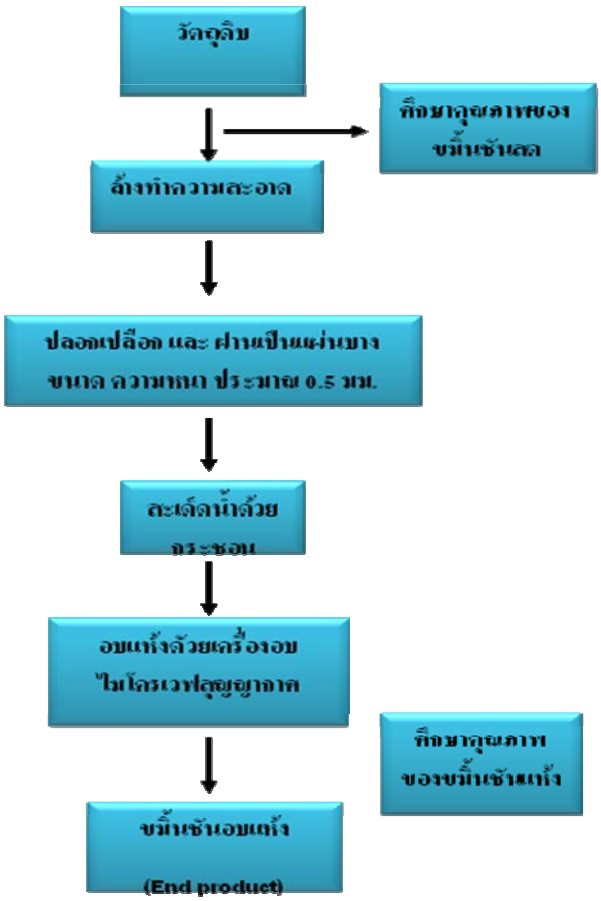
3.2.3 การพัฒนากรรมวิธีการทำแห้งสมุนไพรขมิ้นชัน โดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

นำขมิ้นชันสดจากตลาดสด ในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงมาล้างทำความสะอาดจากนั้นปอกเปลือกและฝานด้วยที่ฝานผลไม้ ขมิ้นชันที่ฝานแล้วจะมีความหนาประมาณ 0.5 มม. นำขมิ้นชันที่ฝานแล้วมาสะเด็ดน้ำให้แห้งด้วยกระชอน จากนั้นนำขมิ้นชัน 1 กิโลกรัม เขาตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศโดยทำการผันแปรกำลังไมโครเวฟ ที่ระดับ 2400 – 4000 watt. และ เวลาการให้ความร้อน 10 - 30 นาที โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design ประกอบด้วยสิ่งทดลอง 9 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กำลังไฟ (X_1) ของตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (X_2) ขมิ้นชัน

หน่วยทดลองที่	X_1 (วัตถ์)	X_2 (นาที)
1	2400	10
2	2400	20
3	2400	30
4	3200	10
5	3200	20
6	3200	30
7	4000	10
8	4000	20
9	4000	30

* 3^2 Factorial Design with Central point was employed to design the experiment.



รูปที่ 3.1 กรรมวิธีการอบแห้งขมิ้นชัน

3.2.4 การตรวจสอบคุณภาพของขมิ้นชัน ที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศ

ขมิ้นชันแห้งทุกสิ่งทดลองนำมาตรวจสอบคุณภาพกายภาพและทางเคมี ได้แก่

- ค่าสี L, a*, b*
- ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)
- ความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณเถ้าทั้งหมด (AOAC, 2000)

Antioxidant activity โดยวิธี DPPH assay ดัดแปลงวิธีจาก Masuda, 1999

- Total phenolic content โดยวิธี Folin –Ciocalten's colorimetric method ดัดแปลงวิธีจาก Ragazzi and Veronese, 1973

- ปริมาณสาร Cucumin ในขมิ้นชัน ปรีชาและคณะ (2006)

3.2.5 การพัฒนากรรมวิธีการทำแห้งชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟแบบสุญญากาศ

ใบชาจีนสดมาล้าง ทำความสะอาด จากนั้นชั่งใบชา 1 กิโลกรัมแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 200 °C นานประมาณ 2 นาที ใบชาที่นึ่งแล้วจะถูกนำมานวดด้วยเครื่องผสมอาหารแบบสองแขน นานประมาณ 1 นาที นำไปอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศโดยทำการผันแปรกำลังไมโครเวฟ ที่ระดับ 3200 – 4000 watt. และ เวลาการให้ความร้อน 20 - 30 นาที โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design ประกอบด้วยสิ่งทดลอง 9 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตาราง 3.2 กำลังไฟ (X_1) ของตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (X_2) ชาเขียว

หน่วยทดลองที่	X_1 (วัตถ์)	X_2 (นาที)
1	3200	20
2	3200	25
3	3200	30
4	3600	20
5	3600	25
6	3600	30
7	4000	20
8	4000	25
9	4000	30

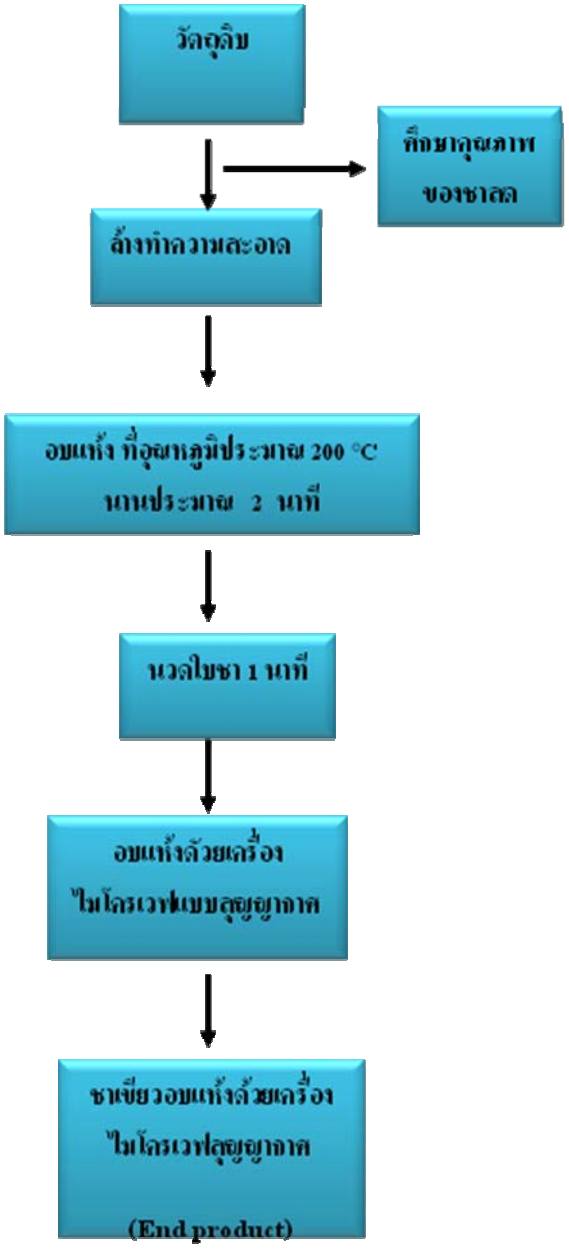
* 3^2 Factorial Design with Central point was employed to design the experiment.

3.2.6 การตรวจสอบคุณภาพของชาเขียว ที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟสุญญากาศ

ชาเขียวทุกสิ่งทดลองนำตรวจสอบคุณภาพกายภาพ และทางเคมี ได้แก่

- ค่าสี L, a*, b*
- ความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณเถ้าทั้งหมด (AOAC, 2000)

- Antioxidant activity โดยวิธี DPPH assay ดัดแปลงวิธีจาก Masuda, 1999
- Total phenolic content โดยวิธี Folin –Ciocalten's colorimetric method ดัดแปลงวิธีจาก Ragazzi and Veronese,, 1973
- วิเคราะห์หาปริมาณ Catechins ในชาเขียว Hirun and Roach (2011)



รูปที่ **3.2** แผนผังการผลิตชาเขียวอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

3.2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

จากแผนการทดลองแบบ Central Composite Design ประกอบ ด้วย 9 สิ่งทดลอง นำมาวิเคราะห์ Regression แบบ Quadratic model ดังสมการ

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2$$

โดยที่ Y คือผลตอบสนอง ได้แก่ Yield ปริมาณ สารสำคัญในขมิ้นชันและชาเขียว

X_1, X_2 คือตัวแปรอิสระหรือปัจจัยที่ศึกษา คือ กำลังไมโครเวฟ และเวลา

b_0 คือค่าคงที่ของสมการ

b_1, b_2 คือสัมประสิทธิของ Linear effects

b_{11}, b_{22} คือสัมประสิทธิ์ของ Quadratic effects

b_{12} คือสัมประสิทธิ์ของ Interaction effect

จากโมเดลผลตอบสนองทั้งหมดจะทำ Response surface graphs เพื่อดูพื้นผิวตอบสนอง โดยใช้โปรแกรม Design- Expert Program (Design-Expert version 6.0.10, Stat-Ease Inc, MN) เพื่อหา Optimization ของค่าสูงสุดในแต่ละผลตอบสนอง ให้ได้สภาวะการทำแห้งด้วยไมโครเวฟที่เหมาะสม

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

4.1 การศึกษาคุณภาพทางเคมีของสมุนไพรสด

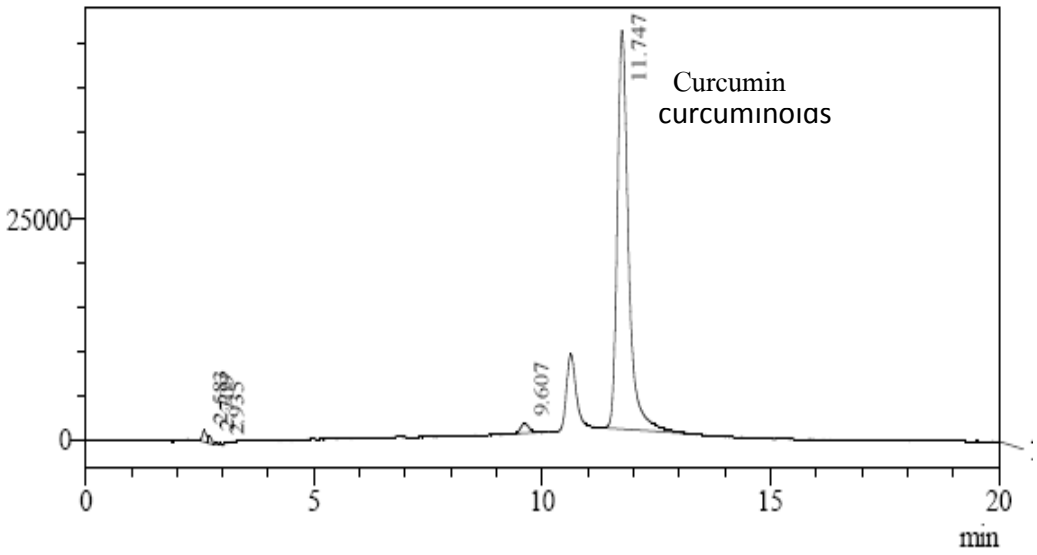
จากการวิเคราะห์คุณภาพของขมิ้นชันสด จากตลาดในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (ตารางที่ 4.1) พบว่าขมิ้นชันสดมีความชื้นสูงคือร้อยละ 91.52 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเง้าขิง (ขิงอ่อนมีความชื้นอยู่ ร้อยละ 94 และขิงแก่ ร้อยละ 90) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber)โดยขิงอ่อนมค่าเส้นไยอยู่ที่ประมาณ 10.6 % ขงแก่อยู่ที่ประมาณ 11.2 % ของน้ำหนักแห้ง (May และคณะ, 1999)ปริมาณเถ้าเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณธาตุอาหาร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าขิ้นชัน มีค่าเทียบเท่ากับเหง้าขิงซึ่งอยู่ที่ประมาณร้อยละ7 (May และคณะ, 1999; Phoungchandang และคณะ 2009) ความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH ซึ่งเป็นการวัดค่า การดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 ของ $DPPH^{\bullet}$ จะหลังจากการทำปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species ($R^{\bullet}$) ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้มของสารละลายสีม่วงก็จะลด (Abdel-Hameed, 2009; Moon และ Shibamoto, 2009) การรายงานผลของความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นดังกล่าวสามารถรายงานผลด้วยเป็นค่า 50% effective concentration (EC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ $DPPH^{\bullet}$ เหลืออยู่ 50% ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % Remaining $DPPH^{\bullet}$ กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง เพื่อหาค่า EC_{50} (Satyanarayana และ Eswaraiah, 2010) ค่า EC_{50} ของตัวอย่างขมิ้นชันได้ 57.19 ± 3.21 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งต่ำกว่าค่า EC_{50} ที่ได้จากขิง (ประมาณ 64 มิลลิกรัมต่อลิตร) (Puengphian & Sirichote, 2008) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขมิ้นชันสดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระค่อนข้างสูง ปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมด วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin – Ciocalteu method พบว่าขมิ้นชันมีสารฟินอลิกทั้งหมด 59.62 มิลลิกรัม GAE ต่อน้ำหนักขมิ้นชันแห้ง 1 กรัม ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณฟินอลทั้งหมดในขิงผงแห้งซึ่งมีปริมาณฟินอลิกทั้งหมดเพียง 60 มิลิกรัม GAE ต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม (Puengphian & Sirichote, 2008) สารฟินอลิกส่วนใหญ่เป็นสารต้านออกซิเดชันและสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ และการใช้สารประกอบฟินอลในการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟินอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว (Moon และ Shibamoto, 2009)

ตาราง 4.1 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันสด จากตลาดในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	98.52 ± 0.65
เถ้าทั้งหมด (ร้อยละ)	6.96 ± 0.06
ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระEC_{50} (mg/L)	57.19 ± 3.21
สารฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	59.62 ± 6.96
ปริมาณสาร Curcumin (g /100 g dry basis)	19.39 ± 3.38

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ปริมาณสาร Curcumin ซึ่งเป็นสารสำคัญที่พบในขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและป้องกันโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็งได้ดี ค่าดังกล่าวสมารถวิเคราห์ได้ด้วยเครื่อง HPLC (Wilken, และคณะ 2011) รูปที่ 1 แสดงโครมาโทแกรมสารมาตรฐาน Curcumin ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC ผลจากการวิเคราะห์จะเห็นว่า peak ของ Curcumin มี retention time ประมาณ 11.47 นาที และ วิธีที่ใช้วิเคราะห์มีประสิทธิ์ภาพเพราะสามารถแยกสารดังกล่าวได้ดี จากการทดลองพบว่า ค่า Curcumin ในขมิ้นชันที่ทำการทดลองนั้นมีค่าสูงคิดเป็นร้อยละ 9.39 ต่อน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับค่า Curcumin ในขมิ้นชันผงในงานทดลองอื่น (Sikkhamondhol, และคณะ 2009)



รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมสารมาตรฐาน Curcumin ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

4.2 ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (water activity; aw) **และค่าสีของขมิ้นชัน หลังอบแห้งด้วยวิธีไมโครเวฟสุญญากาศ**

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w) ของผลิตภัณฑ์ ผลจากการทดลองพบว่าขมิ้นชันในสิ่งทดลองที่ 3 6 และ 9 มีค่า a_w อยู่ในระดับต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 0.20 0.28 และ 0.19 ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า a_w ที่ต่ำกว่า 0.6 แสดงว่าอาหารมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์ และกิจกรรมทางชีวะเคมี เช่นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเป็นต้น (Perera, 2005) ทั้งนี้ค่า a_w ที่ต่ำยังแสดงถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่ยาวนานด้วย ในส่วนของค่าสี L หมายถึงค่าความสว่างโดย ค่า L มากหมายถึงมีความสว่างมาก ค่า a* หมายถึงค่าความเข้มของสีแดง และสีเขียว โดย a*บวกคือสีแดง และ a* ลบคือสีเขียว ในส่วนของค่า b* คือค่าความเข้มของสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดย b*บวกคือสีเหลือง และ b*ลบคือสีน้ำเงิน ค่าความสว่างยังใช้เป็นตัวบงชี้การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในผักและผลไม้ (Oms-Oliu, และคณะ 2006)

ผลจากตารางที่ 4.2 แสดงว่าระยะเวลาที่ใช้อบแห้งมีผลต่อค่าความสว่าง (L) ของขมิ้นชัน เพราะสิ่งทดลองที่ 3 6 และ 9 ซึ่งอบแห้งนาน 30 นาที มีค่า L มากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 4 และ 7 ที่อบแห้งนาน 10 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการอบโดยไมโครเวฟมีผลต่อการคล้ำของขมิ้นชันอบแห้งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (4000 w) เป็นระยะเวลานาน (30 นาที) สามารถรักษาสีไม่ให้เกิดการคล้ำเสียได้ดีกว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิดังกล่าวในระยะเวลาเพียง 10 นาที ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล โพลีฟีนอลอ๊อกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) และ เพอร์อ๊อกซิเดส (Peroxidase; POD) ซึ่งทำงานได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และหยุดการทำงานที่อุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส (Prathapan, และคณะ 2009; Sommano, และคณะ, 2011) อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่าง ในค่าสี a* และ b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าสี a* ของทุกสิ่งทดลองอยู่ในช่วง 18.6 – 23.2 และ ค่าสี b* ของทุกสิ่งทดลองอยู่ในช่วง 23.5 – 37.5 ซึ่งแปลว่าขมิ้นชันหลังอบแห้งทุกสิ่งทดลองมีสีส้มแดง

ตาราง 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	ค่าสี		
		L	a* (ns)	b* (ns)
1	0.99 ± 0.00 [a]	44.94 ± 3.11 [b]	19.66 ± 3.11	26.02 ± 5.78
2	0.97 ± 0.01 [a]	45.12 ± 1.15 [b]	18.68 ± 3.32	23.54 ± 2.96
3	0.20 ± 0.06 [b]	56.16 ± 4.22 [a]	22.31 ± 1.74	36.68 ± 6.67
4	0.98 ± 0.07 [a]	47.96 ± 2.36 [ab]	19.08 ± 3.18	30.59 ± 4.94
5	0.96 ± 0.02 [a]	45.63 ± 3.63 [b]	23.27 ± 2.96	25.02± 3.60
6	0.28 ± 0.13 [b]	56.48 ± 3.67 [a]	19.53 ± 1.66	37.53 ± 6.79
7	0.99 ± 0.00 [a]	46.13 ± 2.60 [b]	19.33 ± 1.03	28.56 ± 3.63
8	0.95 ± 0.02 [a]	48.69 ± 3.68 [ab]	22.58 ± 3.12	24.02 ± 6.07
9	0.19 ± 0.05 [b]	56.04 ± 2.57 [a]	20.74 ± 2.79	33.55 ± 6.90

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ และตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

4.3 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

การให้ความร้อนมีผลต่อความคงทนของ ส่วนประกอบของอาหารที่มีประโยชน์ต่อระบบชีวะวิทยา (bioactive compounds) อันได้แก่ วิตามิน และ สารที่มีฤทธิ์ต่อต้านอนุมูลอิสระ (Sommano และคณะ 2011) ตัวอย่างเช่นการให้ความร้อน แก่ Irish brown seaweeds ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ปริมาณฟินอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อให้อุณภูมิสูงกว่าจุดนี้ ปริมาณสารดังกล่าวจะลดลง :ซึ่งแปรผกผันกับค่า EC50 ที่จะลดลงต่ำที่สุดที่อุณภูมิดังกล่าว และมีค่าสูงขึ้นเมื่อให้ความร้อนสูงขึ้น (Rajauria และคณะ 2010) ในขณะที่การให้ความร้อนมีผลทำให้ปริมาณ ฟินอลลิกในขมิ้นอบแห้งลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้

สาร curcumin ในขมิ้นชันจัดเป็นสารที่อาจจะสลายได้โดยความร้อนโดยจากการศึกษาถึงผลกระทบของความร้อนต่อ ปริมาณ curcumin พบว่าการให้ความร้อน ด้วยการต้ม หรือการให้ความร้อนพร้อมกับ แรงดัน (pressure cooking) ในระยะเวลา 10 – 20 นาที สามารถทำให้ ปริมาณสารดังกล่าวลดลงถึง 20 - 50% (Suresh และคณะ 2007). ในอีกการทดลองหนึ่งพบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อปริมาณของ สาร curcumin ดังนั้นปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อปริมาณของ สาร curcumin (และคุณภาพอื่น ๆ) อาจจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ใช้ต่อ ขมิ้นก่อนท่จะมีการให้ความร้อน เช่นการปอก การฝาน การทำให้เป็นผง เป็นต้น (Bambirra และคณะ 2002)

การอบแห้งด้วยวิธีการ Microwace vacuum drying เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการอบแห้งอาหารเพื่อให้ อาหารยังคงรักษาระดับ สารที่มีประโยชน์ โดยการอบแห้งด้วยวิธีดังกล่าว อาหาร จะได้รับความร้อนโดยตลอดซึ่งทำให้อัตราการส่งถ่ายความร้อนที่เร็วขึ้น ในระยะเวลาที่ต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยวิธีการธรรมดาที่มีการ ส่งถ่ายความร้อนจากผิวนอก สู่ผิวในอย่างช้า ๆ (Gowen และคณะ 2006) ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ผลจากการทดลองพบว่า ค่า EC_{50} ของตัวอย่างขมิ้นชันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่อบนานขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า ขมิ้นชันในสิ่งทดลองที่ 3 มีปริมาณสารฟีนอลิกมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยสภาวะที่ใช้อบคือที่กำลังไฟฟ้า 2,400 วัตต์เป็นเวลา 30 นาที อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณสาร curcumin ในทุกตัวอย่างทดลองทดลองพบว่า ขมิ้นชันอบแห้งในสิ่งทดลองที่ 9 มีปริมาณสารดังกล่าวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) คือมีประมาณร้อยละ 19.04 เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นของขมิ้นชันทุกสิ่งทดลองพบว่า ขมิ้นชันสิ่งทดลองที่ 9 มีความชื้นต่ำกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิต ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าความชื้นในขมิ้นชันมีผลต่อปริมาณสาร curcumin โดยขมิ้นชันที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 5 จะมีสาร curcumin สูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆเกือบ 2 เท่า

การวิเคราะห์พื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ชาเขียว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการถดถอยที่เหมาะสม โดยสมการที่ได้จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง) และตัวแปรตาม (คุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ส่วนตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถ

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้องและมีค่า R^2 (coefficient of determination) จากสมการถดถอยทั้ง 9 สมการ พบว่า ตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันอบแห้ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และ curcumin ตารางที่ 4.5 และความสัมพันธ์ในรูปแบบ response surface ได้ถูกแสดงใน รูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ผลการทดลองดังกล่าวอธิบายได้ว่า ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ และ ปริมาณความชื้นจะลดลงเมื่อใช้กำลังไฟ และเวลาสูงสุด ถึง 30 นาที ปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมด และ curcumin มีแนวโน้มที่คล้าย ๆ กัน กล่าวคือ จะมีค่าลดลงเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าที่ต่ำ ในเวลาที่สั้น ดังนั้นจากผลการทดลองเหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าการอบขมิ้นชันครั้งละ 1 กิโลกรัมด้วยเครื่องไมโครเวฟสูญญากาศ กำลังไฟฟ้า 4000 วัตต์ในระยะเวลา 30 นาทีจะทำให้ รักษาระดับ ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และระดับสารที่มีฤทธิ์ต่อตารอนุมูลอิสระ (ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และ Curcumin) เมื่อนำข้อมูลนี้ ไปพลอตกราฟความสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (Design expert ver6) จะได้ช่วงอุณหภูมิ และกำลังไฟฟ้าที่แนะนำ (Optimized condition) ที่ กำลังไฟฟ้าระหว่าง 3500-4000 วัตต์ และ ใช้เวลาในการอบระหว่าง 27-30 นาที ดังที่แสดงในรูป 4.5 ส่วนรูปที่ 4.6 เป็นend product หรือ ขมิ้นชันอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลังไฟ 4000 วัตถ์ นาน 30 นาที จากภาพจเห็นว่าขมิ้นชันที่ได้มีคุณภาพดีเพราะมีสีส้มสว่างซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

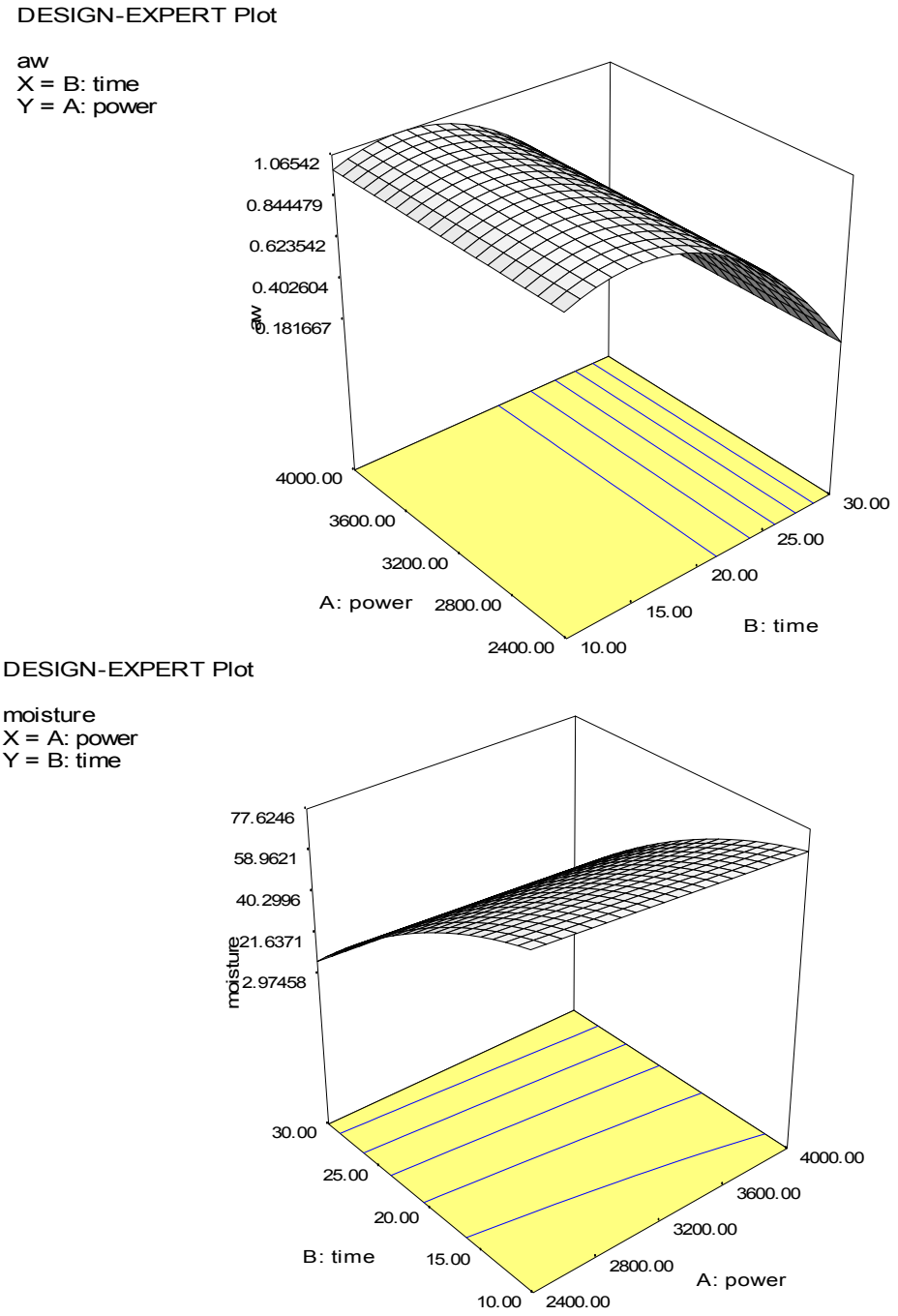
ตาราง 4.3 คุณสมบัติทางเคมีของขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} (mg/L)	ปริมาณสารฟินอลลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	ปริมาณสาร Curcumin (g /100 g dry basis)	ความชื้น (%)
1	59.562±6.964 [a]	54.949±19.173 [b]	10.083±0.373 [b]	74.180 ± 0.78[a]
2	23.791±2.363 [c]	38.139±1.506 [b]	4.323±0.687 [b]	56.939 ± 1.456[c]
3	46.762±3.097 [abc]	113.10±17.679 [a]	10.342±6.944 [b]	6.592 ± 0.236[f]
4	57.580±12.336 [a]	46.331±15.311 [b]	6.924±0.577 [b]	76.240 ± 0.842[a]
5	37.099±14.536 [abc]	34.294±6.911 [b]	4.188±0.085 [b]	50.077 ± 0.217[d]
6	24.123±5.947 [c]	47.440 ±8.772 [b]	8.366±1.757 [b]	6.852 ± 0.431[f]
7	52.982±12.185 [ab]	49.189±18.606 [b]	8.682±2.202 [b]	68.220 ± 0.309[b]
8	23.411±13.614 [c]	24.620±13.013 [b]	5.181±3.794 [b]	41.530 ± 0.196[e]
9	32.941±6.183 [bc]	48.676 ±8.842 [b]	19.042±0.379 [a]	4.590 ± 0.178 [g]

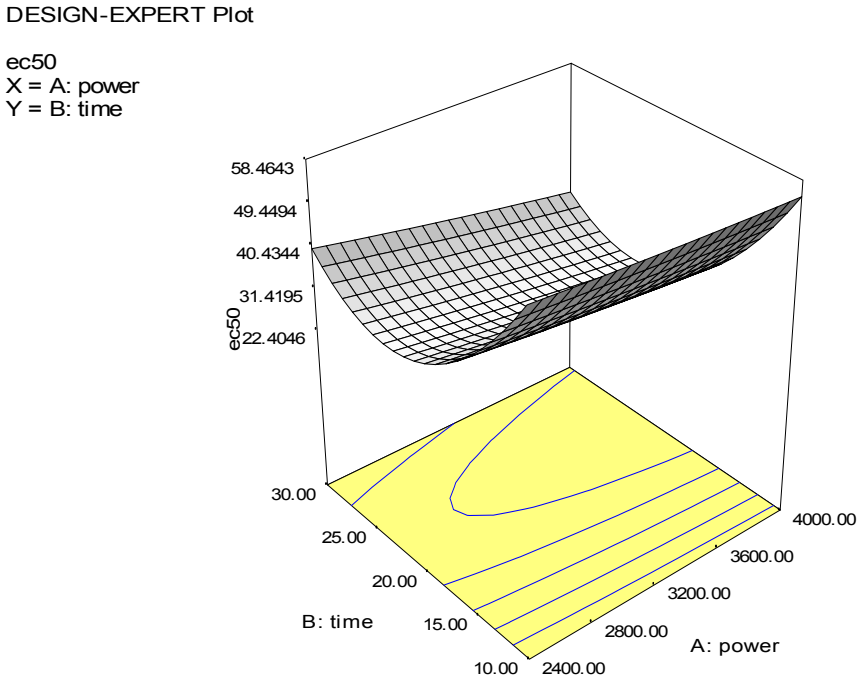
* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

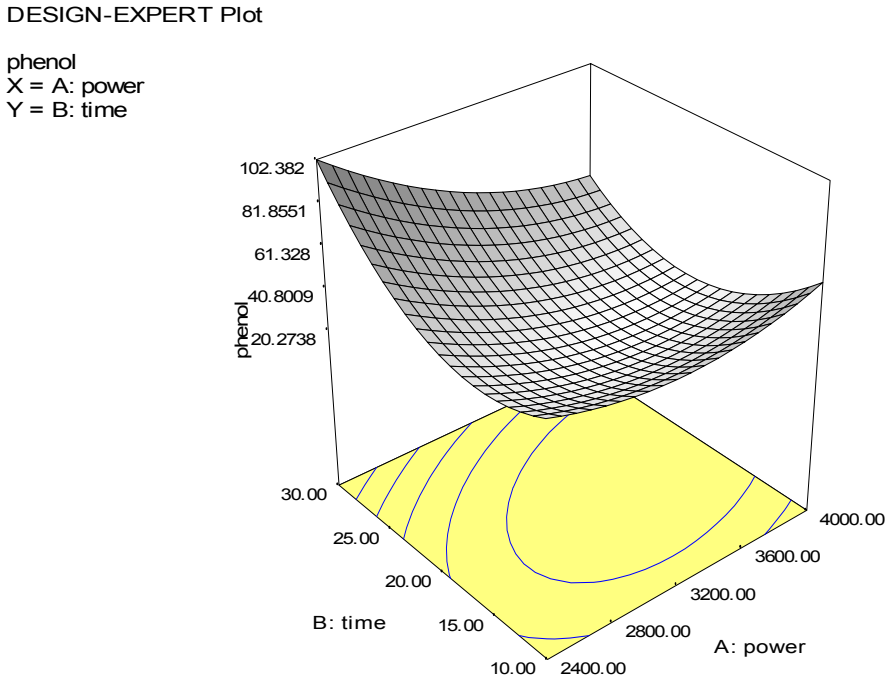
ตาราง 4.4 Regression models ของการทดลองขมิ้นชันที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

คุณภาพ	สมการ	p-value	R^2
ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	$Y = 0.277 + 0.108\ X_2 - 3.717E-003\ X_2^2$	< 0.0001	0.9961
ความชื้น (%)	$Y = 100.065 - 7.201E-003X_1 + 0.175X_2 - 0.098\ X_2^2 + 1.183E-004\ X_1\ X_2$	< 0.0001	0.9923
ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50}	$Y = +119.806+1.957E-004\ X_1 - 7.404\ X_2 + 0.176\ X_2^2 - 2.263E-004\ X_1\ X_2$	0.0047	0.6606
ปริมาณสารฟินอลลิกทั้งหมด	$Y = +247.010 - 0.101\ X_1 - 4.193\ X_2 + 1.889E-005\ X_1^2 + 0.276\ X_2^2 - 1.833E-003 X_1\ X_2$	0.0005	0.8116
ปริมาณสารเคอคิวมิน (curcumin)	$Y = 87.128 - 0.036\ X_1 - 3.213\ X_2 + 4\ 869E-006\ X_1^2 + 0.060\ X_2^2 + 3.156E-004\ X_1X_2$	0.0023	0.7534

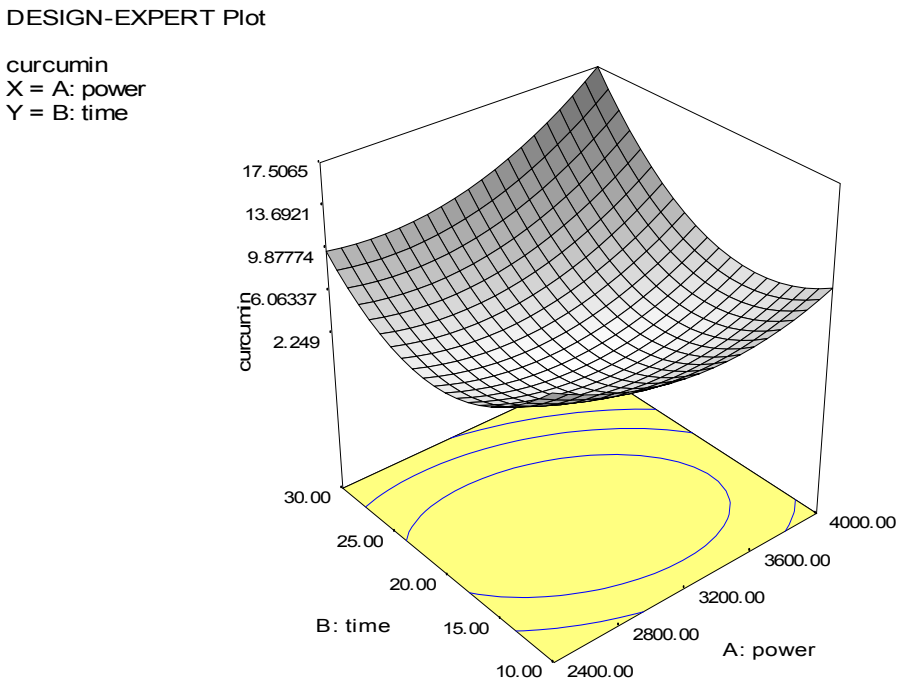


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปร ค่าวอร์เตอร์แอ๊คติวิตี้ **(a_w)** และ ความชื้น **(%)**

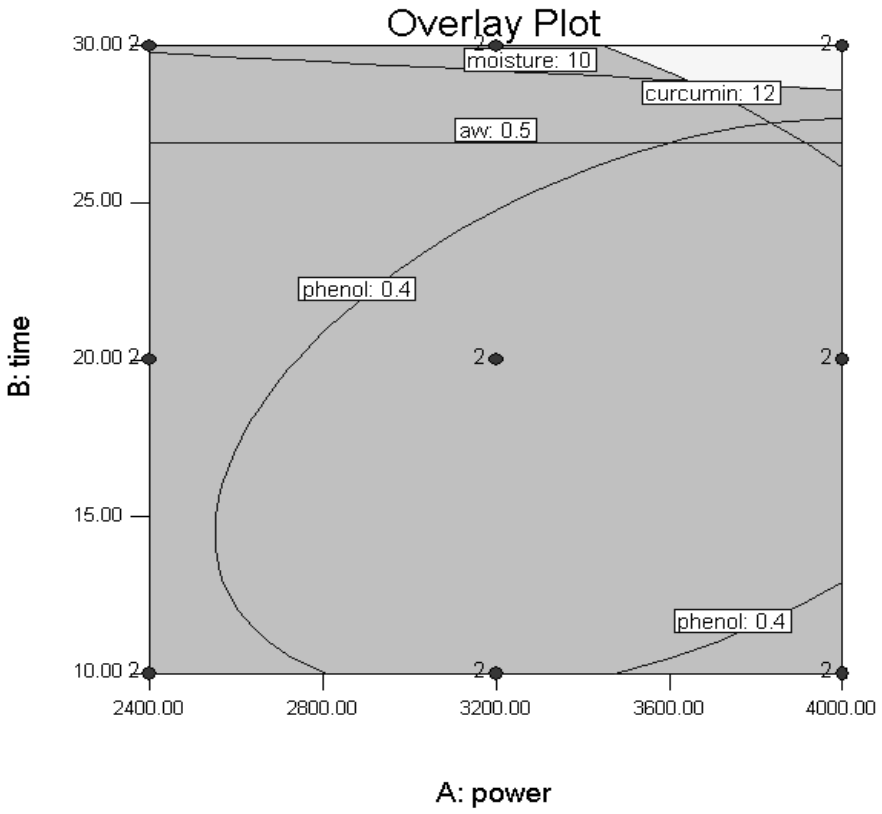




รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปรค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปรค่าปริมาณสาร Curcumin



รูปที่ 4.5 Optimization point ของการอบขมิ้นชันด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

รูปที่ 4.6 ขมิ้นชันอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

4.4 การศึกษาคุณภาพทางเคมีกายภาพของชาสด

จากการวิเคราะห์คุณภาพของใบชาจีนสด จากไร่โครงการหลวงขุนวาง อ.แม่วาง จ. เชียงใหม่ เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2553 โดยการสุ่ม 3 ซ้ำ ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.5

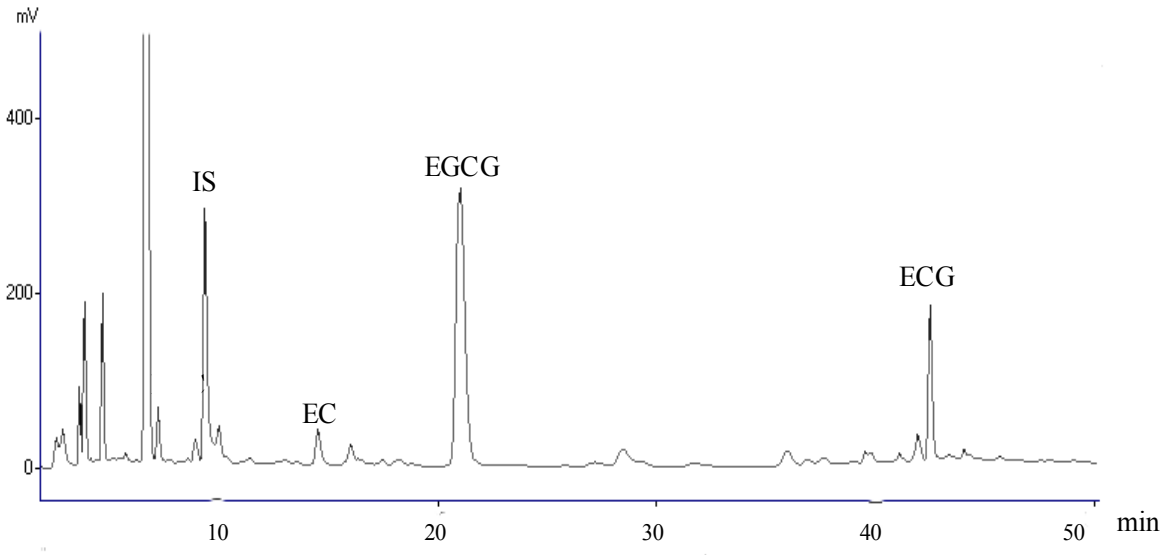
ตาราง 4.5 คุณสมบัติทางเคมีของใบชาจีนสด จากโครงการหลวงขุนวาง อ.แม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณ
ความชื้น (ร้อยละ)	78.67 ± 0.20
เถ้าทั้งหมด (ร้อยละ)	1.73 ± 0.17
ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระEC_{50} (mg/L)	0.83 ± 0.11
ปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมด(mg GAE/ g dry basis)	82.312 ± 8.915
ปริมาณสาร Epicatechin (EC) (mg /g dry basis)	16.321 ± 0.542
ปริมาณสาร Epigallocatechin gallate (EGCG)(mg /g dry basis)	17.561 ± 0.486
ปริมาณสาร Epictechin gallate (ECG)(mg /g dry basis)	0.825 ± 0.210

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ผลจากตารางที่ 4.5 แสดงว่าใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง อ.แม่วาง จังหวัดเชียงใหม่มีความชื้นสูง (ร้อยละ 78.67 ± 0.20) และมีเถ้าร้อยละ 1.73 ± 0.17 ซึ่งเถ้าในใบชาจะประกอบไปด้วยธาตุ โปแตสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก แมกกานีส ซัลเฟอร์ อลูมิเนียม โซเดียม ซิลิคอน สังกะสี และ ทองแดง (ปรียนันท์, 2549) ในส่วนของค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay) หรือ EC_{50} พบว่าใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง มีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับใบชาสดจากแหล่งเพาะปลูกอื่นในประเทศไทยดังแสดงในงานวิจัยของ Pongtip aและ Wandee (2005) ที่พบว่าชาที่ปลูกจากแหล่งอื่นๆ ของประเทศไทยมีค่า EC_{50} เฉลี่ยเท่ากับ 78.12 ± 52.15 mg/L ซึ่งแปลว่าใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงมาก ตารางที่ 4.6 ยังแสดงปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมด (total phenolic) จากการทดลองพบว่าใบชาจีนสด จากโครงการหลวงขุนวางมีปริมาณสารดังกล่าวใกล้เคียงกับใบชาชุนมี(Chun-me)จากประเทศจีน (87.0 ± 2.2) ที่แสดงในงานวิจัยของ Khokhar และ Magnusdottir (2002) แต่มากกว่าที่แสดงในงานวิจัยของ Gulati และคณะ (2003) และ Claudia และ คณะ(2008) ประมาณ2-3 เท่า ซึ่งแปลว่าคือใบชาจีนสดที่ใช้ในการทดลองมีคุณภาพที่ดี เมื่อพิจารณาปริมาณสาร Tea Polyphones ซึ่งได้แก่ (-)- epigallocatechin gallte (EGCG), Epicatechin (EC) และ Epictechin gallate (ECG)

ในใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง พบว่ามีสาร Tea Polyphones ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับการศึกษาของ Yung-Sheng Lin และ คณะ (2003)ที่ศึกษาปริมาณสาร Tea Polyphones ในชาเขียวในประเทศไต้หวัน 28 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของสาร Tea Polyphones ใบชาจีนสด จากโครงการหลวงขุนวาง พบว่ามีปริมาณสาร EGCG สูงที่สุด ตามด้วย ECG และ EC ตามลำดับ ซึ่งสาร EGCG นี้เป็นสารหลักในใบชาที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ในการต้านโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ และ โรคเบาหวาน



รูปที่ 4.7 โครมาโทแกรมสารสำคัญของใบชาจีนสดและ Internal standard (4-amino salicylic acid) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

จากรูปที่ 4.7 แสดงโครมาโทแกรมและ Retention times ของ Internal standard (4-amino salicylic acid) Epicatechin (EC), Epigallocatechin gallate (EGCG) และ Epictechin gallate (ECG) ที่ 9.8, 15.2, 22.5 และ 43.2 นาที ตามลำดับ

4.5 การศึกษาคุณภาพทางกายภาพของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

ตาราง 4.6 คุณสมบัติทางกายภาพของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	ความชื้น (%)	ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	ค่าสี		
			L	a*	b*
1	32.880 ± 1.400^{a}	0.79 ± 0.27^{a}	44.03 ± 3.69^{b}	$- 3.00 \pm 1.01^{a}$	10.83 ± 2.58^{b}
2	6.863 ± 1.849^{b}	0.42 ± 0.19^{bc}	53.94 ± 1.04^{a}	$- 6.09 \pm 0.12^{b}$	17.64 ± 0.65^{a}
3	5.482 ± 1.208^{b}	0.36 ± 0.15^{bc}	53.44 ± 1.29^{a}	$- 5.95 \pm 0.35^{b}$	17.80 ± 0.97^{a}
4	9.706 ± 2.675^{b}	0.56 ± 0.25^{ab}	50.49 ± 1.09^{a}	$- 5.14 \pm 0.26^{b}$	16.85 ± 0.80^{a}
5	3.244 ± 0.321^{b}	0.26 ± 0.02^{c}	53.32 ± 1.23^{a}	$- 5.70 \pm 0.48^{b}$	16.55 ± 0.80^{a}
6	3.523 ± 0.223^{b}	0.19 ± 0.04^{c}	53.00 ± 1.85^{a}	$- 5.93 \pm 0.65^{b}$	17.20 ± 0.32^{a}
7	4.324 ± 0.138^{b}	0.24 ± 0.05^{c}	50.33 ± 0.70^{a}	$- 5.83 \pm 0.42^{b}$	15.06 ± 0.64^{a}
8	3.599 ± 0.071^{b}	0.19 ± 0.01^{c}	50.64 ± 0.84^{a}	$- 5.99 \pm 0.40^{b}$	14.74 ± 0.57^{a}
9	3.148 ± 0.397^{b}	0.16 ± 0.02^{c}	50.67 ± 1.02^{a}	$- 6.26 \pm 0.30^{b}$	14.82 ± 0.54^{a}

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ(a_w) และ ค่าสี L a* b* ของชาเขียวอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศทั้ง 9 หน่วยทดลอง จากการศึกษาพบว่าชาเขียวมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว คือที่ 3200 วัตถ์ ความชื้นของชาเขียวลดลงจากร้อยละ 78 เป็น ร้อยละ 32 ในเวลา 20 นาที และ ลดลงจากร้อยละ 32 เป็น ร้อยละ 5 ใน 5 นาทีต่อมา แต่ที่ 3500 วัตถ์ความชื้นจะลดลงจากร้อยละ 78 เป็นร้อยละ 9 ใน 20 นาที และที่ 4500 วัตถ์ ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วที่สุดคือจากร้อยละ 78 เป็นร้อยละ 3 ใน 20 นาที ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Xiangyang และ คณะ (2010) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการอบชาเขียวด้วย 4 วิธีคือ อบด้วยเตาอบลมร้อนธรรมดา อบด้วยเตาอบลมร้อยสุญญากาศ อบด้วยเตาอบไมโครเวฟ และ อบด้วยเตาอบไมโครเวฟสุญญากาศ จากการศึกษาพบว่า การอบชาด้วยเตาอบไมโครเวฟสุญญากาศ จะใช้เวลาน้อยกว่าการอบด้วยเตาอบลมร้อนธรรมดา 20 เท่า และ คุณภาพของชาที่อบด้วยเตาอบไมโครเวฟสุญญากาศจะดีกว่าชาเขียวที่อบด้วยวิธีอื่นๆ ในส่วนของการศึกษาค่ากิจกรรมน้ำอิสระของชาเขียวพบว่า กำลังไฟและเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า a_w ของชาเขียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.5$) เมื่อ

พิจารณากำลังไฟที่ใช้ในการอบแห้งชาเขียวด้วยไมโครเวฟ ที่ 3200 วัตถ์ ต้องอบชาอย่างน้อย 25 นาที เพื่อให้ชามีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 เพราะที่ระดับนี้จะป้องกันการเจริญของเชื้อจุลลินทรีย์และเชื้อราแทบทุกชนิดซึ่งจะส่งผลให้ชาเก็บไว้ได้นาน ส่วนกำลังไฟ 3600 วัตถ์ต้องอบอย่างน้อย 20 นาที แต่ถ้าที่ 4000 วัตถ์อบนาน 20 นาทีก็จะทำให้ a_w ต่ำกว่า 0.6

นอกจากนั้นตารางที่ 4.6 ยังแสดงค่าสี L a* b* ของทั้ง 9 หน่วยทดลอง จากการทดลองพบว่าค่าสี L หรือค่าความสว่าง a* หรือค่าสีแดง เขียว และ b* หรือค่าสีเหลือง น้ำเงิน ของชาเขียวอบแห้งหน่วยทดลองที่ 2 ถึง หน่วยทดลองที่ 8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีเพียงชาเขียวอบแห้งของหน่วยทดลองที่ 1 ที่มีค่า L a*และ b* ต่ำกว่าหน่วยทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าความสว่างต่ำลงนี้น่าจะมาจากชาเขียวอบแห้งจากหน่วยที่ 1 มีความชื้นสูงกว่าหน่วยทดลองอื่น ๆ ความชื้นในใบชานี้จะกระตุ้นให้เกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO)ได้ เร็วขึ้น (Gulati และคณะ., 2003) จึงส่งผลให้ชาในหน่วยทดลองที่ 1 นี้มีสีที่คล้ำกว่าชาในหน่วยทดลองอื่น ๆ

4.6 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณสาร Tea Polyphenols ในชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศทั้ง 9 สิ่งทดลอง ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า พลังงาน (3200 3500 และ 4000 วัตถ์ของเครื่องอบไมโครเวฟ)และเวลาที่ใช้อบชา (20 25 และ30 นาที) ไม่มีผลต่อปริมาณสาร EC และ EGCG ในชาเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.5) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Gulati และคณะ., 2003) ที่ศึกษาการใช้พลังงานไมโครเวฟเพื่อเพิ่มคุณภาพของชาเขียว และ การวิจัยของ Xiangyang และ คณะ (2010) ที่ศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการทำแห้งต่อคุณภาพชาเขียว ทั้งสองงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นเวลา อุณหภูมิที่ใช้ในการอบชา (ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส) ไม่มีโดยตรงต่อปริมาณสาร EC และ EGCG และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟช่วยเพิ่มคุณภาพของชาเขียว ในเรื่อง สี กลิ่น และ รสชาติ ได้ โดยชาเขียวที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟจะได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่าชาเขียวที่อบแห้งด้วยวิธีดังเดิม อย่างไรก็ตามผลจาการทดลองในตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าพลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งชามีผลต่อปริมาณสาร ECG ในชาเขียวเล็กน้อย โดยระยะเวลาการอบที่นานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสาร ECG ลดลงเล็กน้อยในบางสิ่งทดลอง

ตาราง 4.7 ปริมาณสาร Tea Polyohenols ในชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	EC (mg/g dry basis) ns*	EGCG (mg/g dry basis) ns*	ECG (mg/g dry basis)	Total catechins*
1	10.705 ± 5.350	13.043 ± 2.637	1.396 ± 0.136^{abc}	25.144
2	15.220 ± 0.890	17.410 ± 3.309	1.116 ± 0.394^{bcd}	33.746
3	16.525 ± 0.388	16.445 ± 4.179	1.029 ± 0.268^{bcd}	33.999
4	13.245 ± 1.463	15.960 ± 2.121	1.611 ± 0.239^{a}	30.816
5	12.620 ± 0.197	12.695 ± 1.619	0.950 ± 0.061^{cd}	26.265
6	17.170 ± 1.088	16.675 ± 2.001	1.423 ± 0.027^{abc}	35.268
7	12.880 ± 1.032	14.245 ± 0.134	1.224 ± 0.042^{abcd}	28.349
8	13.800 ± 1.810	16.895 ± 0.176	1.485 ± 0.001^{ab}	32.180
9	14.690 ± 2.771	11.415 ± 0.176	0.920 ± 0.138^{d}	27.025

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ ปริมาณ Total catechins ได้จากการคำนวณโดยรวมปริมาณEC, EGCG และ ECG เข้าด้วยกัน ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 แสดงค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมดของชาเขียวที่อบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า พลังงาน (3200 3500 และ 4000 วัตถ์ของตู้อบไมโครเวฟ)และเวลาในการอบชาเขียว (20 25 และ30 นาที) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมดในชาเขียว ($P>0.5$)

ตาราง 4.8 ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมดของชาเขียวที่เครื่องแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ

หน่วยทดลองที่	ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} (mg/L) ns*	ปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis) ns*
1	0.922 ± 0.058	74.39 ± 13.61
2	0.628 ± 0.141	62.97 ± 23.12
3	0.733 ± 0.330	72.67 ± 32.4
4	1.494 ± 1.070	70.15 ± 6.36
5	0.775 ± 0.097	61.64 ± 5.62
6	0.657 ± 0.024	57.51 ± 5.15
7	1.604 ± 1.064	100.48 ± 67.11
8	1.510 ± 0.398	62.35 ± 0.78
9	0.843 ± 0.030	76.36 ± 28.51

* แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากการทดลอง 3 ซ้ำ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P□ 0.05)

4.7 การวิเคราะห์พื้นที่ตอบสนอง (Response surface methodology) ของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

การวิเคราะห์พื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ชาเขียว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการถดถอยที่เหมาะสม โดยสมการที่ได้จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง) และตัวแปรตาม (คุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์) ทำการเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในโครงสร้างของสมการ แล้วคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ส่วนตัวแปรอิสระที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตามจะถูกตัดออกไป เพื่อให้สมการที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามได้อย่างถูกต้องและมีค่า R^2 (coefficient of determination) สูง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ศึกษาเพื่อให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาสมการถดถอย พบว่า ปริมาณชา

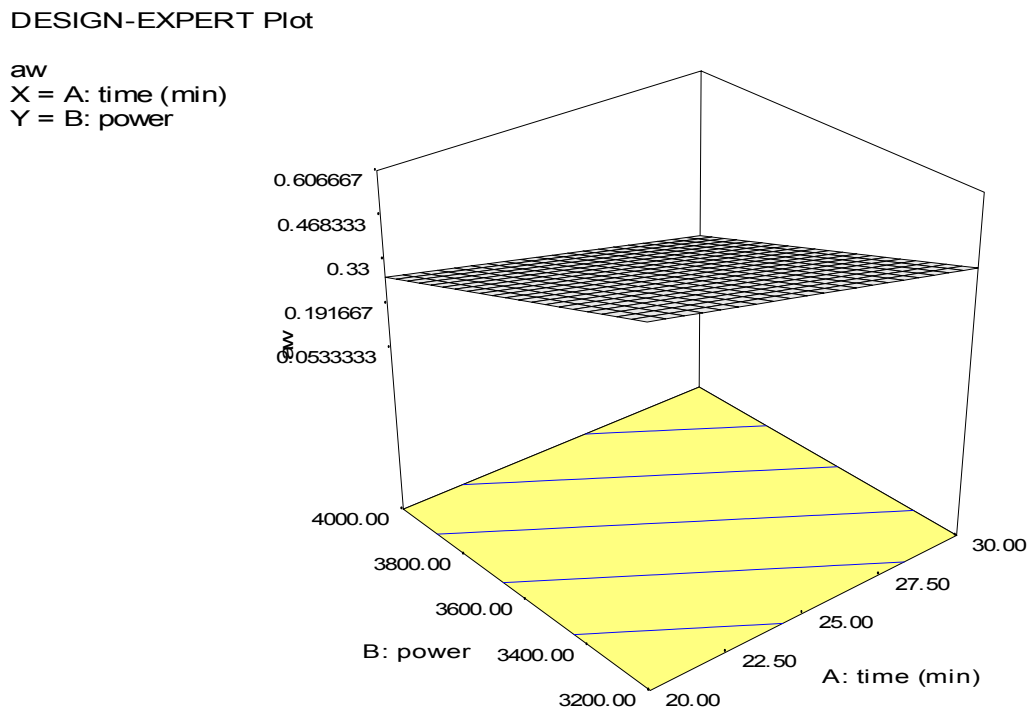
พลังงาน และเวลาที่ใช้ทำแห้งมีความสัมพันธ์กับบางคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.10

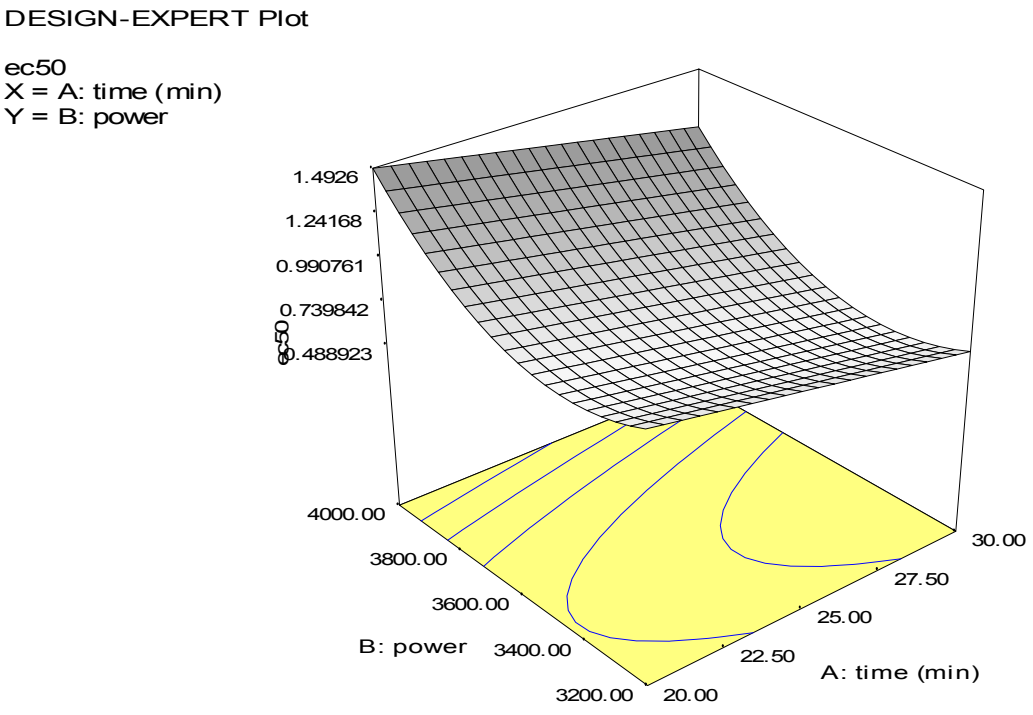
ตาราง 4.9 Regression models ของการทดลองชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

คุณภาพ	สมการ	p-value ($p \leq 0.05$)	R^2
ค่ากิจกรรมน้ำอิสระ (a_w)	$Y = 0.236667 - 0.022667\ X_1 - 4.08333E-004\ X_2$	0.0101	0.783
ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระEC_{50}	$Y = 24.92433 - 0.34387X_1 - 0.013668\ X_2 + 1.99542\ E\text{-}006\ X_2^2$	0.0365	0.7934
ปริมาณสารฟีนอลลิกทั้งหมด	$Y = 65.8369 - 0.79622 - 0.02730X_1 + 0.044513X_2^2 + 5.43643E\text{-}006\ X_2^2 - 4.47345E - 004\ X_1X_2$	0.056	0.9320

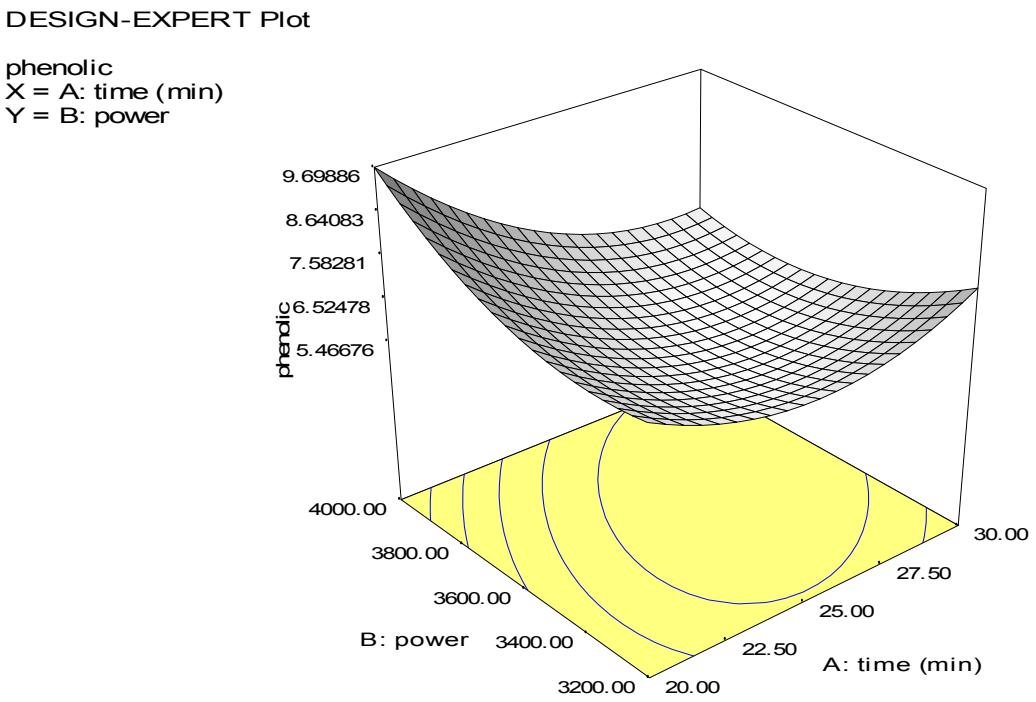
* X_1 = Power, X_2 = Time

จากสมการถดถอยทั้ง 10 สมการ พบว่า ตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เขียว ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ดังนั้น เมื่อนำสมการถดถอยของตัวแปรดังกล่าวข้างต้น ไปสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface) ที่ผันแปรปริมาณชา พลังงานและระยะเวลาที่ใช้ทำแห้ง ได้ผลดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



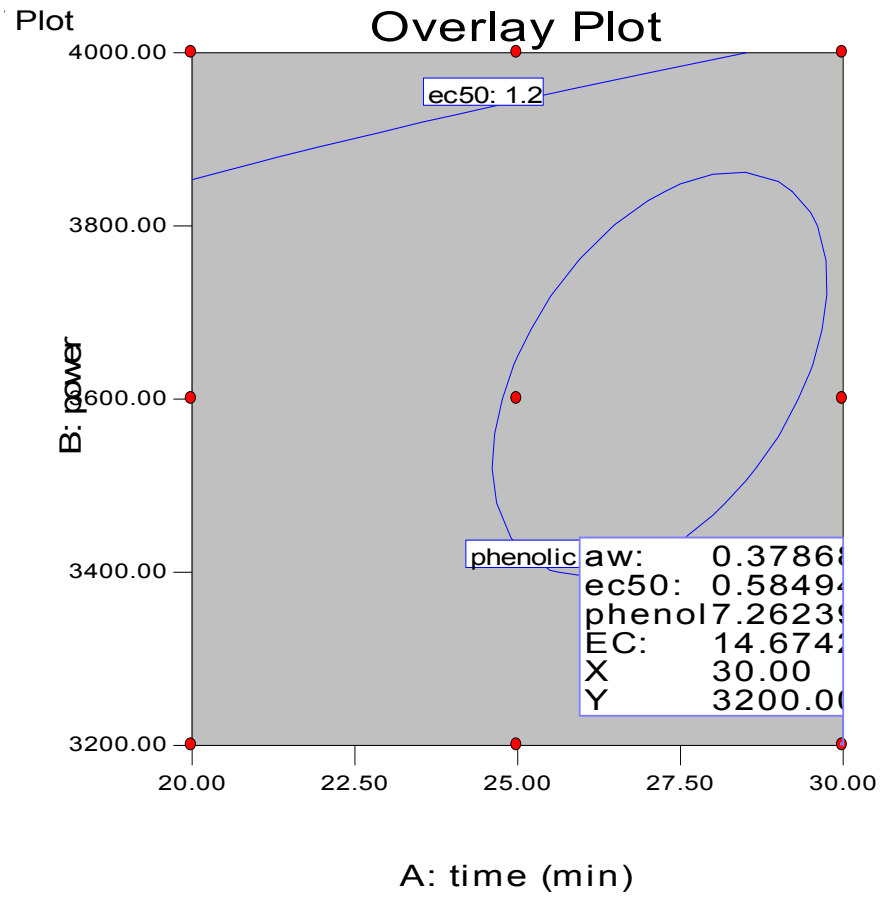


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปรค่ากิจกรรมน้ำอิสระ a_w และ ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50}



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์แบบ Response surface ระหว่างกำลังไฟฟ้า (วัตต์), เวลา (นาที) และตัวแปรปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่า เมื่อใช้สภาวะในการผลิตชาเขียวที่พลังงานสูง และ ระยะเวลาที่นานจะทำให้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่มีค่า a_w ที่ลดต่ำลง ซึ่งค่า a_w ที่ต่ำลงนี้มีผลทำให้ชาเขียวมีระยะเวลาการเก็บที่ยาวนานขึ้น ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระจะเพิ่มขึ้นตามพลังงานและเวลาการอบชาที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดการอบด้วยพลังงานสูงและระยะเวลาสั้น (พลังงาน 4000 วัตถ์ อบนาน 20 นาที) ทำให้ชาเขียวมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด อย่างไรก็ตามถ้าอบชาเขียวด้วยพลังงานไมโครเวฟสูงเป็นเวลานานขึ้นจะทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดลดลงซึ่งสอดคล้องกับงาน Julkunen-Tiitto (1985) พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งจาก 48ºC ถึง 60ºC ทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของใบหลิว (willow leaves) ลดลง นอกจากนี้ ดังนั้นการอบชาเขียวที่เหมาะสมคือการใช้พลังงานต่ำแต่อบเป็นเวลานาน เพื่อรักษาสารปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในชาเขียว



รูปที่ 4.10 Optimization point ของการอบชาเขียวด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.10 Optimization point ของการอบชาเขียว 1 กิโลกรัม ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ คือ การอบที่พลังงานไมโครเวฟ 3200 วัตถ์ และ อบนาน 30 นาที ซึ่งการอบที่จุดนี้จะทำให้ชาเขียวมีค่า a_w เท่ากับ 0.3786 ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ EC_{50} เท่ากับ 0.5849 และมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 7.2623 รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพสีของชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ และ ชาเขียวอบแห้งด้วยวิธีดั่งเดิมซื้อจากตลาดในตัวเมืองเชียงใหม่ ชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศมีคุณภาพสีที่ดีกว่า เพราะสีเขียวสดกว่าเป็นคุณสมบัติที่ผู้บริโภคต้องการ

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบคุณภาพสีของชาเขียวอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศ และ ชาเขียวอบแห้งด้วยวิธีดั่งเดิม (เตาอบลมร้อน)

4.8 เปรียบเทียบคุณภาพคุณภาพขมิ้นชันอบแห้ง และ ชาเขียว ที่อบด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ กับขมิ้นชันสด และ ใบชาสด

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณสารฟีนอกลิกทั้งหมด และ curcucmin ของขมิ้นชันสด และขมิ้นชันอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศสิ่งทดลองที่ดีที่สุด (ที่พลังงานไมโครเวฟ 4000 วัตถ์ และอบนาน 30 นาที) ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารดังกล่าวยังคงเหลือในขมิ้นชันอบแห้งมากว่า ร้อยละ 85

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณสารฟีนอกลิกทั้งหมด และ Tea polyphenols ของใบชาสด และชาเขียวอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศสิ่งทดลองที่ดีที่สุด (ที่พลังงานไมโครเวฟ 4000 วัตถ์ และอบนาน 30 นาที) ผลจากตารางแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารดังกล่าวยังคงเหลือในขมิ้นชันอบแห้งมากว่า ร้อยละ 88 โดยเฉพาะปริมาณสาร Epicatechin (EC) และ Epictechin gallate (ECG) ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 และ 24 ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุน่าจะมาจากความร้อนในการอบกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของสาร EGCG ให้เป็นสาร EC และ ECG

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณสารฟินอกลิกทั้งหมด และ curcucmin ของขมิ้นชันสด และขมิ้นชันอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

คุณภาพ	ขมิ้นชันสด	ขมิ้นชันอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ	% Recovery*
1. ปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	56.92 ± 6.96	48.676 ± 8.8842	85.51
2. ปริมาณสาร curcumin (g /100 g dry basis)	19.39 ± 3.38	19.042 ± 0.379	98.19

* % Recovery คือค่าคงเหลือของสารนั้น ๆ ที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณสารฟินอกลิกทั้งหมด และ Tea polyphenols ของชาเขียวสด และชาเขียวอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

คุณภาพ	ใบชาสด	ชาเขียวอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ	% Recovery*
1. ปริมาณสารฟินอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g dry basis)	82.312 ± 8.915	72.67 ± 32.40	88.28
2. ปริมาณสาร Epicatechin (EC) (mg /g dry basis)	16.321 ± 0.542	16.525 ± 0.388	101.24
3. ปริมาณสาร Epigallocatechin gallate (EGCG)(mg /g dry basis)	17.561 ± 0.486	16.445 ± 4.179	93.64
4. ปริมาณสาร Epictechin gallate (ECG)(mg /g dry basis)	0.825 ± 0.210	1.029 ± 0.268	124.72

* % Recovery คือค่าคงเหลือของสารนั้น ๆ ที่ได้จากการคำนวณ

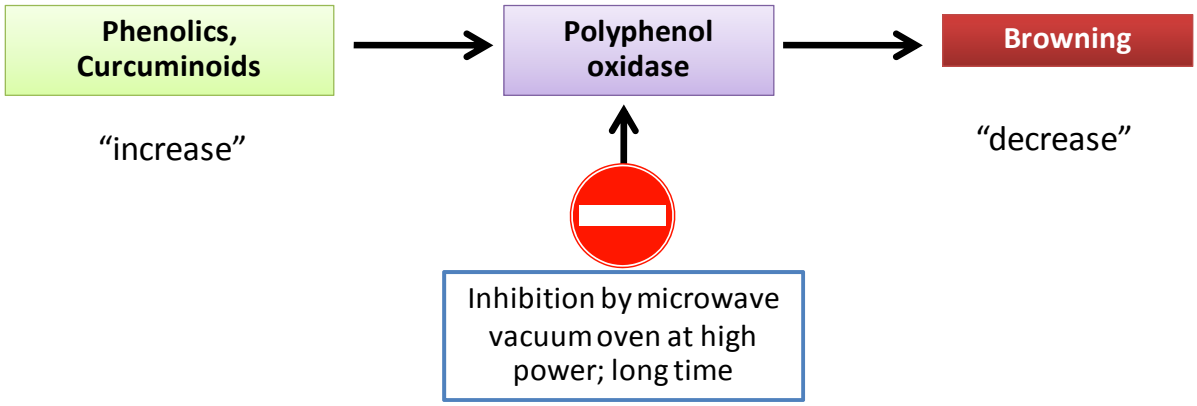
บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ขมิ้นชันสดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดที่เทียบเท่า หรือมากกว่าสมุนไพรที่ให้ประโยชน์ในการต่อต้านโรค โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารฟีนอลิกซึ่งเป็นตัวต้านอนุมูลอิสระและสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) ดังนั้นการใช้สารประกอบฟีนอลิกจากพืชจึงถูกใช้เพื่อการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็ง สารประกอบฟีนอลลิกดังกล่าวจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับสารประกอบฟีนอลิกพวก Curcumin จากการทดลองพบว่าในขมิ้นชันมีค่าดังกล่าวสูงถึง สูงถึงเป็นร้อยละ 9.39 ต่อน้ำหนักแห้ง

คุณสมบัติของขมิ้นชันหลังอบแห้ง พบว่า การอบแห้งขมิ้นชันมีผลต่อค่า a_w โดยระยะเวลาการอบที่ 30 นาทีจะทำให้ค่า a_w ของขมิ้นชันต่ำกว่า 0.3 การที่ค่า a_w มีค่าต่ำจะส่งผลดีต่ออาหารคือทำให้อาหารมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์ และกิจกรรมทางชีวะเคมี เช่นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเป็นต้น ดังนั้นค่า a_w ที่ต่ำยังแสดงถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่ยาวนานด้วย ทั้งนี้การลดการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้แห้งสามารถวัดได้จาก ค่าความสว่าง (ค่า L) โดยค่า L มากหมายถึงผลิตภัณฑ์เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้น้อยลง การอบแห้งขมิ้นชันที่อุณหภูมิสูง (4000 w) เป็นระยะเวลานาน (30 นาที) สามารถรักษาสีไม่ให้เกิดการคล้ำเสียได้ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล โพลีฟีนอลอ๊อกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) และ เพอร์อ๊อกซิเดส (Peroxidase; POD) ซึ่งทำงานได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และหยุดการทำงานที่อุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์พื้นที่การตอบสนอง (Response surface methodology) ของคุณภาพทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชัน นำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการถดถอยที่เหมาะสม จากสมการถดถอยทั้ง 9 สมการ พบว่า ตัวแปรตามที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันอบแห้ง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และ curcumin และ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าว ไป พลอตกราฟความสัมพันธ์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (Design expert ver6) จะได้ช่วงอุณหภูมิ และกำลังไฟฟ้าที่แนะนำ (Optimized condition) ที่ กำลังไฟฟ้าระหว่าง 3500-400 วัตต์ และ ใช้เวลาในการอบระหว่าง 27-30 นาที ดังที่แสดงในรูป 4.6

ความสัมพันธ์ระหว่างการรักษาสี กับระดับสารดังกล่าวอาจจะอธิบายได้ด้วยการเกิดสีน้ำตาลโดยเอ็นไซม์ Polyphenol oxidase ที่ Prathapan และคณะ (2009)ได้อธิบายไว้ กล่าวคือค่าความสว่างของขมิ้นที่ทำการทดลองสูงขึ้นเมื่อ อบขมิ้นที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ลดลงที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวมีอัตราที่ช้าลง ดังนั้นสารตั้งต้น ได้แก่ ฟินอลิก และ Curcuminoids ก็จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาทางชีวะเคมี ดังกล่าวได้น้อยลง ส่งผลให้มีปริมาณที่ สารดังกล่าวที่สามารถวัดได้มีมากขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โมเดลแสดงผลกระทบของการใช้ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ ต่อ สมบัติทางกายภาพ (สี) และเคมี (สารฟินอลิก) โดยการอบที่กำลังไฟฟ้าสูงเป็นระยะเวลานานสามารถยั้บยั้งเอ็มไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล ส่งผลให้ ขมิ้นชันอบแห้งมีสีสว่างขึ้น และมีสารฟินอลลิกเพิ่มขึ้น

ใบชาจีนสดที่ใช้ในการทดลองนี้ มีความชื้นและเถ้าสูงซึ่งแสดงให้เห็นว่าใบชาประกอบไปด้วยธาตุ อาหารต่าง ๆ เช่น โปแตสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก แมกกานีส ซัลเฟอร์ อลูมิเนียม โซเดียม ซิลิคอน สังกะสี และ ทองแดง ในส่วนของค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH assay) หรือ EC_{50} พบว่าใบชาจีนสดจากโครงการหลวงขุนวาง มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงมาก ปริมาณสารฟินอลลิกทั้งหมด (total phenolic), Tea Polyphones (ได้แก่ (-)-epigallocatechin gallte (EGCG), Epicatechin (EC) และ Epictechin gallate (ECG)) จากการทดลองพบว่าใบชาจีนดังกล่าวมีค่าใกล้เคียง หรือมากกว่ากับใบชาชนิดอื่น เช่นชา ชุนมี (Chun-me) ซึ่งสาร ฟินอลิกเหล่า นี้เป็นสารที่มีฤทธิ์ ในการต้านโรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคเบาหวาน

ผลการทดลองคุณภาพของชาที่อบด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศพบว่า กำลังไฟและเวลาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า a_w ของชาเขียวลดลง ชาเขียวอบแห้งของหน่วยทดลองที่ 1 เพียงหน่วยทดลองเดียวเท่านั้น ที่มีค่า L a*และ b* ต่ำกว่าหน่วยทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งค่าความสว่างต่ำลงนี้น่าจะมาจากชาเขียวอบแห้งจากหน่วยที่ 1 มีความชื้นสูงกว่าหน่วยทดลองอื่น ๆ ความชื้นในใบชานี้ดังกล่าวนี้จะกระตุ้นให้เกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO)ได้ เร็วขึ้น ปริมาณสาร Tea Polyphenols ในชาเขียวที่อบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศโดยการปรับพลังงาน และเวลาที่ใช้อบชา ไม่มีผลต่อปริมาณสาร EC และ EGCG ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบชา (ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส) ไม่มีโดยตรงต่อปริมาณสาร EC และ EGCG อย่างไรก็ตามผลจาการทดลอง แสดงให้เห็นว่าพลังงานและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งชามีผลต่อปริมาณสาร ECG ในชาเขียวเล็กน้อย โดยระยะเวลาการอบที่นานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสาร ECG ลดลงเล็กน้อยในบางสิ่งทดลอง

จากการวิเคราะห์หาสมการถดถอย พบว่า ปริมาณชา พลังงาน และเวลาที่ใช้ทำแห้งมีความสัมพันธ์กับบางคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่ง เมื่อใช้สภาวะในการผลิตชาเขียวที่พลังงานสูง และ ระยะเวลาที่นานจะทำให้ผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่มีค่า a_w ที่ลดต่ำลง ซึ่งค่า a_w ที่ต่ำลงนี้มีผลทำให้ชาเขียวมีระยะเวลาการเก็บที่ยาวนานขึ้น ค่ากิจกรรมต้านอนุมูลอิสระจะเพิ่มขึ้นตามพลังงานและเวลาการอบชาที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดการอบด้วยพลังงานสูงและระยะเวลาสั้น (พลังงาน 4000 วัตต์ อบนาน 20 นาที) ทำให้ชาเขียวมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด อย่างไรก็ตามถ้าอบชาเขียวด้วยพลังงานไมโครเวฟสูงเป็นเวลานานขึ้นจะทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ดังนั้นการอบชาเขียวที่เหมาะสมคือการใช้พลังงานต่ำแต่อบเป็นเวลานาน เพื่อรักษาสารปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในชาเขียว ดังนั้นการอบชาเขียวด้วยเครื่องอบไมโครเวฟสุญญากาศควรอบที่พลังงานไมโครเวฟ 3200 วัตถ์ และ อบนาน 30 นาที

เอกสารอ้างอิง

กุลยา จันทร์อรุณ. (2540). กรรมวิธีการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง. พิษณุโลก, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.

กุลยา, จันทร์อรุณ, เกษณี แก้วชูเชิศ, พิชัย ปัญญา. (2549). กรรมวิธีผลิตสมุนไพรแห้ง. พิษณุโลก, มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

กรมการส่งออก. (2546). การส่งออกชาไทย. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.tistr-foodprocess.net/download/Coffee_tea/Tea_static.pdf. 2 ตุลาคม 2550.

กรมวิชากการเกษตร. มปป. ฐานความรู้ด้านพืช: ชา.[ระบบออนไลน์]. แหล่ง ที่มา: http://www.doa.go.th/pl_data/02_LOCAL/oard1/tea/main.html. 3 ตุลาคม 2550.

จันทนา จันโจมศึก, จันทร์จิรา ชุ่มจิตร และศิริพร ชาวแกลง. (2543). การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชัชวาล ตัณฑกิตติ. (2530). ขบวนการความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์. เชียงใหม่, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชฎา พิศาลพงศ์. (2549). เรื่องน่ารู้ของขมิ้นชัน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : www.gpo.or.th/rdi/htmls/turmeric.html.15 พฤศจิกายน 2549.

ณรงค์ นิยมวิทย์. (2538). องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. กรุงเทพฯ, บริษัทฟอร์แมท.

ธีระชัย ไชยศิริ และคณะ. 2532. เครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงาทิตย์. โครงการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2543). ผลของกระบวนการแปรรูปต่ออาหารและสารอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปรีชา บญจง, วิภาวี เสาหิน, วิรัตน์ จันทร์ตรี, บัณฑิต กิตติจารขจร, พรมมินทร์ไกรยสินธ และสลักขณา มะลิทอง. 2006.การวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญในแคปซูลขมิ้นชันและ ฟ้าทะลายโจรโดยใช้โครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง. Thai Pharmaceutical and Health Science Journal. 1(2), 45 – 58.

ปรียานันท์ บัวสด. (2549). การตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ของเครื่องดื่มชาโดยวิธีไซคลิกโวลแมเมตรี.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศิลปกร.

พิชญา บุญประสม, กัมปนาท บำรุงกิจ, อิศรพงษ์ พงษ์ศิริกุล และ ศรายุทธ์ สมประสงค์. (2547). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพรโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดมานิต. (2541). วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 272 หน้า.

วรนันท์ ศุภพิพัฒน์. (2550). การดื่มชาเขียวในประเทศไทย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.tistr-foodprocess.net/tea/article_tea/tea%205.htm. 3 ตุลาคม 2550.

วิไล รังสาดทอง. (2546). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วีนัส ทัดเนียม. 2542. การอบแห้งผักด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ไอน้ำเป็นพลังงานเสริม ระดับอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี พลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วีระชัย แก่นทรัพย์. 2544. เครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟ-สุญญากาศ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://update.se-ed.com/169/lookthai.html: 10 มกราคม 2549.

สมพล นิลเวศน์. (2544). คุณประโยชน์ของชาเขียว. นสพ.กสิกร. 73(2). 163 – 165.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2544. การใช้ตู้อบแห้ง Tray dryer และตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ใน หลักสูตรการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องเทคโนโลยีการผลิตอาหารแห้ง สำหรับสถาบันราชภัฏ ระหว่างวันที่ 5 - 9 มีนาคม พ.ศ. 2544 จัดโดยศูนย์พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายพิน โชติวิเชียร, วรชาติ ธนนิเวศน์กุล. (2549). ชาเขียว.[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=3&id=70, 3 พฤษภาคม 2554.

สายสนม ประดิษฐ์ดวง และคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2546. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 197-202.

ไม่ทราบชื่อ (2553) ทำความรู้จักกับต้นชา [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.time-for-tea.net/index.php?lay=show&ac=article&Id=5319818&Ntype=6. 3 ตุลาคม 2550.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17th ed./Rev.4. Association of Official Analytical Chemists International. Maryland.

Abdel-Hameed, E. S. S. (2009). Total phenolic contents and free radical scavenging activity of certain Egyptian Ficus species leaf samples. *Food Chemistry, 114*(4), 1271-1277.

Bambirra, M. L. A.; Junqueira, R. G.& Glória, M. B. A. **(**2002) Influence of post harvest processing conditions on yield and quality of ground turmeric (*Curcuma longa* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology***.** *45*, 423-429.

Claudia, A., Graciela, F. F., & Rosana, F. (2008). Total Polyphenol Content and Antioxidant Capacity of Commercoally Available Tea (*Camellia sinensis*) in Argentina. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56*, 9225 - 9229.

Cousins, M., J. Adelberg, et al. (2007). "Antioxidant Capacity of Fresh and Dried Rhizomes From Flour of Turmeric (*curcumin longa*) Grown In Vitro." Industrial Crops And Products 25, 129 - 135.

Deodhar, S. D.; Sethi, R.; Srimal, R. C., (1980). Preliminary-study on anti Rheumatic activity of curcumin (Diferuloyl methane). *Indian Journal of Medical Research* .**,** *71*, 632-634.

Gowen, A.; Abu-Ghannam, N.; Frias, J.& Oliveira, J. **(**2006) Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chickpeas (*Cicer arietinum* L) undergoing microwave-hot air combination drying. *Trends in Food Science and Technology. 17* (4), 177-183.

Gulati, A., Rawat, R., Singh, B., & Ravindranath, S. D. (2003). Application of Microwave Energy in the Manufacture of Enhanced-Quality Green Tea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*, 4764 - 4768.

Hirun, S. and P. D. Roach (2011). A study of stability of (-)-Epigallocatechin gallate (EGCG) from green tea in a frozen product. *International Food Research Journal.* 18(4).

Julkunen-Tiitto, R. (1985). Chemotaxonomical Screening of Phenolic Glycosides in Northern Willow Twigs by Capillary Gas Chromatography. *Journal of Chromatography, 324*, 129 - 139.

Khokhar, S.; Magnusdottir, S. G. M. (2002) Total phenol, catechin, and caffeine contents of teas commonly consumed in the United Kingdom. *Journal of Agricultural and Food Chemistry***.** *50* (3), 565-570.

Masuda, T., Hidaka, K., Shinohara, A., Maekawa, T., Takeda, Y., & Yamaguchi, H. (1999). Chemical Studies on Antioxidant Machanism of Curcuminoid: Analysis of Radical Products form Curcumin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47*, 71 - 77.

May, B. K., Sinclair, A. J., Halmos, A. L., & Tran, V. N. (1999). Quantitative analysis of drying behaviour of fruits and vegetables. *Drying Technology, 17*(7-8), 1441-1448.

Moon, J. K., & Shibamoto, T. (2009). Antioxidant Assays for Plant and Food Components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57*(5), 1655-1666.

Oms-Oliu, G., Aguilo-Aguayo, I., & Martin-Belloso, O. (2006). Inhibition of browning on fresh-cut pear wedges by natural compounds. *Journal of Food Science, 71*(3), S216-S224.

Ozkan, I.A., Akbudak, B. and Akbudak, N. 2007. Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering,* 78, 577-583.

Perera, C. O. (2005). Selected quality attributes of dried foods. *Drying Technology, 23*(4), 717-730.

Phoungchandang, S., Nongsang, S., & Sanchai, P. (2009). The Development of Ginger Drying Using Tray Drying, Heat Pump-Dehumidified Drying, and Mixed-Mode Solar Drying. *Drying Technology, 27*(10), 1123-1131.

Pisano, M., Cossu, S., Sassu, I., Pagnan, G., Fabbri, D., Dettori, M. A., et al. (2008). 278 POSTER New Curcumin Analogues Show Enhanced Antitumour Activity in Malignant Melonoma Cells. *European Journal of Cancer Supplements, 6*(12), 90.

Prathapan, A., Lukhman, M., Arumughan, C., Sundaresan, A., & Raghu, K. G. (2009). Effect of heat treatment on curcuminoid, colour value and total polyphenols of fresh turmeric rhizome. *International Journal of Food Science and Technology, 44*(7), 1438-1444.

Puengphian, C., & Sirichote, A. (2008). [6]-gingerol content and bioactive properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extracts from supercritical CO2 extraction. *Asian Journal of Food and Agro-Industry, 1*(1), 29-36.

Rajauria, G.; Jaiswal, A. K.; Abu-Ghannam, N.& Gupta, S. **(**2010**)** Effect of hydrothermal processing on colour, antioxidant and free radical scavenging capacities of edible Irish brown seaweeds. *International Journal of Food Science and Technology***,** *45* (12), 2485 -2493.

Rao, D. S.; Sekhara, N. C.; Satyanar.Mn; Srinivas.M, (1970) Effect of curcumin on serum and

liver cholesterol level in rat *Journal of Nutrition.*, *100* (11), 1307-&.

Rao, L.J., Singh, M., Raghavan, B. and Abraham, K.o. (1998). Rosemary (Rosmarinus officinalis L.): impact of drying on its flavor quality. Journal-of-food-quality (USA). 21, 107-115.

Ragazzi, E. and Veronese, G. 1973. Quantitative analysis of phenolics compounds after thin-layer chromatographic separation. Journal of Chromatogram. 77, 369-375.

Ramaprasad C, Sirsi M. (1956) Indian medicinal plants (*Curcuma Longa*) in vitro antibacterial activity of curcumin and the essential oil *Journal of Scientific and Industrial Research*. 15C, 239-41.

Sharma, O. P., (1976) Antioxidant activity of curcumin and related compounds. *Biochemical Pharmacology*, *25* (15), 1811-1812.

Sheng-Dun, L., L. Chih-Hung, et al. (2010). Antioxidant Properties of Water Extracts from Praching Green tea. *Journal of Food Biochemistry.* 34, 477 - 500.

Sikkhamondhol, C., Teanpook, C., Boonbumrung, S., & Chittrepol, S. (2009). Quality of bread with added turmeric (*Curcuma longa*): powder, essential oil and extracted residues. *Asian Journal of Food and Agro-Industry, 2*(4), 690-701.

Sommano, S.; Caffin, N.; McDonald, J. & Cocksedge, R., **(2011)** The impact of thermal processing on bioactive compounds in Australian native food products (bush tomato and Kakadu plum). *Food Research International*, *In Press, Corrected Proof.*

Sommano, S., Joyce, D., D'Arcy, B., Joyce, P., & Ratnayake, K. (2011)Postharvest browning of *Backhousia myrtifolia* (cinnamon myrtle) cut flowers and foliage. *Postharvest Biology and Technology* (submitted)..

Soysal, Y. 2004. Microwave drying characteristics of Parsley. *Biosystems Engineering.* 89 (2),167-173.

Wilken, R., Veena, M. S., Wang, M. B., & Srivatsan, E. S. (2011). Curcumin: A review of anti-cancer properties and therapeutic activity in head and neck squamous cell carcinoma. *Molecular Cancer, 10*.

Yung-Sheng, L., Yao-Jen, T., Jyh-Shyan, T., & Jen-Kun, L. (2003). Factors Affecting the Levels of Tea Polyphenols and Caffeine in Tea Leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*, 1864 - 1873.

Xiangyang, L., Lijing, Z., Hanwu, L., Hong, Z., Yangling, C., Rongbi, Z., et al. (2010). Effect of Drying Technologies on Quality of Green Tea. *International Agricultural Engineering Journal, 19*(3), 30 - 37.

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี

1. วิธีการทดสอบ Peroxidase Activity

<u>การเตรียมสารเคมี</u>

1. Guaiacolร้อยละ1 เตรียมจาก Guiacol 1 g ละลายใน 100 ml alcoholร้อยละ95
2. Hydrogen peroxideร้อยละ0.6 เตรียมจาก 1 ml ของร้อยละ 30 Hydrogen peroxide ละลายในน้ำกลั่น 50 ml เก็บในขวดสีชาในตู้เย็น มีอายุการใช้งานเพียง 1 สัปดาห์

<u>วิธีการทดสอบ</u>

สุ่มตัวอย่างชานึ่งมา 5 g บดให้ละเอียด เติมน้ำกลั่น 5 ml. ลงไปผสมให้เข้ากัน บรรจุลง test tube เติมสารละลายร้อยละ1 Guaiacol 1 ml ลงไป และตามด้วย ร้อยละ0.6 Hydrogen peroxide 1 ml เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้เพื่อดูสีที่เกิดขึ้นภายในเวลา 2-5 นาที

ถ้ามีสีน้ำตาลแดงเข้มเกิดขึ้น (Positive) แสดงว่ายังมีเอนไซม์เหลืออยู่มาก การนึ่งไม่เพียงพอ

ถ้ามีสีน้ำตาลแดงอ่อนหรือแผ่กระจายตามชิ้นใบชา (Light Positive) แสดงว่ายังมีเอนไซม์เหลืออยู่การนึ่งยังไม่เพียงพอ

ถ้ามีสีน้ำตาลแดงเป็นจุดบางชิ้นเท่านั้น (Trace) แสดงว่ายังมีเอนไซม์เหลืออยู่แต่น้อยมาก การนึ่งอาจใช้ได้

ถ้าไม่มีสีน้ำตาลเกิดขึ้น (Negative) แสดงว่าไม่มีเอนไซม์เหลืออยู่ การลวกเพียงพอ

<u>การทดลอง</u>

1. คัดใบชา และล้างให้สะอาด
2. ทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมในการลวก: โดยต้มน้ำให้เดือดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งใบชา 250 g แล้วนำไปนึ่งในลังถึง จับเวลาจนครบตามกำหนด ทำการสุ่มตัวอย่างใบชาขึ้นมาทุกๆ 30 วินาที คือ นาทีที่ 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3
3. ทำการทดสอบเอนไซม์

2. วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยใช้ตู้อบไฟฟ้า

ตามวิธี AOAC (2000)

1. อบกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝา ที่ตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนัก (W1)
2. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (2-3 g) ใส่ในกระป๋องอบความชื้นที่อบเรียบร้อยแล้ว และชั่งน้ำหนัก (W2)
3. นำกระป๋องอบความชื้นพร้อมฝาโดยเปิดฝาออกไปอบที่ตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100±2 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง
4. นำกระป๋องอบความชื้นออกจากตู้อบไอร้อนแบบไฟฟ้า โดยปิดฝาทันที และปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
5. นำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักที่คงที่ (น้ำหนักที่คงที่หมายความว่าผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 2 mg) (W3)

<u>วิธีคำนวณ</u>

ปริมาณความชื้น ร้อยละของน้ำหนัก $= \frac{(W2 - W3) \times 100}{W2 - W1}$

W1 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้น เป็น g

W2 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้นและตัวอย่างก่อนอบ เป็น g

W3 = น้ำหนักของกระป๋องอบความชื้นและตัวอย่างหลังอบ เป็น g

3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณค่ากิจกรรมน้ำอิสระ(a_w)

1. นำตัวอย่างชาแห้งปริมาณ 2 กรัม บดให้ละเอียด
2. นำตัวอย่างชาที่บดละเอียดแล้ว ใส่ในตลับสำหรับวัดค่ากิจกรรมน้ำอิสระ
3. นำตลับสำหรับวัดค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ใส่ลงในเครื่องวัดค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ยี่ห้อ Aqua LAB
4. หมุนปุ่มไปที่ read จะมีเสียงและไฟสีเขียวกระพริบ แสดงว่าเครื่องเริ่มทำงานแล้ว
5. ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เมื่อเครื่องวัดค่ากิจกรรมน้ำอิสระ ทำการวัดค่าเสร็จจะมีเสียงเตือนดังขึ้น
6. ทำการอ่านค่าที่ได้จากหน้าจอของเครื่อง

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

1. เผาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 525-550 องศาเซลเซียส (เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้เผาตัวอย่าง) นาน 30 นาที ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (W1) และใส่ตัวอย่างในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ชั่งให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 2-3 g (W2)
2. นำไปเผาด้วยไฟอ่อนบนเตาไฟฟ้าหรือตะเกียงบุนเซน โดยเพิ่มความร้อนขึ้นทีละน้อย จนตัวอย่างไหม้เกรียม และเผาจนหมดควัน ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของเหลวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวให้นำตัวอย่างไประเหยแห้งบนเครื่องอังน้ำก่อนนำไปเผาบนเตาไฟฟ้า
3. นำไปเผาต่อในเตาเผาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 525-555 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ (ถ้าเถ้าที่ได้ไม่ขาว ให้นำเถ้าออกมาจากเตาเผา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วหยดน้ำเล็กน้อยพอเปียกชุ่ม ระวังอย่าให้เถ้าฟุ้งหรือกระเด็น นำไประเหยให้แห้งบนเครื่องอังน้ำ และทำซ้ำตามข้อ 5.2 จนเถ้าขาวและได้น้ำหนักคงที่ (น้ำหนักคงที่ หมายถึง ผลต่างของการชั่งสองครั้งติดกันมีค่าไม่เกิน 2 mg)) ชั่งน้ำหนักที่ได้ (W3)

<u>วิธีคำนวณ</u>

ปริมาณเถ้าทั้งหมด ร้อยละของน้ำหนัก = $\frac{(W3 - W1) \times 100}{W2 - W1}$

W1 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ เป็น g

W2 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและตัวอย่าง เป็น g

W3 = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบและเถ้า เป็น g

5. วิเคราะห์ค่าสีระบบ Hunter L, a*, b*

เป็นการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta Camera: ModelCR-310 วัดค่าสีระบบฮันเตอร์ (Hunter Lab)

โดยกำหนดให้ L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100

แกน a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

แกน a* ที่เป็น – สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

แกน b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

ก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank; L= 97.67, a = -0.18, b = 1.84) แล้วจึงทำการวัดสีของชาเมี่ยงอบแห้ง 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

6. การเตรียมสารสกัดสำหรับการวิเคราะห์กิจกรรมสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant Activity) และ Total phenolic content

1. นำชาบดแห้ง: ร้อยละ95 ethanol = 1: 5 ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml.
2. นำไปเขย่าที่ความเร็ว 220 rpm นาน 4.5 ชั่วโมง
3. กรองด้วย Buchner funnel ใช้กระดาษกรองเบอร์ 4
4. Evaporation ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 180 rpm
5. นำเข้าเครื่อง Freeze- dry ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะได้ผงสารสกัด
6. หาร้อยละ yield extract (d.w.)

7. การวิเคราะห์กิจกรรมสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant Activity)

โดยวิธี DPPH method (Masuda] .et al, 1999)

1. ผงที่สกัดได้ 0.25xx g ใส่เมทานอล 25 ml.
2. ดูดสารละลาย 25 ml ใส่ volumetric flask ปรับปริมาตรให้ครบ 25ml ด้วย เมทานอล จะได้ 10-2 ทำสารละลายเจือจางจนได้ความเข้มข้น 10-8
3. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายแต่ละความเจือจางใส่ในขวดสีชา ขวดละ 4.9 ml จำนวน 3 ขวด
4. นำสารละลายในขวดสีชาเติม 5 mM DPPH 0.1ml 3 ขวด (3 ซ้ำ)
5. ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ที่มืด 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร
7. นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟ ซึ่งแกน y คือ DPPH radical scavenging activity (ร้อยละ) และแกน x คือ LOG ความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่าง (mg/l) กราฟที่ได้อธิบายEC50 หมายถึง ความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาที่ร้อยละ50 โดยใช้ Sigma Plot 2000 Demo

<u>การเตรียม Blank</u>

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดเมทานอล 4.9 ml. ใส่ในขวดสีชา
2. นำสารละลายในขวดสีชาเติม 5 mM DPPH 0.1 ml. แล้วผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ที่มืด 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เช่นเดียวกับ Sample

<u>วิธีคำนวณ</u>

DPPH radical scavenging activity (ร้อยละ) = $[A_0-A_1]/A_0$ x100

โดยที่ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ Blank

A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างในสารละลาย DPPH

8. วิธีวิเคราะห์ Total phenolic content

โดย Folin-Ciocalteu colorimetric method (Ragazzi and Veronese, 1973)

1. นำสารสกัด 0.1xx g ใส่ เมทานอล 5 ml
2. ทำการเจือจางสารละลายจากความเข้มข้น 10^{-1} จนถึง 10^{-3} โดยดูดสารละลายมา 0.1 ml เติมเมทานอล 0.9 ml จะได้สารละลายความเข้มข้น 10^{-2}
3. ดูดสารละลายที่มีความเข้มข้น 10^{-3} มา 0.5 ml ใส่ในขวดสีชา
4. เติม folin-ciocalteu reagent 2.5 ml
5. เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที
6. เติม ร้อยละ7.5 Na_2CO_3 (w/v) 2 ml เขย่าให้เข้ากัน
7. เก็บไว้ที่มืด 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 775 นาโนเมตร หาปริมาณรวมของสารประกอบฟีนอลลิก โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน gallic acid และรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของชา

สมการ $y = 0.0052x - 0.004$

$R^2 = 0.9983$

9. การวิเคราะห์หาปริมาณ Catechins โดยใช้ HPLC

การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ HPLC

ใช้สารละลาย EC, ECG, EGCG มาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 12.5, 25, 50, 75, 100 และ 400 ppm.

การวิเคราะห์หาปริมาณ Catechins โดยใช้ HPLC

วิเคราะห์หาปริมาณ Catechins ในชาเขียว โดยใช้เครื่อง Shimadzu HPLC system (Shimadzu Scientific Instruments (Oceania) Pty. Ltd, Rydlmere, NSW, Australia) ประกอบด้วย computer controlled system with LCsolution version 1.11 SP software, SCL-10A VP system controller, DGU-14A degasser, FCV-10AL VP Mixer, LC-10AD VP liquid chromatography pump, SPD-M10A VP diode array, CTO-10A VP column oven และ CBM-10A communications BUS module แยกโครมาโตรกราฟฟีโดยใช้ C_{18} reversed-phase

Mobile phase A ประกอบด้วย ร้อยละ0.2 (v/v) phosphoric acid ร้อยละ86.5 (v/v), acetonitrile ร้อยละ12 (v/v) และ tetrahydofuran ร้อยละ1.5 (v/v)

Mobile phase B ประกอบด้วย ร้อยละ0.2 (v/v) phosphoric acid ร้อยละ73.5 (v/v), acetonitrile ร้อยละ 25 (v/v) และ tetrahydrofuran ร้อยละ 1.5 (v/v)

ชั่งตัวอย่างที่เตรียมไว้ 1.00 กรัม ละลายในน้ำ DI ที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 90°C 99 ml ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองสารสกัดผ่าน filter ขนาด 0.45 □m ลงใน cube ขนาด 1 ml แล้วเก็บ cube ไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสทันที ฉีดตัวอย่างจำนวน 20 □L เข้า Column Inertsil®ODS-3, 5 □m 4.6 x 250 mm. ใช้เวลาทั้งหมด 90 นาที อัตราการไหลของ Mobile phase คือ 1 ml/min โดยเริ่มจาก mobile phase A ร้อยละ100 ที่เวลา 0-30 นาที จากนั้น mobile phase B จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 100 ที่เวลา 31-40 นาที และที่เวลา 41-60 นาทีเป็น mobile phase B ร้อยละ 100 mobile phase B จะลดลงจากร้อยละ 100 เป็นร้อยละ 0 ที่เวลา 61-70 นาที และสุดท้ายเป็น mobile phase A ที่เวลา 71-90 นาทีก่อนการฉีดตัวอย่างครั้งต่อไป ตรวจสอบโครมาโตแกรมโดย D2 Lamp ที่ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร

ภาคผนวก ข
มาตรฐานชาเขียว

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข
(ฉบับที่ 196) พ.ศ. 2543
เรื่อง ชา

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ชา

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3)(4)(5)(6)(7) และ (10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและ เสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่ง ราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 58 (พ.ศ.2524) เรื่อง ชา ลงวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2524

ข้อ 2 ให้ชาเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน

ข้อ 3 ชาตามข้อ 2 แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

(1) ชา หมายความว่า ใบ ยอด และก้าน ที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาในสกุล Camellia ที่ทำให้แห้งแล้ว

(2) ชาผงสำเร็จรูป (instant tea) หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำของเหลวซึ่งสกัดมาจากชาและนำมาทำให้เป็นผงกระจายตัวได้ง่ายเพื่อใช้เป็นเครื่องดื่มได้ทันที

(3) ชาปรุงสำเร็จ หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชาตาม (1) หรือ (2) มาปรุงแต่งรสในลักษณะพร้อมบริโภคและบรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ไม่ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะเป็นชนิดเหลวหรือแห้งให้ถือว่าเป็นชา ซึ่งต้องปฏิบัติตามประกาศฉบับนี้ด้วย

ข้อ 4 ชาตามข้อ 3(1) ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนัก

(2) มีเถ้าทั้งหมด (total ash) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 และไม่เกินร้อยละ 8 ของน้ำหนักชาแห้ง

(3) มีเถ้าที่ละลายน้ำได้ (water soluble ash) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 ของเถ้าทั้งหมด

(4) มีสารที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อน (hot water extract) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 32 ของน้ำหนักชาแห้ง

(5) มีกาเฟอีน (caffeine) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก

(6) ไม่ใส่สี

ในกรณีที่ชามีวัตถุอื่นผสมอยู่เพื่อแต่งกลิ่น วัตถุที่นำมาผสมต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 5 ชาตามข้อ 3(2) ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก

(2) มีเถ้าทั้งหมดไม่เกินร้อยละ 20 ของน้ำหนักชาผงสำเร็จรูปแห้ง

(3) มีกาเฟอีน (caffeine) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 4.0 ของน้ำหนัก เว้นแต่ชาผงสำเร็จรูปที่สกัดเอากาเฟอีนออกแล้ว ให้มีกาเฟอีนได้ในปริมาณที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

(4) ไม่ใส่สี

ในกรณีชาผงสำเร็จรูปมีวัตถุอื่นผสมอยู่เพื่อแต่งกลิ่นหรือรส วัตถุที่นำมาผสมต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 ชาตามข้อ 3(3) ชนิดเหลว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของชา

(2) ไม่มีตะกอน เว้นแต่ตะกอนอันมีตามธรรมชาติของส่วนประกอบ

(3) น้ำที่ใช้ผลิตต้องเป็นน้ำที่มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

(4) ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มน้อยกว่า 2.2 ต่อชาปรุงสำเร็จ 100 มิลลิลิตร โดยวิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number)

(5) ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli*)

(6) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(7) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

(8) ไม่มียีสต์และเชื้อรา

(9) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้

(9.1) สารหนู ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(9.2) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(9.3) ทองแดง ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(9.4) สังกะสีไม่เกิน 5 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(9.5) เหล็ก ไม่เกิน 15 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(9.6) ดีบุก ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(9.7) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(10) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาลนอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

(11) ให้ใช้วัตถุกันเสียได้ ดังต่อไปนี้

(11.1) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม

(11.2) กรดเบนโซอิกหรือกรดซอร์บิก หรือเกลือของกรดทั้งสองนี้ โดยคำนวณเป็นตัวกรดได้ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม ต่อชาปรุงสำเร็จชนิดเหลว 1 กิโลกรัม การใช้วัตถุกันเสียให้ใช้ได้เพียงชนิดหนึ่งชนิดใดตามปริมาณที่กำหนดใน (11.1) หรือ (11.2) ถ้าใช้เกินหนึ่งชนิดต้องมีปริมาณของชนิดที่ใช้รวมกันไม่เกินปริมาณของวัตถุกันเสียชนิดที่กำหนดให้ใช้น้อยที่สุด เมื่อจำเป็นต้องใช้วัตถุกันเสียแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ดังกล่าวข้างต้น ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

(12) ในกรณีชาปรุงสำเร็จมีวัตถุอื่นผสมอยู่เพื่อแต่งกลิ่นหรือรส วัตถุที่นำมาผสมต้องไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 7 ชาปรุงสำเร็จชนิดแห้ง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก

(2) เมื่อละลายหรือผสมน้ำตามที่กำหนดไว้ในฉลาก ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 6

ข้อ 8 ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 9 การใช้ภาชนะบรรจุชา ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องภาชนะบรรจุ

ข้อ 10 การแสดงฉลากของชา ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องฉลาก

ข้อ 11 ให้ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารหรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 58 (พ.ศ.2524) เรื่อง ชา ลงวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2524 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ต่อไปได้อีกสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 12 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้าชาที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ ยื่นคำขอรับเลขสารบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 8 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 13 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ.2543

กร ทัพพะรังสี
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชาใบ (ชาจีน)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด คุณลักษณะที่ต้องการ สุขลักษณะ ภาชนะบรรจุ ปริมาณ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน การตรวจสอบและการวิเคราะห์ชาใบ

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ใช้เฉพาะชาใบ (gree tea) ที่ได้จากต้นชาที่ปลูก ในประเทศไทยเท่านั้น ไม่รวมชาผง (black tea) ชาผงสำเร็จรูป (instant tea) และชาใบที่มีลักษณะเป็นผง

2. นิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ชาใบ (ชาจีน) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนที่เป็นใบอ่อน ยอดอ่อนที่ใบยังไม่คลี่และก้านใบที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Camellia sinensis Linn*. ซึ่งนำมาผึ่งให้อ่อนตัว อบหรือคั่วพอหมาด บดคลึงให้ม้วนตัว แล้วทำให้แห้งโดยการอบหรือคั่วหรือย่างอีกครั้งหนึ่ง

2.2 ก้าน หมายถึง ส่วนที่ต่อจากใบของต้นชา มี*ลักษณะ*แข็ง ไม่รวมก้านใบที่ยังอ่อนอยู่

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

3.1.1 ต้องมีลักษณะเป็นใบชาแห้ง สะอาด ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใด ๆ เว้นแต่ดอกไม้เพื่อ การแต่งกลิ่น ส่วนใหญ่จะเป็นใบเต็มม้วนตัวอยู่ในลักษณะต่าง ๆ และเมื่อชงด้วยน้ำเดือดแล้วจะคืน สภาพเป็นรูปใบให้เห็นได้ชัด

3.1.2 ต้องมีสีดำอมเขียวตามธรรมชาติ

3.1.3 ต้องมีกลิ่นเฉพาะตามธรรมชาติของชาใบ อาจมีการแต่งกลิ่นได้ด้วยดอกไม้ที่มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

3.1.4 น้ำชาต้องมีกลิ่นและรสเฉพาะของชาใบ (อาจมีกลิ่นของดอกไม้ที่ใช้แต่งกลิ่นด้วย) เมื่อตรวจสอบตามวิธีในข้อ 9.1 แล้ว คะแนนเฉลี่ยของแต่ละลักษณะต้องไม่น้อยกว่า คะแนนต่ำสุดที่กำหนดไว้และต้องมีคะแนนเฉลี่ยจากคะแนนรวมของผู้ตรวจสอบทุกคน ไม่น้อยกว่า 70 คะแนน

1.2 การเจือสี ต้องไม่พบการเจือสีใดๆ การตรวจสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

1.3 ก้าน ให้มีปริมาณก้านได้ไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก การตรวจสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

1.4 คุณลักษณะทางเคมี ต้องเป็นไปตามที่กำหนดในตาราง

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเคมี

รายการที่	**คุณลักษณะ**	**เกณฑ์ที่กำหนด**	**การตรวจสอบ**
ใช้ปฏิบัติตามข้อ			
1	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	7	9.50
2	สารที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อน ร้อยละของน้ำหนักเมื่อ อบแห้งไม่น้อยกว่า	33	9.60
3	เถ้าทั้งหมด ร้อยละของน้ำหนักเมื่ออบแห้ง	4.5 - 7.5	9.70
4	เถ้าที่ละลายน้ำ ร้อยละของน้ำหนักเถ้าทั้งหมด เมื่อ อบแห้งไม่น้อยกว่า	45	9.80
5	ความเป็นด่างของเถ้าที่ละลายน้ำ (คิดเป็น KOH) ร้อยละ ของน้ำหนักเมื่ออบแห้ง	1.0 - 3.0	9.90
6	เถ้าที่ไม่ละลายในกรด ร้อยละของน้ำหนักเมื่อ อบแห้ง ไม่เกิน	1	9.10
7	กาก ร้อยละของน้ำหนักเมื่ออบแห้งไม่เกิน	16.5	9.11
8	คาเฟอีน ร้อยละไม่น้อยกว่า	2.0	9.12

4. สุขลักษณะ

สุขลักษณะให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดสุขลักษณะของ อาหาร มาตรฐานเลขที่ มอก.34

5. ภาชนะบรรจุ

ภาชนะที่ใช้บรรจุต้องสะอาด แห้ง ปิดได้สนิท และสามารถเก็บรักษากลิ่นไว้ได้

6. ปริมาณ

น้ำหนักสุทธิที่บรรจุในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

7. เครื่องหมายและฉลาก

7.1 ฉลากให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คำแนะนำทั่วไปเกี่ยวกับฉลาก สำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานเลขที่ มอก. 31 และไม่ขัดกับประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่า ด้วยเรื่องฉลาก

7.2 ภาชนะบรรจุชาใบทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่ายและชัดเจน

= ชื่อผลิตภัณฑ์

= เครื่องหมายการค้าและชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง

= ดอกไม้ที่ใช้แต่งกลิ่น (ถ้ามี)

= น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม

= เดือนและปีที่ทำ

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศด้วย ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทย

7.3 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน

8.1 ความหมายของคำที่ใช้ มีดังต่อไปนี้

8.1.1 รุ่น หมายถึง ชาใบที่ผลิตขึ้นโดยมีลักษณะอย่าเดียวกันและบรรจุหีบห่อในคราว เดียวกันเพื่อจำหน่าย

8.1.2 ขนาดรุ่น หมายถึง จำนวนหน่วยภาชนะบรรจุของชาใบใน 1 รุ่น 8.1.3 ขนาดตัวอย่าง หมายถึง จำนวนตัวอย่างที่ชักออกจากรุ่นของชาใบเพื่อนำมาตรวจสอบ

8.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

8.2.1 การชักตัวอย่าง

8.2.1.1 ภาชนะบรรจุขนาดไม่เกิน 1 กิโลกรัม ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้น ในรุ่นเดียวกันตามแผนการชักตัวอย่างในตาราง

ตารางที่ 2 แผนการชักตัวอย่างสำหรับภาชนะบรรจุ ขนาดไม่เกิน 1 กิโลกรัม

ขนาดรุ่น	ขนาดตัวอย่าง
หน่วยภาชนะบรรจุ	หน่วยภาชนะบรรจุ
ไม่เกิน 25	3
26 - 100	5
101 - 300	7
301 - 500	10
501 - 1,000	15
1001 - 3,000 ขึ้นไป	20
ตั้งแต่ 3,001 ขึ้นไป	25

8.2.1.2 ภาชนะบรรจุขนาดเกิน 1 กิโลกรัม ถึง 20 กิโลกรัม ให้ชักตัวอย่าง โดยวิธีสุ่มจาก ผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นในรุ่นเดียวกันตามแผนการชักตัวอย่างในตาราง

ตารางที่ 3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับภาชนะบรรจุ ขนาดเกิน 1 กิโลกรัม ถึง 20 กิโลกรัม

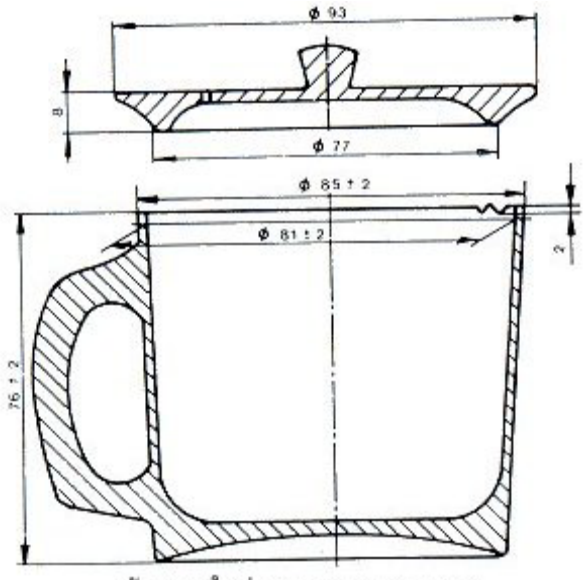
ขนาดรุ่น	**ขนาดตัวอย่าง**
หน่วยภาชนะบรรจุ	**หน่วยภาชนะบรรจุ**
2 - 10.	2
11 - 25.	3
26 - 100	5
ตั้งแต่ 101 ขึ้นไป	7

9. การตรวจสอบและการวิเคราะห์

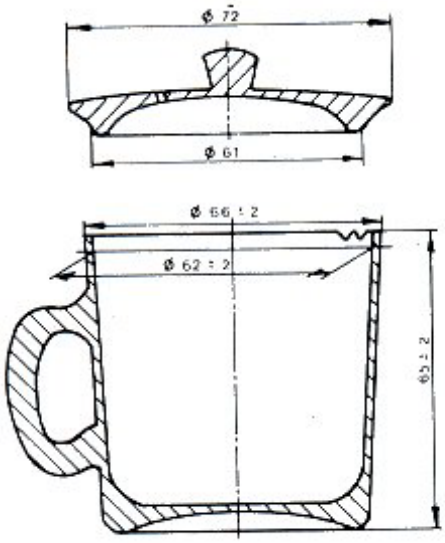
9.1 ลักษณะทั่วไป สี กลิ่น และกลิ่นรส

9.1.1 เครื่องมือ

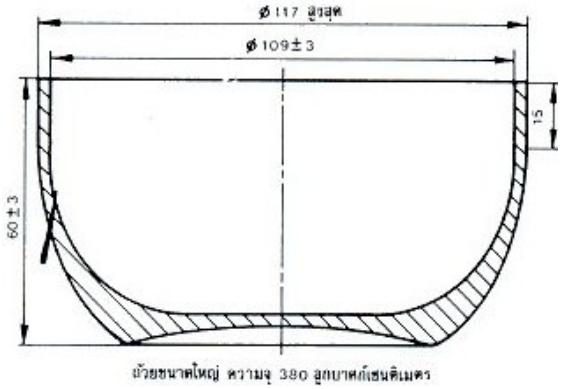
9.1.1.1 ถ้วยสีขาวทำด้วยกระเบื้องหรือดินเผาเคลือบที่มีฝาปิดตามรูปที่ 1 หรือ ขนาดใกล้เคียง



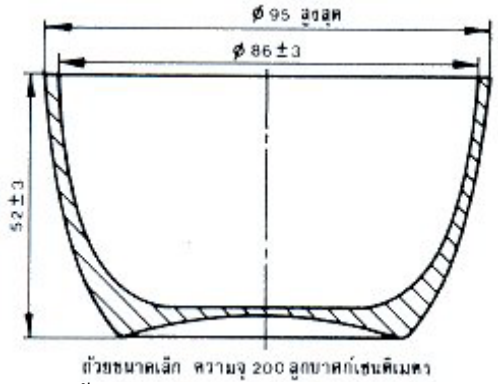
ถ้วยขนาดใหญ่ ความจุ 310 : 8 ลบ.ซม.



ถ้วยขนาดเล็ก ความจุ 150 : 4 ลบ.ซม.



ถ้วยขนาดใหญ่ ความจุ 380 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ถ้วยขนาดเล็ก ความจุ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร

9.1.1.3 น้ำกลั่น

9.1.2 วิธีเตรียมตัวอย่าง ชั่งตัวอย่างโดยใช้อัตราส่วนของชา 2±0.05 กรัมต่อน้ำ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

9.1.3 วิธีเตรียมน้ำชา ใช้น้ำเดือดลวกถ้วย (ตามข้อ 9.1.1.1) ให้ร้อนทั่วกันแล้วเททิ้ง

ใส่ตัวอย่างที่ชั่ง ไว้ลงไป รินน้ำที่กำลังเดือดลงในถ้วยที่เตรียมไว้ทันที ระดับน้ำในถ้วยต้องต่ำกว่าขอบถ้วยประมาณ 4-6 มิลลิเมตร ปิด ฝาทิ้งไว้ 6 นาที รินน้ำชาที่ได้ผ่านตะแกรงกรองลงในถ้วย (ตามข้อ 9.1.1.2) ซึ่งได้ลวกน้ำร้อนแล้ว เช่นกันจนหมด โดยไม่ให้ใบชาลดลงไปด้วย เทกากชาลงบนฝาถ้วย นำกากชาและน้ำชาไปตรวจสอบ คุณลักษณะตามตารางที่ 4 และ 5 ต่อไป

9.1.4 วิธีตรวจสอบ

9.1.4.1 ผู้ตรวจสอบประกอบด้วยผู้มีความชำนาญในการตรวจสอบชาใบ อย่างน้อย 5 คน ทุก คนจะแยกกันตรวจ และให้คะแนนโดยอิสระ

9.1.4.2 หลักเกณฑ์การให้คะแนนในการตรวจสอบชาใบ

(1) การตรวจสอบชาใบ และกากชา ตามตาราง

ตารางที่ 4 การตรวจสอบชาใบและกากชา

(2) การตรวจสอบน้ำชา ตามตาราง

ตารางที่ 5 การตรวจสอบน้ำชา

คุณลักษณะ	ความต้องการ	คะแนนเต็ม	คะแนนต่ำสุดที่ยอมใช้ได้
กลิ่น	กลิ่นหอมของชาและดอกไม้ (ถ้ามี) ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม	10	5
สี	ใส สีเหลืองอมน้ำตาล	10	5
รส	ออกฝาดเพียงเล็กน้อย	10	5
กลิ่นรสเฉพาะ (Chararteristic flavour)	กลิ่นหอมของชาและอาจมีกลิ่นของดอกไม้ ที่ใช้แต่งกลิ่นด้วย รสชุ่มคอหลังชิม	20	10
ความคงสภาพเดิม (Persistence)	กลิ่น สี รส และความใสไม่เปลี่ยนแปลงภายในเวลา 30 นาที	10	5

9.2 การเจือสี เทชาใบประมาณ 0.5-1 กรัม ลงบนกระดาษกรอง พับกระดาษกรองเข้าหากันแล้วขยี้ เทชา ใบออกจากกระดาษกรองให้หมด พ่นน้ำลงบนกระดาษกรองพอเปียก ต้องไม่มีสีเกิดขึ้นเห็นได้ชัดบน กระดาษกรองนั้น

9.3 การหาปริมาณก้าน

9.3.1 เครื่องมือ

9.3.1.1 กระจกนาฬิกา (watch glass)

9.3.1.2 ปากคีบ (forceps)

9.3.1.3 แผ่นกระดาษขาวผิวเรียบหรือแผ่นพลาสติกหนา

9.3.1.4 เครื่องชั่ง

9.3.2 วิธีวิเคราะห์ ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 กรัมให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (M1) เกลี่ยบนแผ่นกระดาษหรือ แผ่นพลาสติก ใช้ปากคีบเลือกส่วนที่เป็นก้านออกใส่ลงในกระจกนาฬิกาที่สะอาด แห้ง และทราบน้ำหนัก แล้ว (M0) นำกระจกนาฬิกาพร้อมก้านที่แยกออกทั้งหมดมาชั่งน้ำหนัก (M2)

9.3.3 วิธีคำนวณ ปริมาณก้าน ร้อยละโดยน้ำหนัก = (M2 - M0) / M1 x 100

9.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี บดตัวอย่างให้ละเอียดจนผ่านแร่งขนาด 0.6 มิลลิเมตร (US.sieve No.30)

9.5 ความชื้น ให้วิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดใน AOAC (1980) ข้อ 15.038 (หรือข้อ 7.003)

9.6 สารที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อน ให้วิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดใน AOAC (1980) ข้อ 15.039

9.7 เถ้าทั้งหมด ให้วิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดใน AOAC (1980) ข้อ 15.040 (หรือข้อ 31.012 หรือ ข้อ 31.013)

9.8 เถ้าที่ละลายน้ำ ให้วิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดใน AOAC (1980) ข้อ 15.041 (หรือข้อ 31.015)

9.9 ความเป็นด่างของเถ้าที่ละลายน้ำ ให้วิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดใน AOAC (1980) ข้อ 15.042 (หรือข้อ 31.016)

9.10 เถ้าที่ไม่ละลายในกรด ให้วิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดใน AOAC (1980) ข้อ 15.044 (หรือข้อ 30.008)

9.11 กาก ให้วิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดใน AOAC (1980) ข้อ 15.049 (หรือข้อ 7.065)

9.12 คาเฟอีน ให้วิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดใน AOAC (1980) ข้อ 15.051

ภาคผนวก ค
ประวัติทีมนักวิจัย

1. ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-สกุล

ภาษาไทย นายสถิระ หิรัญ

ภาษาอังกฤษ Mr. Sathira Hirun

2. บัตรประจำตัวประชาชน

3100 2024 03 258

3. ตำแหน่ง

นักโภชนาการ

4. หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์ : (053) 948244- 47 โทรสาร : (053) 948244-5 โทรศัพท์มือถือ : 089-9858390
E-mail : sathira_h@hotmail.com

5.ประวัติการศึกษา

- วท.บ. (คหกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ปีที่จบ 2536
- วท.ม. (สาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาโภชนวิทยา) มหาวิทยาลัยมหิดล ปีที่จบ 2544
- Ph.D. (Food Science) University of Newcastle, Australia. ปีที่จบ 2550

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

- Green tea application, Functional foods and Nutraceutical, Nutrition and Food Chemistry

7. ประสบการณ์งานวิจัย

7.1 งานวิจัยที่สำเร็จและได้รับการตีพิมพ์แล้ว

1) **Hirun, S**. and P. D. Roach (2011). A study of stability of (-)-Epigallocatechin gallate (EGCG) from green tea in a frozen product. *International Food Research Journal*. 18(4).

2) **Hirun Sathira**, Roach Paul Daniel (2006). Improved Method for the Analysis of Catechins in Green Tea', *13th World Congress of Food Science & Technology*, Nantes, France
3) **Hirun Sathira**, Roach Paul Daniel (2006). Stability of (-)-epigallocatechin gallate (EGCG) in a strawberry sorbet', *39th Annual AIFST Convention 2006*, Adelaide, South Australia
4) **Hirun Sathira**, Roach Paul Daniel (2005). Stability of (-)- epigallocatechin gallate (EGCG) in a strawberry sorbet, *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*,14(S108).
5) Siriprapa Klunklin, **Sathira Hirun**, Duangjai Malai, (2004). Effects of sodium carbonate and sodium chloride on characteristic properties of egg noodles fortified with hairy basil seed mucilage (*Ocimum canum, Sims*), *Journal of Nutrition Association of Thailand*. 39(1): 7-21.
6) Siriprapa Klunklin, Duangjai Malai, **Sathira Hirun**. (2002). Physical and nutritional properties of hairy basil seed mucilage powder and its supplementation in egg noodle, *Journal of Nutrition Association of Thailand*. 37(1):16-25.
7) รัตนา ไชยมูล อรุณี อภิชาติสรางกูร และ **สถิระ หิรัญ.** (2551) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีและค่ากิจกรรมเอนไซม์ของลำไยในน้ำเชื่อมที่ผ่านการถนอมด้วยความดันสูงยิ่งและการพาสเจอไรซ์.*วารสารอุตสาหกรรมเกษตร*. 1: 39 – 50.
8) รัตนา ไชยมูล อรุณี อภิชาติสรางกูร และ **สถิระ หิรัญ.** (2552) การแปรรูปลำไยในน้ำเชื่อมด้วยกระบวนการความดันสูงยิ่งและการพาสเจอไรส์. 25(3): 313-320.
9) จรรยา โท๊ะนาบุตร, อรุณี อภิชาติสรางกูร และ **สถิระ หิรัญ.** (2554) คุณภาพของชาใบบัวบกที่ทำแห้งโดยเครื่องอบแบบอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ. วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่. (อยู่ในระหว่างการตีพิมพ์)

7.2 โครงการหรือแผนงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากแหล่งทุนต่างๆ และทำเสร็จสมบูรณ์

ชื่อโครงการวิจัย	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	ปีพ.ศ. เริ่มต้น	ปีพ.ศ. สิ้นสุด	ตำแหน่ง	จำนวน นักวิจัย
1. การสกัดเส้นใยอาหารและเซลลูโลส จากกากแครอท	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	40,000	2546	2547	หัวหน้า โครงการ	2
2. โครงการวิจัย การพัฒนาสูตรบะหมี่ เสริมโปรตีนจากแป้งถั่วเหลือง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	40,000	2546	2547	ผู้ร่วมวิจัย	2
3) ชุดแผนงานวิจัยการปรับปรุงพันธุ์พริก เพื่อผลิตน้ำพริกหนุ่มที่มีความเผ็ดคงที่ และปราศจากรสขม ปีที่ 1	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)	1,227,500	2547	2549	ผู้ร่วมวิจัย	6
4) ชุดแผนงานวิจัยปรับปรุงพันธุ์พริก เพื่อผลิตน้ำพริกหนุ่มที่มีความเผ็ดคงที่และ ปราศจากรสขม ปีที่ 2	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)	1,359,400	2549	2550	ผู้ร่วมวิจัย	6
5) ชุดแผนงานวิจัยน้ำพริกหนุ่มที่ผลิตจาก พันธุ์พริกปรับปรุงแปรรูปโดยการแช่ เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วสูงต้นทุนต่ำ เพื่อ การถ่ายทอดเทคโนโลยี (2 โครงการ ย่อย)	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)	1,415,500	2550	2551	ผู้ร่วมวิจัย	6
6) โครงการพัฒนากระบวนการผลิต น้ำมันงาเพื่อให้ได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ ชุมชน (มผช.) สัญญาเลขที่ 28/2550	กรมส่งเสริม อุตสาหกรรมเขต 1 จังหวัดเชียงใหม่	280,000	มิถุนายน 2550	พฤษจิ กายน 2550	ผู้ร่วมวิจัย	2
7) ชุดแผนงานวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารและ ยาจากใบบัวบกที่ได้รับการคัดเลือกสาย พันธุ์เพื่อเสริมศึกยภาพของอุตสาหกรรม ขนาดกลาง (SMEs) (6 โครงการย่อย)	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)	1,600,000	2551	2552	ผู้ร่วมวิจัย	6
8)การผลิตเชื้อแบคทีเรียผลิตกรด แลคติกที่ทนต่อทีรีโอฟาจ	สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.)	600,000	2551	2552	หัวหน้า โครงการ	3

9) โครงการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมส่วนภูมิภาคตามนโยบาย 1 Province 1 Agro Industrial Product ในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน แผนที่ 6 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ สัญญาที่ มส (0028) 1 และ 2 / 2551	อุตสาหกรรมจังหวัดแม่ฮ่องสอน	200,000	มีนาคม 2551	ธันวาคม 2551	ผู้ร่วมวิจัย	2
ชื่อโครงการวิจัย	**แหล่งทุน**	**งบประมาณ (บาท)**	**ปีพ.ศ. เริ่มต้น**	**ปีพ.ศ. สิ้นสุด**	**ตำแหน่ง**	**จำนวนผู้วิจัย**
7) ชุดแผนงานวิจัย ผลิตภัณฑ์อาหารและยาจากใบบัวบกที่ได้รับการคัดเลือกสายพันธุ์เพื่อเสริมศักยภาพของอุตสาหกรรมขนาดกลาง (SMEs)	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	1,600,000	2552	2553	ผู้ร่วมวิจัย	6
8) โครงการวิจัยเครื่องดื่มบำรุงสุขภาพสกัดจากพืชเสริมโปรไบโอติกส์	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	679,000	2553	2554	ผู้ร่วมวิจัย	2
9) โครงการวิจัยการพัฒนาอาหารจากพืชและสัตว์ด้วยเทคนิคความดันสูงยิ่ง	สำนักประกันคุณภาพกลาง บริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหารจำกัด (CP)	500,000	ตุลาคม 2552	พฤษภาคม 2553	ผู้ร่วมวิจัย	2

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางนิรมล อุตมอ่าง
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Niramon Utama-ang
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน : 3 6501 01186 83 4
3. ตำแหน่งปัจจุบัน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50100 โทรศัพท์: 66-53 948201, 8230 โทรสาร:66-53-948230 E-mail : aiintmng@chiangmai.acth

5. ประวัติการศึกษา

วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2530)
วท.ม. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2535)
ปร.ด. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2549)

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
- การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และการทดสอบผู้บริโภค
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางโภชนาการ Functional food and Nutraceutical ผลิตภัณฑ์

ชา สมุนไพร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์คัสตราดนม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง กระทรวงศึกษาธิการ (2538 – 2539)
2. หัวหน้าโครงการวิจัย การสกัดเยื่อใยอาหารจากกากสับปะรดและการใช้ประโยชน์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง กระทรวงศึกษาธิการ (2539 –2541)

3. หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมธัญพืชและถั่วบรรจุกระป๋อง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทบวงมหาวิทยาลัย (2544-2547)
4. หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปผักบรรจุกระป๋อง มูลนิธิโครงการหลวง (2545-2547)
5. หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากพืชสมุนไพรเจียวกู้หลาน มูลนิธิโครงการหลวง (2547- 2549)
6. หัวหน้าโครงการวิจัย การศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ ประสาทสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพร ทุนมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2550-2551)
7. หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนากรรมวิธีการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ เพื่อรักษาสารแอนติออกซิแดนท์ ทุน สกว. IRPUS (2550)
8. หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องสมุนไพร ทุน สกว. IRPUS (2551)
9. หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวสมุนไพร ทุน สกว. IRPUS (2551)
10. หัวหน้าโครงการ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟระดับอุตสาหกรรม เพื่อรักษาสารแอนติออกซิแดนท์ ทุนงบประมาณแผ่นดิน 2552
11. หัวหน้าโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงสำเร็จรูปเสริมสารสกัดจากกากองุ่นแดง ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สกว.) MAG Window I 2552
12. หัวหน้าโครงการ การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากดอกจำปา และการประยุกต์ใช้ชาผงกลิ่นดอกไม้สำเร็จรูป ทุนกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2552
13. หัวหน้าแผนงานวิจัยชุดโครงการ การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาเขียวและขมิ้นชันเพื่อเป็นอาหารเสริมสร้างสุขภาพ งบประมาณแผ่นดิน 2553

7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

1. **นิรมล ล้อสุริยนต์**. 2536. การสำรวจและการทดสอบผู้บริโภคเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์. รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง.
2. **นิรมล อุตมอ่าง**. 2537. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปรูปชนิดแผ่นจากถั่วมะแฮะ. รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง.
3. **นิรมล อุตมอ่าง** และชไมพร เพ็งมาก. 2537. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลอดช่องสิงค์โปร์กึ่งสำเร็จรูป.

รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง.

4. **นิรมล อุตมอ่าง**. 2538. การพัฒนาสูตรน้ำพริกแกงส้มผงสำเร็จรูป. รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง.
5. **นิรมล อุตมอ่าง** พรรณี อินต๊ะปวน และเอกชัย แซ่โง้ว. 2539. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แยมส้มผสมว่านหางจระเข้. รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง.
6. **นิรมล อุตมอ่าง** และวันเพ็ญ จิตรเจริญ. 2539. การศึกษาสารให้ความคงตัวในนมช็อกโกแลตไขมันต่ำ. รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง.
7. ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และ**นิรมล อุตมอ่าง**. 2539. การผลิตถั่วลิสงงอกดองบรรจุกระป๋อง.รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง.
8. **นิรมล อุตมอ่าง** และวันเพ็ญ จิตรเจริญ. 2540. การพัฒนาผลิตภัณฑ์คัสตราดนม.รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35, มหาวิทยาเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.
9. ธีรวัลย์ ชาญฤทธิเสน และ**นิรมล อุตมอ่าง**. 2540. การใช้ประโยชน์จากมอล์ทข้าวสาลีในการทำเครื่องดื่มน้ำนมถั่วเหลือง. รายงานการประชุมธัญพืชเมืองหนาว, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
10. **นิรมล อุตมอ่าง** วัลลภา พงษ์สิทธิผล และณัฐวุฒิ วังกาวรรณ์. 2541. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนกึ่งสำเร็จรูปจากแป้งขาวเจ้าพรีเจลลาติไนซ์. รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง
11. **นิรมล อุตมอ่าง**, อุบลรัตน์ พรหมฟัง และวันเพ็ญ จิตรเจริญ. 2543. การพัฒนาสูตรแกงฮังเล. รายงานการประชุมวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, ลำปาง
12. **นิรมล อุตมอ่าง,** จริญญา พันธุรักษา, พวงทอง ใจสันติ์, จิตรา กลิ่นหอม, ปิยวรรณ สิมไพศาล และ โปรดปราน ทาเขียว. 2546. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปผักบรรจุกระป๋อง. การประชุมวิชาการมูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่.
13. จิตรา กลิ่นหอม, จริญญา พันธุรักษา และ**นิรมล อุตมอ่าง.** 2548. องค์ประกอบทางเคมีและ

คุณสมบัติทางกายภาพของเนื้ออโวกาโดที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่. วารสารคณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 21(2): 117-126.

14. จริญญา พันธุรักษา, **นิรมล อุตมอ่าง,** พวงทอง ใจสันติ์, จิตรา กลิ่นหอม, ปิยวรรณ สิมไพศาล และ โปรดปราน ทาเขียว. 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปผักบรรจุกระป๋อง. วารสารคณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 21(2): 157-164.

15. **นิรมล อุตมอ่าง.** 2549. การประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา และความเหมาะสมของชาเจียวกู้หลาน. การประชุมวิชาการมูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่.

16. **นิรมล อุตมอ่าง.** 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสร้างสุขภาพจากพืชสมุนไพรเจียวกู้หลาน (*Gynostemma pentaphyllum*). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, มูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่.

17. ธนพล กิจพจน์, ณัชฐณา เหล่ากุลดิลก, บรรณนิสา ทิพย์วิชัย และ**นิรมล อุตมอ่าง**. 2550. ผลของการชงชาต่อคุณภาพของสีและการยอมรับของผู้บริโภคของชาเขียวและชาสมุนไพรเจียวกู้หลาน. เรื่องเต็มการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 45 มหาวิทยาลัยเกษตรสาสตร์, กรุงเทพ.

18. Teramoto, Y.; Kanlayakrit, W.; Khanongnuch, C.; Techapun, C.; **Utama-ang, N**.; Sriwattana, S. and Chavanich, S. 2000. Alcoholic beverages in Thailand. Ferment 13(3) : 57-61

19. **Utama-ang, N**. and Tepjaikad, T. 2001. Utilization of dietary fiber from pineapple in sausage, beverage and bakery product. The 11th World Congress of Food Science and Technology, Korea.

20. **Utama-ang N**., P. Chompreeda and A. Jangchud. 2003. Study on consumer behavior factors on serum lipid and related diseases by discriminant analysis. The Kasetsart University Conference, Bangkok, Thailand

21. **Utama-ang, N**., P. Chompreeda, V. Haruthaitanasan, N. Lerdvuthisopon and T. Suwansichon. 2004. Factor analysis of Thai consumer behavior on herbal beverage. The 6th Agro-Industrial Conference THAIFEX &THAIMAX, IMPACT, Bangkok, Thailand.

22. **Utama-ang, N.,** P. Chompreeda, V. Haruthaitanasan, N. Lerdvuthisopon, T. Suwansichon and U. Khansuwan. 2004. Effect of microwave drying on antioxidant and saponin in Jiaogulan herb (Gynostemma pentaphyllum). The 5th International Conference and Exhibition on Nutraceuticals and Funtional Foods, San Francisco, California.,.U.S.A.

23. **Utama-ang, N**., P. Chompreeda, V. Haruthaitanasan, N. Lerdvuthisopon, T. Suwansichon

and B.A. Watkins. 2005. Identification of critical attributes to product acceptance of Jiaogulan tea by logistic regression analysis. The 2005 IFT (International of Food Technology) Annual Meeting Technical Program, New Orleans, Louisiana, U.S.A.

24. **Utama-ang, N**., P. Chompreeda, V. Haruthaitanasan, N. Lerdvuthisopon, T. Suwansichon, K. Woods and B.A. Watkins. 2006. Identification of major saponin in *Gynostemma pentaphyllum*. Kasetsart University Journal 40 Supplement (Agro-Industry): 59-66.
25. **Utama-ang, N.** 2006. Development of Jiaogulan Tea (Gynostemma pentaphyllum). Ph.D. Thesis, Kasetsart University, Bangkok.
26. **Utama-ang, N**., P. Chompreeda, V. Haruthaitanasan, N. Lerdvuthisopon, T. Suwansichon and B.A. Watkins. 2007. Optimization of chemical properties, sensory descriptive and consumer acceptance of Jiaogulan tea using response surface methodology (RSM). Chiangmai University Journal. 6(1): 101-120.
27. **Utama-ang, N.,** B.A. Watkins, Y. Li and K. Wood. 2007. Effect of *Gynostemma pentaphyllum* extract containing saponin on serum lipid profile in rats. The 2007 IFT (International of Food Technology) Annual Meeting Technical Program, Chicago, IL, U.S.A.
28. Maisuthisakul, P. and **N. Utama-ang.** 2007. Phenolic and flavonoid antioxidants from *Piper betel Linn.* extract obtained with different solvents. The 2007 IFT (International of Food Technology) Annual Meeting Technical Program, Chicago, IL, U.S.A.
29. **Utama-ang, N**. 2007. Impact of health on the buying decision and consumer acceptance of Jiaogulan (*Gynostemma pentaphyllum*) tea infusion. The 7th Pangborn Sensory Science Symposium, Minneapolis, MN, U.S.A.
30. **นิรมล อุตมอ่าง.** 2550. การพัฒนาอาหารสร้างสุขภาพจากพืชสมุนไพรเจียวกู้หลาน: ตอนที่ 1 การประชุมวิชาการมูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่.
31. **นิรมล อุตมอ่าง.** 2550. การพัฒนาอาหารสร้างสุขภาพจากพืชสมุนไพรเจียวกู้หลาน: ตอนที่ 2 การประชุมวิชาการมูลนิธิโครงการหลวง, เชียงใหม่.
32. **Utama-ang, N.**, K. Suthapathi andW. Prinyawiwatkul. 2007. Effecting Factor on Consumer Acceptance and Purchase Intension of Herbal Tea Using Logistic Regression. Chiang Mai University Conference, Chiangmai, Thailand.
33. สิริรัตน์ ใจสาม และนิรมล อุตมอ่าง. 2551. การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภค

ต่อเครื่องดื่มประเภทชา. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46, กรุงเทพ.

34. **นิรมล อุตมอ่าง** กัญญารัตน์ สุภักติ และ วิฑูร ปริญญาวิวัฒน์กุล. 2551. การศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ ประสาทสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

35. **นิรมล อุตมอ่าง.** 2551. เอกสารประกอบการสัมมนา APO society talk on tour: ระบบการจัดการ
ด้านความปลอดภัยอาหาร (Food Safety Management System) ISO 22000. สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, เชียงใหม่

36. **นิรมล อุตมอ่าง.** 2551. บทสัมภาษณ์: ไขกลยุทธ์ ISO 22000 รับยุกวิกฤตอาหารโลก. หนังสือพิมพ์ผู้จัดการรายสัปดาห์ 21 (1130): D1 –D2.

37. คุณนิตา สากระจาย, คณึงรัตน์ สุราใหม่, พิชอรณ์ ไหมสุทธิสกุล และ**นิรมล อุตมอ่าง.** 2551. การพัฒนากรรมวิธีการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ เพื่อรักษาสารแอนติออกซิแดนท์. งานนิทรรศการผลงาน IRPUS 51, กรุงเทพ.

40. Sittikaipong, N., A. Apichartsrangkoon. and **N.Utama-ang**. 2008. Saponin extraction efficiency from Jiaogulan (Gynostemma pentaphyllum) using microwave technology. KU-CMU Academic Symposium 2008, Takamatsu, Japan.

42. Samakrashamrongthai, R. and Utama-ang, N. 2008. Development of mango tea. International Tea Conference, Maefhalong University, Chiangrai, Thailand

43. สิริรัตน์ ใจสาม และ นิรมล อุตมอ่าง. 2551. การประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสารสกัดเจียวกู้หลาน. การประชุมวิชาการ 10 ปีแม่ฟ้าหลวง, มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, เชียงราย.

44. กนกวรรณ พรหมจีน และ นิรมล อุตมอ่าง. 2551. การศึกษาสภาวะการทำแห้งชาเขียวโดยใช้ไมโครเวฟสุญญากาศ. ประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , เชียงใหม่.

45. วิจิตรา หิรัญญสุวรรณ สุริญญา วิญญายอง และ นิรมล อุตมอ่าง. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปผสมสมุนไพร. การประชุมวิชาการโครงงานอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ระดับชาติ ครั้งที่ 1, กรุงเทพ.

46. รวิษฎา สถิรวัฒนา ลัคนา บริจินดากุล และ นิรมล อุตมอ่าง. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวสมุนไพร. งานนิทรรศการผลงาน IRPUS 52, กรุงเทพ.

47. Promjeen, K. and Utama-ang, N. 2009. Study of Consumer Acceptance and Purchase Intention on Green tea Mixed Liquorices and Lemongrass Using Logistic Regression. Food Innovation Asia 2009: Value creation through innovation in food technology, Bangkok.

48. Samakradhamrongthai, R., Utama – Ang, N. and Thakeow, P. 2009. Identification of volatile compounds released from dry scented Thai flowers and their potential application in flower-mixed tea. Food Innovation Asia 2009: Value creation through innovation in food technology, Bangkok.

49. Utama-ang, N. and Jaisam, S. 2009. Relationship between sensory descriptive and chemical property of Jiaogulan (*Gynostemma pentaphyllum*.) tea with lime juice. Summer Program in Sensory Evaluation 2009 (SPISE2009), Food consumer insights in Asia: current issues & future. HoChiMinh City, Vietnam.

7.3 งานวิจัยที่กำลังทำ :

1.หัวหน้าโครงการการพัฒนากรรมวิธีการผลิตชาเขียวโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟระดับอุตสาหกรรม เพื่อรักษาสารแอนติออกซิแดนท์ ทุนงบประมาณแผ่นดิน 2552 (ลุล่วงแล้ว 90%)

2. หัวหน้าโครงการ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผงสำเร็จรูปเสริมสารสกัดจากกากองุ่นแดง ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สกว.) MAG Window I 2552 (ลุล่วงแล้ว 20%)

3. หัวหน้าโครงการ การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากดอกจำปา และการประยุกต์ใช้ชาผงกลิ่นดอกไม้สำเร็จรูป ทุนกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2552 (ลุล่วงแล้ว 20%)