บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผล

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของอุณหภูมิ และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งในการทำแห้ง ขิง ข่า และขมิ้นชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์

1. ผลของอุณหภูมิ และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งในการทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชัน

ผลการศึกษาอุณหภูมิ (120 130 และ 140 องศาเซลเซียส) และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (1.17 1.46 และ 2.01 เมตรต่อวินาที) ในการทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชัน ได้แก่ ผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อการลดความชื้น และผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อเวลาการทำแห้ง สามารถอภิปรายได้ดังต่อไปนี้

1.1 ผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อการลดความชื้น

จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อการลดความชื้นของขิง ข่า และขมิ้นชัน เมื่ออุณหภูมิ และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพิ่มขึ้น สามารถลดความชื้นได้เร็ว (ภาพที่ 4-1 ถึงภาพที่ 4-21) สอดคล้องกับรายงานของ อาทิตย์ จันทร์หิรัญ (2550) ศึกษาการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่า เมื่อทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูง มีผลให้ลดความชื้นได้เร็วกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ และความเร็วต่ำ

อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อการลดความชื้น เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิ และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูง สามารถลดความชื้นได้เร็ว เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลต่างของอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง กับอุณหภูมิตัวอย่างมีค่าสูง มีผลให้สามารถถ่ายโอนความร้อนจากตัวกลางไปยังตัวอย่างได้มาก น้ำระเหยได้ง่ายขึ้น จึงลดความชื้นได้เร็วกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (สุดาทิพย์ คงขำ และคณะ, 2549; Nathakaranakul et al., 2007) อีกทั้งความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สูง ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อน (Convection) ได้ดี มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน (Heat-transfer coefficient) ระหว่างไอน้ำและตัวอย่างสูง มีผลให้สามารถถ่ายโอนความร้อนจากตัวกลางไปยังผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น (Tang et al., 2005) นอกจากนี้ มีรายงานการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูง มีส่วนช่วยในการระเหยน้ำที่เกิดจากการควบแน่นในช่วงแรกของการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งได้เร็วกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่ำ ทำให้ความชื้นในตัวอย่างลดลงได้รวดเร็ว (Prachayawarakorn et al., 2006; Tang et al., 2005) อย่างไรก็ตาม Krokida, Karathanos,

Maroulis and Marinos-Kouris (2003) รายงานว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลมากต่ออัตราการทำแห้ง ในขณะที่ความเร็วเป็นปัจจัยที่มีผลรองลงมา

1.2 ผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อเวลาการทำแห้ง

จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีอิทธิพลร่วมกันต่อเวลาการทำแห้งของขิง และข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4-3) โดยพบว่า เมื่ออุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพิ่มขึ้น เวลาการทำแห้งลดลง สอดคล้องกับรายงานของ อาทิตย์ จันทร์หิรัญ (2550) ศึกษาการทำแห้งขิง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อเวลาการทำแห้งขิง เมื่ออุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพิ่มขึ้น เวลาการทำแห้งลดลง

อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อเวลาการทำแห้ง เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูง เวลาการทำแห้งลดลง เนื่องจาก การทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูง ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารได้ดีกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่ำ ทำให้ความชื้นในตัวอย่างลงลงอย่างรวดเร็ว อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น เวลาการทำแห้งลดลง (สุดาทิพย์ คงขำ และคณะ, 2549; Nathakaranakul et al., 2007; Tang et al., 2005)

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่าง ๆ กัน

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ สี เถ้า เถ้าที่ไม่ละลายในกรด น้ำมันหอมระเหย และปริมาณความชื้น และเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดสำหรับขมิ้นชัน ของผลิตภัณฑ์ ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้งภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่าง ๆ กัน สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

2.1 ค่าสี

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อค่าสี พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง โดยมีค่าสีแดงอยู่ในช่วง 10.32 ± 0.33 ถึง 11.96 ± 0.68 และค่าสีเหลืองอยู่ในช่วง 22.95 ± 0.48 ถึง 25.61 ± 0.31 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อทำแห้งข่าที่อุณหภูมิและความเร็วสูงมีผลให้ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนระหว่างตัวกลางกับอาหารได้ดี (Moreira, 2001) ช่วยลดการเสื่อมสภาพทางความร้อน (Thermal degradation) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Mailard reaction) ดังนั้น มีผลให้ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองลดลง นอกจากนี้ พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ขิง และค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความสว่างลดลง ในขณะที่ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล มีรายงานว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด และคาราเมลไรเซชัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(Caramelization) เป็นต้น (Jamradloedluk et al., 2007; Leeratanaraket al., 2006; Somjai, Achariyaviriya, Achariyaviriya, and Namsanguan, 2009) สำหรับความเร็ว Tang et al. (2005) รายงานว่าความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในอาหารไม่มาก แต่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งช่วยให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อนได้ดี

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ อาทิตย์ จันทร์หิรัญ (2550) ศึกษาการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่อุณหภูมิ 110 130 และ 150 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองลดลง Jamradloedluk et al. (2007) ศึกษาการทำแห้งทุเรียนด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 140 และ 150 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสว่างลดลง เช่นเดียวกับรายงานของ Somjai et al. (2009) ศึกษาการทำแห้งลำไยด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 ถึง 180 องศาเซลเซียส พบว่าค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสว่างลดลง มีรายงานการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับเวลาการทำแห้ง ปิยะวรรณ มาศิริ และยุวนารี นามสงวน (2550) รายงานว่า ค่าสีเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการทำแห้ง เมื่อเวลาการทำแห้งนานขึ้น ค่าความสว่างลดลง อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาทำแห้ง

2.2 ปริมาณเถ้า

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อปริมาณเถ้า พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ปริมาณเถ้า เป็นปริมาณเถ้ารวมที่เกิดจากเนื้อเยื่อของเครื่องเทศ และอาจเกิดจากสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น หิน ดิน ทราย เป็นต้น นอกจากนี้ยังแสดงถึงกระบวนการเตรียมขั้นต้น ขิงที่แช่ด้วยด่างเพื่อฟอกขาวก่อนการทำแห้งมีผลให้ปริมาณเถ้ามีค่าสูง (Tainter & Grenis, 1993) มีรายงานของ อาทิตย์ จันทร์หิรัญ (2550) พบว่าปริมาณเถ้าของขิงทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.57 ถึง 11.03 โดยการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ชุมพร พรมลาย และวีระศักดิ์ จันเสนา (2545) ศึกษาปริมาณเถ้าในขมิ้นชัน พบว่า ขมิ้นชันมีปริมาณเถ้าร้อยละ 1.18

จากการตรวจเอกสาร พบว่า โดยทั่วไปปริมาณเถ้ารวมจะมีค่าระหว่างร้อยละ 1 ถึง 20 (สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) มาตรฐานอุตสาหกรรมขิงแห้ง กำหนดให้ปริมาณเถ้าของขิงต้องไม่เกินร้อยละ 10 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณเถ้าของขมิ้นชันผงต้องไม่เกินร้อยละ 9 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขิง และขมิ้นชันแห้ง มีปริมาณเถ้าอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด

2.3 ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดพบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดเป็นตัวชี้วัดความสะอาดของผลิตภัณฑ์ แสดงถึงปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่ติด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มากับเครื่องเทศ เช่น หิน ดิน ทราย กรวด เป็นต้น (Tainter & Grenis, 1993) โดยทั่วไปจะมีค่าระหว่างร้อยละ 1 ถึง 10 (สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดของขมิ้นชันต้องไม่เกินร้อยละ 1 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง มีปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด โดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้งเป็นเกณฑ์

2.4 ปริมาณน้ำมันหอมระเหย

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหย พบว่ามีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ขิงแห้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.08±0.14 ถึง 2.17±0.14 ผลิตภัณฑ์ข่าแห้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.08±0.14 ถึง 0.92±0.14 และผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 4.17±0.14 ถึง 7.33±0.29 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วสูงมีผลให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ขิงและขมิ้นชันแห้งสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำและความเร็วสูงมีผลให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ข่าแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณน้ำมันหอมระเหยเป็นปริมาณสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย ได้จากการสกัดน้ำมันที่พืชสมุนไพรสร้างขึ้น เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น สามารถระเหยได้ง่ายขึ้น (สิริลักษณ์ มาลานิยม, 2545) เมื่อนำพืชวงค์ขิงที่มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบมาทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูง ทำให้สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่ายสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการทำแห้ง จึงพบว่าผลิตภัณฑ์ข่าแห้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลง อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่ำ (สุดาทิพย์ คงขำ และคณะ, 2549; Nathakaranakul et al., 2007; Tang et al., 2005) มีผลให้ใช้เวลาในการทำแห้งลดลง แม้ทำแห้งที่อุณหภูมิสูง แต่ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นลงทำให้สูญเสียปริมาณน้ำมันหอมระเหยลดลง ดังนั้นจึงพบว่า ผลิตภัณฑ์ขิง และขมิ้นชันแห้งที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยหลงเหลืออยู่สูงกว่า เมื่อเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่ำ อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสมบัติของน้ำมันหอมระเหยด้วยว่าทนความร้อนหรือไม่

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ขิงแห้งที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ อาทิตย์ จันทร์หิรัญ (2550) ศึกษาการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่าขิงแห้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.371 ถึง 0.490 โดยทั่วไปน้ำมันหอมระเหยในขิงมีค่าระหว่างร้อยละ 1 ถึง 3.3 (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และนงลักษณ์ เรื่องวิเศษ, 2551; รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545; Ali et al., 2008; Peter, 2001; Tainter & Grenis, 1993) มาตรฐาน

อุตสาหกรรมขิงแห้ง กำหนดให้ปริมาณปริมาณน้ำมันหอมระเหยของขิงแห้งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง ภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมขิงแห้งกำหนด คือร้อยละ 2.17±0.14 ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ข่าแห้งที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับ รายงานของรัชดา ทนวิทูวัตร (2551) พบว่าข่ามีปริมาณน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 0.13 และรายงานของกฤติกา นวจิตร และคณะ (2005) สกัดน้ำมันหอมระเหยจากข่าโดยการต้มกลั่น พบว่ามีปริมาณน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 0.18 โดยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่พบในข่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.04 - 0.18 (กฤติกา นวจิตร และคณะ 2005; ดารณี แก้วมุณีวงศ์, 2543; รัชดา ทนวิทูวัตร, 2551; Ibrahim et al., 2009) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ข่าแห้งภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุด ($p<0.05$) คือร้อยละ 0.92±0.14 สำหรับขมิ้นชันพบว่าปริมาณของน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Leela et al. (2002) พบว่าเหง้าขมิ้นชันมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 3.8 โดยปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่พบในขมิ้นชันอยู่ในช่วงร้อยละ 1.5 – 14.5 (Subhadhirasakul et al., 2007; Tainter & Grenis, 1993) มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณปริมาณน้ำมันหอมระเหยของขมิ้นชันแห้งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 3.5 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) ข้อกำหนดคุณภาพสมุนไพร (Thai Herbal Pharmacopoeia; THP) ขมิ้นชันระบุว่ามีปริมาณน้ำมันหอมระเหยไม่น้อยกว่าร้อยละ 6.0 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2547; สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง ภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุด ($p<0.05$) และอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง และข้อกำหนดคุณภาพสมุนไพรขมิ้นชันกำหนด คือร้อยละ 7.33±0.29

2.5 ปริมาณความชื้น

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่ามีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ขิงแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5.82±1.18 ถึง 9.58±0.96 ผลิตภัณฑ์ข่าแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11.35±0.78 ถึง 16.86±2.72 และผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 3.75±0.00 ถึง 9.79±0.72 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วสูง ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้งลดลง อาจเกิดจากผลต่างของอุณหภูมิภายในห้องทำแห้งกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เมื่อนำผลิตภัณฑ์ออกจากห้องทำแห้ง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิวอาหารทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เพิ่มขึ้น แต่การทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงกว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่ำ (Nathakaranakule et al., 2007) จึงระเหยความชื้นที่เกิดขึ้นหลังจากนำผลิตภัณฑ์ออกจากห้องทำแห้งได้ดี ปริมาณความชื้นจึงลดลง มาตรฐานอุตสาหกรรมขิงแห้ง กำหนดให้ปริมาณความชื้นของขิงแห้งต้องไม่เกินร้อยละ 12 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณความชื้นของขมิ้นชันชนิดก้อนแห้งต้องไม่เกินร้อยละ 12 ชนิดผงต้องไม่เกินร้อยละ 10 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขิง และขมิ้นชันแห้ง มีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมขิง และขมิ้นชันแห้งกำหนด (ร้อยละ 5.82±1.18 ถึง 9.58±0.96) ในขณะที่ข่า มีปริมาณความชื้นสูงกว่าเกณฑ์ตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมขิง และขมิ้นชันแห้งกำหนด

2.6 เคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่ามีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 12.35±0.53 ถึง 17.37±0.62 เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วสูงมีผลให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการทำแห้งด้วยอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่ำ (สุดาทิพย์ คงขำ และคณะ, 2549; Nathakaranakul et al., 2007; Tang et al., 2005) มีผลให้ใช้เวลาในการทำแห้งลดลง แม้ทำแห้งที่อุณหภูมิสูง แต่ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นลงทำให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ถูกทำลายเนื่องจากความร้อนลดลง อย่างไรก็ตามมีรายงานเคอร์คูมินซึ่งเป็นสารในกลุ่มเคอร์คูมินอยด์มีความคงตัวต่อความร้อนสูง (Stankovic, 2004) ดังนั้นจึงพบว่า ผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งที่ทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์สูงกว่า เมื่อเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วต่ำ

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Subhadhirasakul et al. (2007) พบว่า เหง้าขมิ้นชันแห้งมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ร้อยละ 22 น้ำหนักโดยน้ำหนัก มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณปริมาณเคอร์คูมินอยด์ของขมิ้นชันแห้งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) ข้อกำหนดคุณภาพสมุนไพรไทย (Thai Herbal Pharmacopoeia; THP) ระบุว่าขมิ้นชันมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2547; สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) โดยพบว่าการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที ผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์สูงสุด ($p<0.05$) คือร้อยละ 17.37±0.62 และอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้งและข้อกำหนดคุณภาพสมุนไพรกำหนด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง พบว่า อุณหภูมิและความเร็วส่งผลต่อพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ดังนี้ ค่าสี ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ปริมาณความชื้น และปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดสำหรับขมิ้นชัน การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต้องพิจารณาถึงเกณฑ์มาตรฐานที่อุตสาหกรรมขิง และขมิ้นชันแห้งกำหนด เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ดังกล่าว อาจสรุปได้ดังนี้ สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที และสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขมิ้นชันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที สำหรับข่า พบว่า ยังไม่มีเกณฑ์กำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง อย่างไรก็ตามพิจารณาจากปริมาณน้ำมันหอมระเหย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที

3. ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง

ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content) และความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• (DPPH Radical-scavenging Activity) ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่าง ๆ กัน สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

3.1 ปริมาณฟีนอลทั้งหมด

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีปริมาณฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 16.43$\pm$1.27 ถึง 24.85$\pm$1.75 mg of gallic acid/g sample แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อทำแห้งที่อุณหภูมิสูงและความเร็วสูง มีผลให้ปริมาณฟีนอลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งสูงสุด นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่า อุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขิง และข่าแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเกิดจากการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วสูงเกิดการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารในผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า (สุดาทิพย์ คงขำ และคณะ, 2549; Nathakaranakul et al., 2007; Tang et al., 2005) มีผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ (Parenchyma cell walls) และเซลล์น้ำมัน (Oil cells) แตกออกได้มาก (Azian et al., 2004) นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลที่จับแน่นอยู่กับเนื้อเยื่อพืช (Bound form) อยู่ในรูปอิสระ (Free form) มากขึ้น มีผลให้ถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น (รุจิรา ตาปราบ และคณะ, 2551) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงเกินไปและใช้เวลาทำแห้งนานทำให้สารประกอบฟีนอลเกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุล ปริมาณฟีนอลทั้งหมดอาจมีปริมาณลดลงได้ (Vega-Glvez et al., 2009)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากการตรวจเอกสาร พบว่า สารประกอบในกลุ่มฟีนอล เป็นสารประกอบทุติยภูมิ (Secondary Metabolites) ที่พืชสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์พืช (Mattila & Hellstrom, 2007) เป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (โอภา วัชระคุปต์, 2549) อย่างไรก็ตามปริมาณสารประกอบฟีนอทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ มีปริมาณต่ำกว่ารายงานของ Chan et al. (2008) พบว่า สารประกอบฟีนอลทั้งหมดของเหง้าขิงสดมีค่าเท่ากับ 157±18 mg of gallie acid/ 100 g sample เหง้าข่าสดมีค่าเท่ากับ 392±50 mg of gallic acid/ 100 g sample และเหง้าขมิ้นชันสดมีค่าเท่ากับ 230±19 mg of gallic acid/ 100 g sample

3.2 ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH•

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง อย่างไรก็เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่า ความเร็วมีผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ของผลิตภัณฑ์ขิง และขมิ้นชันแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทำแห้งที่ความเร็วต่ำมีผลให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ของผลิตภัณฑ์ขิง และขมิ้นชันแห้งเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากการทำแห้งที่ความเร็วต่ำช่วยเพิ่มเวลาการทำแห้งมีผลให้สารสำคัญถูกสกัดออกมาจากเนื้อเยื่อพืชได้มากขึ้น

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ผลิตภัณฑ์ขิงและข่าแห้งมีค่าสูง และผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีค่าต่ำกว่ารายงานของ Chan et al. (2008) พบว่าเหง้าขิงสดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• เท่ากับ 84±3 mg AA/ 100 g sample เหง้าข่าสด ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• มีค่าเท่ากับ 90±36 mg AA/ 100 g และเหง้าขมิ้นชันสดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• เท่ากับ 113±18 mg AA/ 100 g sample

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง พบว่า อุณหภูมิและความเร็วส่งผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้งแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในขิง ข่า และขมิ้นชันที่แตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบที่มีผลต่อการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Vega-Glvez et al. 2009) ซึ่งสารที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดในกลุ่มของสารประกอบที่พบในขิงสดคือ Gingerol แต่สารประกอบชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นสาร Shogaol หรือ Zingerone ได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน (รุจิรา ตาปราบ และคณะ, 2551; Jolad et al., 2005) สมบัติการต้านอนุมูลอิสระจึงลดลง สารสำคัญอื่น ๆ ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ในขิง เช่น 6-gingerol Zingiberene และ Farnesene เป็นต้น(กฤติกา นวจิตร และคณะ, 2005; รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545; รุจิรา ตาปราบ และคณะ, 2551; Ali et al., 2008; Chrubasik et al., 2005) ข่า เช่น 1,8-cineole ß-bisabolene ß-caryophyllene และ ß-selinene เป็นต้น (กฤติกา นวจิตร และคณะ, 2005; Mayachiew & Devahastin, 2008)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. ผลการวิเคราะห์สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง

ผลการวิเคราะห์สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ *S. aureus* และ *E. coli* ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่าง ๆ กัน สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

4.1 สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ *S. aureus*

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อการยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ขิงแห้งมีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสอยู่ในช่วง 11.00±0.66 ถึง 14.40±0.80 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ข่าแห้งมีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสอยู่ในช่วง 12.15±0.17 ถึง 18.07±0.20 มิลลิเมตร และผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสอยู่ในช่วง 11.37±0.23 ถึง 15.12±0.49 มิลลิเมตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งปานกลาง ถึงสูง (Intermediate: ≥10-13 mm; Susceptible: ≥14 mm) (Lorian, 1995 cited in Oonmetta-aree et al., 2006, p. 1217) เมื่อทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วสูง มีผลให้ยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสสูงสุด อาจเกิดจากอุณหภูมิและความเร็วสูงมีผลให้ใช้เวลาในการทำแห้งสั้นกว่าการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วต่ำ เนื่องจากการทำแห้งที่ใช้เวลานานอาจทำลายสารประกอบต่าง ๆ เช่น สารประกอบฟีนอล น้ำมันหอมระเหย เป็นต้น ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Garau, Simal, Rossello, & Femenia, 2007; Vega-Glvez et al., 2009) นอกจากนี้ อุณหภูมิและความเร็วสูงอาจไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้เกิดเมลานอยดิน (melanoidins) ซึ่งมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อีกด้วย (Rufian-Henares & Morales, 2007)

จากการตรวจเอกสาร พบว่า การยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ของผลิตภัณฑ์ขิงแห้งสอดคล้องกับรายงานของ Oonmetta-aree et al. (2006) พบว่าสารสกัดด้วยเอทานอลของขิงมีฤทธิ์ในการยับยั้ง *S. aureus* มีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณวงใส 11.00±0.00 มิลลิเมตร และรายงานของ กฤติกา นรจิตร (2548) พบว่าสารสกัดด้วยเอทานอลของขิงมีฤทธิ์ในการยับยั้ง *S. aureus* มีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณวงใส 9 มิลลิเมตร การยับยั้ง *S. aureus* ผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง สอดคล้องกับรายงานของ Mayachiew and Devahastin (2008) พบว่าสารสกัดจากข่ามีฤทธิ์ในการยับยั้ง *S. aureus* มีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณวงใส 29±0.6 มิลลิเมตร Oonmetta-aree et al. (2006) พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสในการยับยั้ง *S. aureus* มีค่าเท่ากับ 22.33±0.58 มิลลิเมตร และ Khattaka, Rehmana, Shah, Ahmad, and Ahmad (2005) พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณวงใสใน มีค่าเท่ากับ 10.00±0.00 มิลลิเมตร การยับยั้ง *S. aureus* ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง สอดคล้องกับรายงานของ กฤติกา นรจิตร (2548) ศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดจากขมิ้นชันต่อการยับยั้ง *S. aureus* พบว่ามีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณวงใส 11 มิลลิเมตร Oonmetta-aree et al. (2006) และ Khattaka et al. (2005) พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณวงใสในการยับยั้ง *S. aureus* มีค่าเท่ากับ 10.00±0.00 มิลลิเมตร

4.2 สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ *E. coli*

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง นอกจากนี้ พบว่าผลิตภัณฑ์ขิง และข่าแห้งไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* โดยไม่พบเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใส

จากการตรวจเอกสาร พบว่า การยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งสอดคล้องกับรายงานของ กฤติกา นรจิตร (2548) และ Oonmetta-arce et al. (2006) พบว่าขิง และข่า ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* อย่างไรก็ตามมีรายงานของ จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ (2549) ศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์ของขิงและผลิตภัณฑ์ขิง พบว่า มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณวงใสในการยับยั้งการเจริญของ *E. colis* มีค่าเท่ากับ 12 มิลลิเมตร

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ พบว่า ผลิตภัณฑ์ขิง และข่าแห้งมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* แต่ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้ง *E. coli* ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีฤทธิ์ในการยับยั้งทั้ง *S. aureus* และ *E. coli* สารสำคัญที่พบในผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชัน คือ น้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Cousins et al., 2007; Jayaprakasha et al., 2005) ทั้งนี้น้ำมันหอมระเหยในขิง ข่า และขมิ้นชัน มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์การยับยั้งจุลินทรีย์โดยใช้การสกัดด้วยเอทานอลนอกจากได้สารสำคัญ เช่น น้ำมันหอมระเหยแล้ว สารสำคัญในขมิ้นชันที่ต่างจากพืชวงศ์ขิงทั้งสองชนิดนี้ คือ เคอร์คูมินอยด์ จึงมีผลให้ขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการยับยั้ง *E. coli* แตกต่างจาก ขิงและข่า สำหรับกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยยังไม่ทราบแน่ชัด เนื่องจากความซับซ้อนของโครงสร้างและกระบวนการต่าง ๆ ในการดำเนินชีวิตของแบคทีเรีย (Lambert, Skandamis, Coote & NyChas, 2001, อ้างถึงใน กฤติกา นรจิตร, 2548) อย่างไรก็ตามกลไกทำลายเซลล์แบคทีเรีย ของน้ำมันหอมระเหยอาจทำได้ดังนี้คือ เข้าทำลายผนังเซลล์ (Cell Wall) เยื่อหุ้มเซลล์ (Cytoplasmic Membrane) โปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ ไซโตพลาสซึมเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน (Coagulation of Cytoplasm) และสูญเสียแรงขับเคลื่อนของโปรตอน (Depletion of the Proton Motive Force) (Burt, 2004) Oonmetta-aree et al. (2006) รายงานว่าสารสกัดจากข่าจะเข้าไปทำให้ผนังเซลล์ของ *S. aureus* เปิดออก สูญเสียความเป็นเยื่อเลือกผ่าน ไซโตพลาสซึมเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน กรดนิวคลีอิก โปรตีน และไรโบโซม (Ribosomes) ไหลออกมานอกเซลล์

5. สหสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่าง ๆ กัน

การศึกษาสหสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่าง ๆ กัน โดยเลือกสมบัติที่คาดว่าอาจมีความสัมพันธ์กัน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

5.1 สหสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า บางพารามิเตอร์ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอาจกล่าวได้ว่าสมบัติด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ขิงแห้งที่มีความสัมพันธ์กันสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาสมบัติอีกด้านหนึ่งได้ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลทั้งหมด กับการยับยั้ง *S. aureus* พบว่า สารประกอบฟีนอลบางชนิด มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ดังตัวอย่างสารสำคัญที่พบในขิงที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์และต้านอนุมูลอิสระ คือ 6-gingerol Zingiberene และ Farnesene (กฤดิกา นวจิตร, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และอรพิน เกิตชูชื่น, 2005; รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545; รุจิรา ตาปราบ, จันทร์มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2551; Chrubasik, Pittler, & Roufogalis, 2005)

5.2 สหสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า บางพารามิเตอร์ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอาจกล่าวได้ว่าสมบัติด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ข่าแห้งที่มีความสัมพันธ์กันสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาสมบัติอีกด้านหนึ่งได้ เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง

5.3 สหสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า บางพารามิเตอร์ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอาจกล่าวได้ว่าสมบัติด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งที่มีความสัมพันธ์กันสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาสมบัติอีกด้านหนึ่งได้

ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย และปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอล (Ak & Gulcin, 2008) นอกจากนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ (รุจิรา ตาปราบ, จันทร์มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2551; Ak & Gulcin, 2008; Khattaka et al., 2005; Oonmetta-aree et al., 2006) ดังนั้นจึงพบว่าน้ำมันหอมระเหย และเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH และการยับยั้ง *S. aureus*

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ พบว่า อุณหภูมิและความเร็วมีผลต่อผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชัน แตกต่างกัน ($p<0.05$) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง พบว่า มีสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ แตกต่างกัน การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชัน ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ต้องพิจารณาผลที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ร่วมกัน และได้คุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที เนื่องจาก มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยปริมาณฟีนอลทั้งหมด การยับยั้งการเจริญของ

S. *aureus* สูงสุด ปริมาณความชื้นต่ำสุด และเวลาในการทำแห้งสั้นสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งข่าด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที เนื่องจาก มีปริมาณน้ำมันหอมระเหย และการยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* สูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขมิ้นชันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็ว 2.01 เมตรต่อวินาที เนื่องจาก มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุด ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดสูง ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• สูงสุด และการยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* สูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเป็นสภาวะในการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในการทดลองตอนที่ 2

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของการเคลือบด้วยไคโตซานก่อนการทำแห้ง ขิง ข่า และขมิ้นชันต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์

ผลการศึกษาผลของการเคลือบผิว (ไม่เคลือบผิว เคลือบผิวด้วยกรดอะซิติก และเคลือบผิวด้วยไคโตซาน) และวิธีการทำแห้ง (การทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การทำแห้งแบบระเหิด การทำแห้งด้วยอากาศร้อน การทำแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดด) ในการทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชัน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้งสามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้การเคลือบผิวด้วยไคโตซานและวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ สี เถ้า เถ้าที่ไม่ละลายในกรด น้ำมันหอมระเหย และปริมาณความชื้น และเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดสำหรับขมิ้นชัน ของผลิตภัณฑ์ ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้การเคลือบผิวและวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ค่าสี

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความสว่าง และค่าสีแดง ของผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง และค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของ ผลิตภัณฑ์ข่า และขมิ้นชันแห้ง การเคลือบผิวด้วยไคโตซานและวิธีการทำแห้งมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง เนื่องจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งแต่ละวิธี การทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส อาจมีผลให้ผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด และคาราเมลไรเซชัน เป็นต้น (Jamradloedluk et al., 2007; Lceratanarak et al., 2006; Somjai, Achariyaviriya, Achariyaviriya, & Namsanguan, 2009) จึงพบว่าการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลให้ค่า L* และ b* ต่ำสุด และค่า a* สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบ

กับการทำแห้งแบบอื่น ๆ ในขณะที่การทำแห้งแบบระเหิดเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (-30 องศาเซลเซียส) การทำแห้งด้วยอากาศร้อนเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และการทำแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิในการทำแห้งจึงต่ำกว่าการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จึงช่วยรักษาสีของขิง ข่า และขมิ้นชันได้ดีกว่า มารีนะ มะหนิ และคณะ (2546) รายงานว่าการทำแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งขิง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขิงแห้งให้สีใกล้เคียงกับขิงสดมากที่สุด สอดคล้องกับรายงานของ อาทิตย์ จันทร์หิรัญ (2550) พบว่าการทำแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ขิงแห้งมีค่าความสว่าง และค่าสีแดงใกล้เคียงกับขิงสด สำหรับการทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นการทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นพลังงานในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิในการทำแห้งประมาณ 37 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในแต่ละวัน สภาพดินฟ้าอากาศ และสถานที่ (วรรณวิภา สุวรรณรักษ์, 2546; Prasad & Vijay, 2005) แม้ว่าการทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าอากาศร้อน แต่พบว่า ค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองต่ำ ในขณะที่ค่าสีแดงสูงกว่าการทำแห้งด้วยอากาศร้อน อาจเกิดจากการใช้เวลาในการทำแห้งนาน มีผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ลิพอกซิจิเนส (Lipoxygenase) เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenoloxidase) (Schweiggert, Mix, Schieber, & Carle, 2005) จึงพบว่าค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองต่ำ ในขณะที่ค่าสีแดงสูงกว่าการทำแห้งด้วยอากาศร้อน สำหรับผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานมี พบว่า ไคโตซานเข้าไปเคลือบผิวผลิตภัณฑ์มีผลให้น้ำระเหยได้ช้า ทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งนาน มีผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ลิพอกซิจิเนส เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Schweiggert, Mix, Schieber, & Carle, 2005) นอกจากนี้ กรดอะซิติก และไคโตซานอาจทำปฏิกิริยาทางเคมีกับองค์ประกอบภายในขิง ข่า และขมิ้นชัน จึงพบว่าค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองต่ำ ในขณะที่ค่าสีแดงสูง มีรายงานสารประกอบเคอร์คูมินอยในขมิ้นชันมีการเปลี่ยนแปลงสีที่ค่าความเป็นกรดด่างต่าง ๆ กัน โดยพบว่าที่สภาพธรรมชาติสารประกอบเคอร์คูมินอยมีสีเหลือง ที่สภาวะเป็นด่างสารประกอบเคอร์คูมินอยเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม และที่สภาวะเป็นกรดสารประกอบเคอร์คูมินอยมีสีดำปนเหลือง (Goel, Kunnumakkara, & Aggarwal, 2008) ดังนั้นจึงพบว่าขมิ้นชันแห้งที่เคลือบด้วยกรดอะซิติกและไคโตซานมีค่าความสว่าง และค่าสีเหลืองต่ำ ค่าสีแดงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เคลือบผิว

1.2 ปริมาณเถ้า

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณเถ้าของผลิตภัณฑ์ขิง และข่าแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ขิงแห้งมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.07$\pm$0.28 ถึง 8.93$\pm$0.70 ผลิตภัณฑ์ข่าแห้งมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 11.04$\pm$0.24 ถึง 17.30$\pm$0.67 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ปริมาณเถ้าของขิงมีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ อาทิตย์ จันทร์หิรัญ (2550) พบว่าปริมาณเถ้าของขิงทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.57 ถึง 11.03 นอกจากนี้ กุลยา จันทร์อรุณ (2545) รายงานว่าขิงทำแห้งด้วยอากาศร้อนมีปริมาณเถ้าร้อยละ 10.53 และขิงทำแห้งโดยการตากแดดมีปริมาณเถ้าร้อยละ12.07 อย่างไรก็ตามการทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์มีผลให้ปริมาณเถ้าสูงสุด อาจเกิดจากปริมาณเถ้าทั้งหมด เป็นปริมาณเถ้ารวมที่เกิดจากเนื้อเยื่อของเครื่องเทศ และอาจเกิดจากสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น หิน ดิน ทราย เป็นต้น การทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์หรือตากแดด ทำให้เกิดการปนเปื้อนของฝุ่นละอองต่าง ๆ ระหว่างการทำแห้งดังนั้นจึงพบว่ามีปริมาณเถ้าสูงสุด โดยทั่วไปปริมาณเถ้ารวมจะมีค่าระหว่างร้อยละ 1 ถึง 20 (สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) มาตรฐานอุตสาหกรรมขิงแห้ง กำหนดให้ปริมาณเถ้าของขิงต้องไม่เกิน ร้อยละ 10 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณเถ้าของขมิ้นชันผงต้องไม่เกินร้อยละ 9 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขิง และขมิ้นชันแห้ง มีปริมาณเถ้าอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด

1.3 ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดของผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ข่าแห้งมีปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.97$\pm$0.09 ถึง 2.66$\pm$0.18 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่า การเคลือบผิวมีผลต่อปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดของผลิตภัณฑ์ขิงแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเคลือบผิวด้วยไคโตซานและกรดอะซิติกมีผลให้ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดลดลง

ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดแสดงถึงปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับเครื่องเทศ เช่น หิน ดิน ทราย กรวด เป็นต้น โดยทั่วไปจะมีค่าระหว่างร้อยละ 1 ถึง 10 (สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) มีรายงานปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดของผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง พบว่า ขิงทำแห้งด้วยอากาศร้อนมีปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดร้อยละ 0.26 และขิงทำแห้งโดยการตากแดดมีปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดร้อยละ0.25 (กุลยา จันทร์อรุณ, 2545) มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดของขมิ้นชันต้องไม่เกินร้อยละ 1 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) โดยพบว่าผลิตกัณฑ์ขิง และขมิ้นชันแห้ง มีปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด โดยใช้มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้งเป็นเกณฑ์

1.4 ปริมาณน้ำมันหอมระเหย

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง โดยผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 5.67$\pm$0.76 ถึง 7.92$\pm$0.38 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อพิจารณา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่า วิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ขิง และข่าแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการตรวจเอกสาร พบว่า ปริมาณของน้ำมันหอมระเหยของขิงที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ อาทิตย์ จันทร์หิรัญ (2550) ศึกษาการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่าขิงแห้งมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.371 ถึง 0.490 Prasad and Vijay (2005) รายงานว่าขิงทำแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยหลงเหลืออยู่ร้อยละ 2.45 ในขณะที่ขิงทำแห้งโดยการตากแดดมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยหลงเหลืออยู่ร้อยละ 1.32 และกุลยา จันทร์อรุณ (2545) รายงานว่าขิงทำแห้งด้วยอากาศร้อนมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 1.80 และขิงทำแห้งโดยการตากแดดมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยร้อยละ1.69โดยทั่วไปน้ำมันหอมระเหยในขิงมีค่าระหว่างร้อยละ 1 ถึง 3.3 (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และนงลักษณ์ เรื่องวิเศษ, 2551; รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545; Ali et al., 2008; Peter, 2001; Tain & Grenis, 1993) มาตรฐานอุตสาหกรรมขิงแห้ง กำหนดให้ปริมาณปริมาณน้ำมันหอมระเหยของขิงแห้งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.5 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของผลิตภัณฑ์ข่าแห้งที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของรัชตา ทนวิทูวัตร (2551) ข่ามีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ร้อยละ 0.13 และรายงานของกฤติกา นวจิตร และคณะ (2005) สกัดน้ำมันหอมระเหยจากข่าโดยการต้มกลั่น พบว่ามีปริมาณน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 0.18 สำหรับขมิ้นชันมีรายงานปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่พบในขมิ้นชันอยู่ในช่วงร้อยละ 1.5 – 14.5 (Subhadhirasakul et al., 2007; Tainter & Grenis, 1993) มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณปริมาณน้ำมันหอมระเหยของขมิ้นชันแห้งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 3.5 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) ข้อกำหนดคุณภาพสมุนไพร (Thai Herbal Pharmacopoeia; THP) ขมิ้นชันระบุว่ามีปริมาณน้ำมันหอมระเหยไม่น้อยกว่าร้อยละ 6.0 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2547; สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขิงและขมิ้นชันแห้ง มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมขิง และขมิ้นชันแห้งกำหนด เมื่อทำแห้งแบบระเหิด อากาศร้อน และใช้พลังงานแสงอาทิตย์

1.5 ปริมาณความชื้น

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่าวิธีการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเรียงลำดับความชื้นของผลิตภัณฑ์ทำแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ จากมากไปหาน้อยดังนี้ การตากแดด ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ การทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง อากาศร้อน และการระเหิด อาจเกิดจากการทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ อากาศไหลผ่านผิวหน้าอาหาร ความร้อนจากอากาศร้อนถ่ายโอนไปที่ผิวอาหารทำให้น้ำในอาหารระเหยออกมา สภาวะดังกล่าวทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ระหว่างที่ผิวหน้าอาหารและภายในชิ้นอาหาร โดยภายในชิ้นอาหารมีความดันไอสูงกว่าความดันไอที่ผิวหน้าอาหาร ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร (วิไล รังสาดทอง, 2546) แต่อุณหภูมิไม่สูงพอ และขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ดังนั้นการทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์จึงดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งวิธีอื่น ๆ มาตรฐานอุตสาหกรรมขิงแห้ง กำหนดให้ปริมาณความชื้นของขิงแห้งต้องไม่เกินร้อยละ 12 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง กำหนดให้ปริมาณความชื้นของขมิ้นชันชนิดก้อนแห้งต้องไม่เกินร้อยละ 12 ชนิดผงต้องไม่เกินร้อยละ 10 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง มีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมขิงแห้งกำหนด (ร้อยละ 5.83±0.36 ถึง 9.48±0.36) ผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง มีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้งกำหนด (ร้อยละ 8.06±0.49 ถึง 12.03±0.43) ในขณะที่ข่ามีปริมาณความชื้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมขิง และขมิ้นชันแห้งกำหนด (ร้อยละ 10.20±0.95 ถึง 16.24±2.16)

1.6 เคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง มีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 13.91±0.48 ถึง 20.92±0.41 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการทำแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับการไม่เคลือบผิว มีผลให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดสูงสุด การเคลือบผิวด้วยไคโตซานและกรดอะซิติกมีผลให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ลดลง อาจเกิดจากการสูญเสียสารประกอบเคอร์คูมินอยด์ในระหว่างกระบวนการเคลือบ เนื่องจากต้องนำขมิ้นชันจุ่มลงไปในสารละลายกรดอะซิติก และสารละลายไคโตซาน สำหรับวิธีการทำแห้งพบว่า วิธีการทำแห้งแตกต่างกันมีผลต่อการสูญเสียคุณภาพอาหารแตกต่างกัน (วิไล รังสาดทอง, 2546) แม้ว่าการทำแห้งแบบระเหิดเป็นการทำแห้งที่ช่วยรักษาองค์ประกอบที่สำคัญในอาหาร แต่พบว่าปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณต่ำกว่าการทำแห้งด้วยอากาศร้อน และการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ทั้งนี้อาจเกิดจากความร้อนที่ใช้ในระหว่างกระบวนการทำแห้งทำลายเซลล์พาเรงคิมาให้แตกออก (Azian et al., 2004) สารสีเหลืองส้มที่พบภายในเซลล์จึงถูกสกัดออกมาได้มากกว่า เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดจึงมีปริมาณสูงกว่าการทำแห้งแบบระเหิด ส่วนการทำแห้งการทำแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ และการทำแห้งโดยการตากแดดนั้น พบว่ามีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดต่ำ เนื่องจากเคอร์คูมินถูกออกซิไดซ์ด้วยแสง (Photo-oxidation) ได้ง่าย (Singh, 2010; Subhadhirasakul et al., 2007) Stankovic (2004) รายงานว่าเคอร์คูมิน ซึ่งเป็นสารในกลุ่มเคอร์คูมินอยด์มีความคงตัวต่อความร้อน และความเป็นกรดสูง แต่ไม่คงตัวในสภาวะที่เป็นด่าง และมีแสง ดังนั้นจึงพบว่าการไม่เคลือบผิวด้วยไคโตซานร่วมกับการทำแห้งด้วยอากาศร้อนมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์สูงสุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากการตรวจเอกสาร พบว่า สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์เป็นสารสำคัญที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของขมิ้นชัน มีรายงานการศึกษาในต่างประเทศระบุว่าผงขมิ้นชันมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 5 (สถาบันวิจัยสมุนไพร. 2544) โดยปริมาณเคอร์คูมินอยด์ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งที่วิเคราะห์ได้จากงานวิจัยมีค่าใกล้เคียงกับ รายงานของ Subhadhirasakul et al. (2007) พบว่า เหง้าขมิ้นชันแห้งมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ร้อยละ 22 น้ำหนักโดยน้ำหนัก มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้งกำหนดให้ปริมาณปริมาณเคอร์คูมินอยด์ของขมิ้นชันแห้งต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) ข้อกำหนดคุณภาพสมุนไพร (Thai Herbal Pharmacopoeia; THP) ขมิ้นชันระบุว่ามีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2547; สถาบันวิจัยสมุนไพร, 2544) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งทำแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับการไม่เคลือบผิวมีผลให้ปริมาณเคอร์คูมินอยด์สูงสุดร้อยละ 20.92±0.41 และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมขมิ้นชันแห้ง และข้อกำหนดคุณภาพสมุนไพรกำหนด

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้การเคลือบผิวด้วยไคโตซานและวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Total phenolic content) และความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• (DPPH Radical-scavenging Activity) ของผลิตภัณฑ์ ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้การเคลือบผิวและวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

2.1 ปริมาณฟีนอลทั้งหมด

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง มีปริมาณฟีนอลทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.70±0.04 ถึง 4.13±1.23 mg of gallic acid/g sample และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่า การเคลือบผิวมีผลต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเกิดจากไคโตซานสามารถดูดซับสารประกอบฟีนอล (Cesarin & Pifferi, 1986 citcd in Spagna et al., 1996, p. 242) โดยทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลลิก Spagna et al. (1996) รายงานว่าการใช้ไคโตซานสามารถดูดซับสารประกอบโพลีฟีนอลในไวน์ขาวได้ สำหรับวิธีการทำแห้งพบว่าการทำแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดด มีผลให้ปริมาณฟีนอลสูงสุด แต่แตกต่างจากการทำแห้งด้วยอากาศร้อนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) มีรายงานอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลให้เยื่อหุ้มเซลล์และเซลล์น้ำมัน แตกออก (Azian et al., 2004) สารประกอบฟีนอลที่จับแน่นอยู่กับเนื้อเยื่อพืช อยู่ในรูปอิสระมากขึ้น มีผลให้ถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น เนื้อเยื่อที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการทำแห้งจึงมีปริมาณฟีนอลทั้งหมดสูงขึ้น (รุจิรา ดาปราบ และคณะ, 2551) แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้สารประกอบฟีนอลเกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุล ปริมาณฟีนอลทั้งหมดอาจมีปริมาณลดลงได้ (Vega-

Glvez et al., 2009) จึงพบว่าการทำแห้งด้วยอากาศร้อน การทำแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดด ร่วมกับการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน มีปริมาณฟีนอลทั้งหมดสูงสุด

จากการตรวจเอกสาร พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด (Francisco & Resurreccion, 2009) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณฟีนอลทั้งหมดของพืช จากรายงานของ Chen and Lin (2007) ศึกษาผลของความร้อนต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมดของมันจีน (Chinese yam) พบว่า เมื่อให้ความร้อนในการแปรรูปมันจีนเพิ่มขึ้น ปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลง

2.2 ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH•

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ของผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่า วิธีการทำแห้งมีผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ของผลิตภัณฑ์ขิง และข่าแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการทำแห้งด้วยอากาศร้อน ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดด มีผลให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• เพิ่มขึ้น อาจเกิดจาก การทำแห้งด้วยวิธีนี้เป็นการทำแห้งที่ไม่ใช้อุณหภูมิที่สูงจนเกินไป Vega-Glvez et al. (2009) รายงานว่า อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบที่มีผลต่อการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังตัวอย่างสารประกอบ Gingerol ในขิงสด สารประกอบชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นสาร Shogaol หรือ Zingerone ได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน (รุจิรา ดาปราบ และคณะ, 2551; Jolad et al., 2005) มีผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง และการเคลือบผิวมีผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการเคลือบผิวด้วยไคโตซานมีผลให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากไคโตซานสามารถดูดซับสารประกอบฟีนอล (Cesarin & Pifferi, 1986 cited in Spagna et al., 1996, p. 242) ซึ่งสารประกอบฟีนอลเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ (โอภา วัชระคุปต์, 2549)

3. ผลการวิเคราะห์สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง

ผลการวิเคราะห์สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ S. *aureus* และ *E. coli* ของสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้การเคลือบผิวด้วยไคโตซานและวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

3.1 สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ *S. aureus*

จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อการยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว พบว่า การเคลือบผิวและวิธีการทำแห้งมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเกิดจากการไคโตซานและกรดอะซิติกมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Dutta et al., 2009) มีรายงานกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของไคโตซานต่อแบคทีเรียแกรมบวกกับ

แบคทีเรียแกรมลบแตกต่างกัน (Zheng & Zhu, 2003) โดยพบว่าการยับยั้ง S. *aureus* (แบคทีเรียแกรมบวก) ไคโตซานจะไปเคลือบผิวเยื่อหุ้มเซลล์ยับยั้งการผ่านเข้าออกของสารอาหาร มีผลให้เซลล์ตายในที่สุด ส่วนการยับยั้ง *E. coli* (แบคทีเรียแกรมลบ) ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะแทรกซึมเข้าสู่เซลล์ มีผลให้เซลล์ตาย (Dutta et al., 2009) สำหรับวิธีการทำแห้งมีผลต่อการยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* ของผลิตภัณฑ์ ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง อาจเกิดจากการทำแห้งแบบระเหิดเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และการทำแห้งด้วยอากาศร้อนเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก จึงช่วยรักษาสารประกอบต่าง ๆ เช่น สารประกอบฟีนอล น้ำมันหอมระเหย เป็นต้น ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Garau et al., 2007; Vega-Glvez et al., 2009) มีผลให้สามารถยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ได้ดีกว่าการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และการทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ แม้ว่าการทำแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าการทำแห้งด้วยอากาศร้อน แต่ใช้เวลาในการทำแห้งนาน สารประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยออกซิเจนในอากาศ และแสง มีผลให้ฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ลดลง (Chosdu, Erizal, Iriawan, & Hilmy, 1995; Subhadhirasakul et al., 2007)

3.2 สมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ *E. coli*

จากการศึกษาผลของของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง พบว่า มีอิทธิพลร่วมกันต่อการยับยั้งการเจริญของ *E. coli* ของสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณวงใสในการยับยั้ง S. *aureus* อยู่ในช่วง 9.62±1.42 ถึง 12.88±0.16 มิลลิเมตร โดยการทำแห้งแบบระเหิดร่วมกับการเคลือบผิวด้วยไคโตซานมีผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสในการยับยั้ง *E. coli* ของสารสกัดจากผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งสูงสุด (10.25±0.95มิลลิเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเกิดจากการทำแห้งแบบระเหิดเป็นการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยรักษาองค์ประกอบและสารสำคัญในผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง เช่น สารประกอบฟีนอล น้ำมันหอมระเหย เป็นต้น ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Garau, Simal, Rossello, & Femenia, 2007; Vega-Glvez et al., 2009) เมื่อทำแห้งร่วมกับการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน ซึ่งไคโตซานมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Dutta et al., 2009; Majeti & Kumar, 2000) Majeti and Kumar (2000) รายงานว่าประจุบวกในหมู่อะมิโนของไคโตซานเข้าไปจับกับประจุลบของเซลล์แบคทีเรีย ทำให้โครงสร้างเซลล์เปิดออก สูญเสียการเป็นเยื่อเลือกผ่าน มีผลให้ยับยั้งจุลินทรีย์ได้ จึงพบว่าผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ดีโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสในการยับยั้ง *E. coli* เพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. สหสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้การเคลือบผิวด้วยไคโตซานและวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน

การศึกษาสหสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้การเคลือบผิวด้วยไคโตซานและวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน โดยเลือกสมบัติที่คาดว่าอาจมีความสัมพันธ์กัน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ปริมาณฟีนอลทั้งหมด ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• ความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

4.1 สหสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า บางพารามิเตอร์ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอาจกล่าวได้ว่าสมบัติด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ขิงแห้งที่มีความสัมพันธ์กันสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาสมบัติอีกด้านหนึ่งได้ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันหอมระเหย ปริมาณฟีนอลทั้งหมด กับการยับยั้ง *S. aureus* พบว่า องค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยบางชนิดเป็นสารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟีนอลบางชนิด มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* ดังตัวอย่างสารสำคัญที่พบในขิงที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ คือ 6-gingerol Zingiberene และ Farnesene (กฤติกา นวจิตร, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น, 2005; รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2545; รุจิรา ตาปราบ, จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2551; Chrubasik, Pittler, & Roufogalis, 2005) นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยับยั้งจุลินทรีย์ (รุจิรา ตาปราบ, จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2551; Ak & Gulcin, 2008; Khattaka et al., 2005; Oonmetta-aree et al., 2006)

4.2 สหสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์กับการยับยั้ง *S. aureus* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอาจกล่าวได้ว่าสมบัติด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ข่าแห้งที่มีความสัมพันธ์กันสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาสมบัติอีกด้านหนึ่งได้

ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากข่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ (รุจิรา ตาปราบ, จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2551; Ak & Gulcin, 2008; Khattaka et al., 2005; Oonmetta-aree et al., 2006)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4.3 สหสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า บางพารามิเตอร์ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอาจกล่าวได้ว่าสมบัติด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งที่มีความสัมพันธ์กันสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาสมบัติอีกด้านหนึ่งได้ ได้แก่ ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์กับ ปริมาณฟีนอลทั้งหมด และการยับยั้ง*S. aureus* และการยับยั้ง *S. aureus* มีความสัมพันธ์กับ การยับยั้ง*E. coli*

ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากขมิ้นชันมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ (รุจิรา ตาปราบ, จันทร์เพ็ญ มะลิพันธ์ และประพันธ์ ปิ่นศิโรดม, 2551; Ak & Gulcin, 2008; Khattaka et al., 2005; Oonmetta-aree et al., 2006)

จากการศึกษาผลของของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ พบว่า ของการเคลือบผิวและวิธีการทำแห้ง มีผลต่อผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชัน แตกต่างกัน ($p<0.05$) การเลือกกระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมในการทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชัน ต้องพิจารณาคุณภาพให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ และต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ควรคำนึงถึงผลที่มีต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ร่วมกัน ได้แก่ สมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ ซึ่งผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน พบว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน ช่วยเสริมฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และการยับยั้งจุลินทรีย์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านสุขภาพ หรือทางการแพทย์ แต่กระบวนการเตรียมขั้นต้นโดยการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเป็นการเพิ่มต้นทุนให้แก่ผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ผลของวิธีการทำแห้ง พบว่า การทำแห้งที่ส่งผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด คือการทำแห้งแบบระเหิด แต่การทำแห้งด้วยวิธีนี้พบว่า ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง การทำแห้งพืชวงศ์ขิงปกติใช้การทำแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ใช้เวลานาน และมีปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ และสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ การซีดจางของสีผลิตภัณฑ์เนื่องจากการสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรงและเป็นเวลานานในระหว่างการทำแห้ง (Purseglove et al., 1981 อ้างถึงใน กานดา วณิชกาญจนกุล, 2540, หน้า 15) วิธีการทำแห้งด้วยอากาศร้อนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาดังกล่าว นอกจากช่วยลดเวลาในการทำแห้งแล้ว ช่วยรักษาองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกับตัวอย่างสด อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบเวลาการทำแห้งแล้ว การทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุด แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื่องจากความร้อนสูง

จากข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเตรียมขั้นต้นโดยการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน และวิธีการทำแห้งแต่ละวิธี ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกวิธีในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขิง ข่า

และขมิ้นชันแห้งให้เหมาะสมกับความต้องการและการนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้หากพิจารณากระบวนการทำแห้งที่ส่งผลต่อคุณภาพของสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ อาจสรุปกระบวนการทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชัน จากงานวิจัยนี้ ได้ดังนี้ กระบวนการทำแห้งขิงที่เหมาะสม คือ การเคลือบผิวด้วยไคโตซาน และการทำแห้งด้วยอากาศร้อน เนื่องจาก ปริมาณฟีนอลทั้งหมด และการยับยั้งการเจริญของ *S. aureus* กระบวนการทำแห้งข่าที่เหมาะสม คือ การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร่วมกับการทำแห้งด้วยอากาศร้อน เนื่องจาก ปริมาณฟีนอลทั้งหมดสูงสุด และกระบวนการทำแห้งขมิ้นชันที่เหมาะสม คือ การไม่เคลือบผิวร่วมกับการทำแห้งด้วยอากาศร้อน เนื่องจาก ปริมาณน้ำมันหอมระเหย และปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดสูงสุด

สรุปผลการวิจัย

1. สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขิง ข่าและขมิ้นชันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในงานวิจัยนี้ ดังนี้

1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขิงด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.01 เมตรต่อวินาที เนื่องจาก มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุด ปริมาณความชื้นต่ำสุด ปริมาณฟีนอลทั้งหมดสูงสุด การยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* สูงสุด และเวลาในการทำแห้งสั้นสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

1.2 สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งข่าด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.01 เมตรต่อวินาที เนื่องจาก มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุด และการยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* สูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

1.3 สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งขมิ้นชันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.01 เมตรต่อวินาที เนื่องจาก มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุด ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดสูง ปริมาณฟีนอลทั้งหมดสูงสุด ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH• สูงสุด และการยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* สูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้ภาวะการทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งต่าง ๆ กัน ดังนี้

2.1 ผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลทั้งหมด และการยับยั้ง*S. aureus* และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสามารถกำจัดอนุมูล DPPH• ปริมาณฟีนอลทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยับยั้ง*S. aureus* และความสามารถกำจัดอนุมูล DPPH• มีความสัมพันธ์เชิงลบกับการยับยั้ง*S. aureus*

2.2 ผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลทั้งหมด และการยับยั้ง*S. aureus*

2.3 ผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้ง พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด ปริมาณฟีนอลทั้งหมด และการยับยั้ง*S. aureus* และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสามารถกำจัดอนุมูล DPPH• ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมด มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลทั้งหมด และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสามารถกำจัดอนุมูล DPPH• ปริมาณฟีนอลทั้งหมด มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยับยั้ง*S. aureus* และมีความสัมพันธ์เชิงลบความสามารถกำจัดอนุมูล DPPH• ความสามารถกำจัดอนุมูล DPPH• มีความสัมพันธ์เชิงลบการยับยั้ง*S. aureus* การยับยั้ง*S. aureus* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ การยับยั้ง*E. coli*

3. การทำแห้งขิงด้วยอากาศร้อนมีผลให้ปริมาณฟีนอลทั้งหมดสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และการเคลือบผิวขิงด้วยไคโตซานมีผลให้การยับยั้งการเจริญของ S. *aureus* สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การทำแห้งข่าด้วยอากาศร้อนร่วมกับการเคลือบผิวด้วยไคโตซานมีผลให้ปริมาณฟีนอลทั้งหมดสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และการทำแห้งขมิ้นชันด้วยอากาศร้อนร่วมกับการไม่เคลือบผิว มีผลให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย และปริมาณเคอร์คูมินอยด์ทั้งหมดสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ภายใต้การเคลือบผิวด้วยไคโตซานและวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.1 ผลิตภัณฑ์ขิงแห้ง พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยับยั้ง*S. aureus* ปริมาณฟีนอลทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยับยั้ง*S. aureus* เชิงลบกับความสามารถกำจัดอนุมูล DPPH• ความส ามารถกำจัดอนุมูล DPPH• มีความสัมพันธ์เชิงลบกับการยับยั้ง *S. aureus*

4.2. ผลิตภัณฑ์ข่าแห้ง พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการยับยั้ง*S. aureus*

4.3. ขมิ้นชันแห้ง พบว่า ปริมาณน้ำมันหอมระเหย มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟีนอลทั้งหมด และการยับยั้ง*S. aureus* การยับยั้ง*S. aureus* มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ การยับยั้ง *E. coli*

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาผลของการทำแห้งขิง ข่า และขมิ้นชันด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และสมบัติการยับยั้งจุลินทรีย์

2. ควรมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน และไม่เคลือบผิว

3. ควรมีการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ขิง ข่า และขมิ้นชันแห้ง ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน และไม่เคลือบผิว

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University