รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการพัฒนากรรมวิธีการผลิตเร่วหอมผงพร้อมใช้

Study of Antioxidant Activity and Process Development of Ready to Use Bustard Cardamom Powder

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร
ผู้ร่วมโครงการ นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล
นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2561A10802239
สัญญาเลขที่ 154/2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการพัฒนากรรมวิธีการผลิตเร่วหอมผงพร้อมใช้

Study of Antioxidant Activity and Process Development of Ready to Use Bustard Cardamom Powder

หัวหน้าโครงการ นางสิริมา ชินสาร
ผู้ร่วมโครงการ นางสาววิชมณี ยืนยงพุทธกาล
นางสาวนิสานารถ กระแสร์ชล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กรกฎาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 154/2561

คณะผู้วิจัย
กรกฎาคม 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการพัฒนากรรมวิธีการผลิตเร่วหอมผงพร้อมใช้ ขั้นตอนแรกเป็นการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมที่ใช้เป็นวัตถุดิบ พบว่า มีปริมาณฟีนอลิก 16.97 mg GAE/g ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิระด้วยวิธี DPPH มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 79.43 เปอร์เซ็นต์ และวิธี β-carotene bleaching มีค่า antioxidant activity เท่ากับ 93.09 เปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการลวกในสารละลายที่แตกต่างกัน (น้ำร้อน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์) ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและค่าสีของเร่วหอมผง พบว่า การลวกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่อุณหภูมิสารละลายเดือด เป็นเวลา 1 นาที สามารถรักษาปริมาณฟีนอลิกไว้ได้มากที่สุด 24.90 mg GAE/g และทำให้เร่วหอมผงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ($p \leq 0.05$) จากนั้นศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำแห้ง (60 70 และ80 องศาเซลเซียส) ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและค่าสีของเร่วหอมผง พบว่า อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสสามารถรักษาปริมาณฟีนอลิกในเร่วหอมผงมากที่สุด และเร่วหอมผงมีค่าสีแดง (a*) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้น การศึกษาผลของขนาดอนุภาค (300 - 180 ไมครอน) ของเร่วหอมผงต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและความสามารถในการละลาย พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง โดยเร่วหอมผงที่ขนาดอนุภาค 300 ไมครอน มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) แต่ค่าการละลายของเร่วหอมผงเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงเมื่อใช้เป็นส่วนผสมผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูปทางการค้า พบว่า มีค่าความหนาแน่น 0.72 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการไหลซึ่งอธิบายถึงการจับตัวกันเป็นก้อน เมื่อพิจารณาจากเวลาในการไหลในตัวอย่าง 50 กรัม ใช้เวลา 5.15 วินาที เมื่อพิจารณาจากค่า Static angle of repose เท่ากับ 52.86 องศา หมายถึง ความสามารถในการไหลต่ำ (poor) มีค่าสี L* เท่ากับ 75.85 a* เท่ากับ 3.54 และb* เท่ากับ 17.73 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน

ABSTRACT

This research was to study the antioxidant activity and process development of ready to use bustard cardamom powder. First step, the antioxidant activity of raw bustard cardamom was analyzed. Results showed that raw bustard cardamom had total phenolic content of 16.97 mg GAE/g, DPPH radical scavenging of 79.43 % inhibition and antioxidant activity by ß-carotene bleaching method of 93.09 %. Second step, the effect of pre-treatments by blanching in different solutions (water, sodium chloride and sodium metabisulfite) on antioxidant activity and color value was investigated. Results showed that blanching in sodium metabisulfite at boiling temperature of the solution for 1 minute; the sample had the highest total phenolic content of 24.90 mg GAE/g and the highest antioxidant activity ($p \leq 0.05$). Subsequently, the effect of drying temperature (60, 70 and 80°C) on antioxidant activity and color value was studied. Results revealed that bustard cardamom powder which was dried at 60 °C could retain the highest total phenolic content and a* value increased when the drying temperature increased. After that, the effect of particle size (300 - 180 micron) on antioxidant activity and solubility of bustard cardamom powder was investigated. Results showed that total phenolic content tended to decrease when the particle size decreased. DPPH assay showed that the 300 micron powder had the highest antioxidant activity. However, it was found that the solubility of powder increased when the particle size decreased. Third step, the quality of product when used as a mixture of the commercial seasoning ingredients was investigated. The mixture had the density of 0.72 g/cm^3. Flowability, indicated powder caking, showed 5.15 seconds flow for 50 g sample. It also had the static angle of repose as 52.86° (poor flowability), L* value of 75.85 a* value of 3.54 and b* value of 17.73. This mixture product had the attribute as light yellow powder.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญเรื่อง	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
เร่วหอม	3
อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ	3
สารประกอบฟีนอลิค	6
การลวก	6
การทำแห้ง	8
การลดขนาด	10
การประเมินคุณภาพอาหารผง	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
3 วิธีดำเนินการวิจัย	16
วัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	16
วิธีดำเนินการวิจัย	17
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	21
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	29
สรุปผลการทดลอง	29
ข้อเสนอแนะ	29
รายการอ้างอิง	30
ประวัตินักวิจัย	36

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
4-1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอม..... 21
4-2 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงในวิธีการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ..... 22
4-3 ค่าสี (L* a* และb*) ของเร่วหอมผงในวิธีการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ..... 23
4-4 เวลาในการทำแห้งเร่วหอม..... 23
4-5 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงในการอบที่อุณหภูมิต่างๆ..... 24
4-6 ค่าสี (L* a* และb*) ของเร่วหอมผงในวิธีการอบที่อุณหภูมิต่างๆ..... 24
4-7 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงขนาดอนุภาคต่างๆ..... 25
4-8 ค่าสี (L* a* และ b*) ของเร่วหอมผงที่ขนาดอนุภาคต่าง ๆ 26
4-9 ความสามารถในการละลายของเร่วหอมผงที่ขนาดอนุภาคต่างกัน..... 26
4-10 ผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงเมื่อใช้เป็นส่วนผสมผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูป..... 27

บทที่ 1
บทนำ

เร่วหอมเป็นสมุนไพรพื้นบ้านของจังหวัดจันทบุรี มีรสเผ็ดร้อนและกลิ่นหอมเฉพาะตัว อาหารพื้นบ้านของจันทบุรีนิยมใช้ส่วนเหง้าของเร่วหอมเป็นส่วนประกอบ เช่น การใช้ในแกงป่า แกงเผ็ด และผัดเผ็ด รวมทั้งยังใช้เป็นส่วนประกอบหลักในเครื่องปรุงก๋วยเตี๋ยวเลียง นอกจากการใช้ประโยชน์ในด้านอาหารแล้ว เร่วหอมยังมีสรรพคุณทางยา คือ สามารถใช้ปรุงเป็นยาขับลม แก้ท้องอืดเฟ้อ จุกเสียด (นรินทร์ พันธุ์ครู, 2553) และจากงานวิจัยของกฤติกา นรจิตร (2548) พบว่า ในน้ำมันหอมระเหยของเร่วหอมยังประกอบไปด้วยสารในกลุ่ม phenolic ether volatile oils ได้แก่ anethole จึงมีความเป็นไปได้ที่เร่วหอมจะมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ด้วย

สารประกอบฟีนอลิคเป็นสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สามารถต้านอนุมูลอิสระที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น มลภาวะ แสงแดด รังสี และสารเคมี ซึ่งจะไปยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและสารก่อกลายพันธุ์ สามารถป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็งได้ แต่สารประกอบฟีนอลิคสามารถสูญเสียสภาพในขั้นตอนของการแปรรูป ดังนั้น ในขั้นตอนของการวิจัยจึงต้องมีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และระหว่างกระบวนการแปรรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงที่มีคุณภาพดีและยังคงรักษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเอาไว้ได้

จากสรรพคุณของเร่วหอมดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาเร่วหอมเพื่อเปลี่ยนพืชพื้นบ้านที่มีการใช้ประโยชน์เฉพาะในครัวเรือนไปสู่ผลิตภัณฑ์พร้อมใช้ ที่สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น มีมูลค่าสูงขึ้นและสามารถกระจายสินค้าไปสู่ภูมิภาคอื่นๆ ที่ไม่ใช่แหล่งเพาะปลูกวัตถุดิบได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วมากขึ้น โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงพร้อมใช้ ที่อาศัยเทคโนโลยีการผลิตที่ง่าย ไม่ซับซ้อน เพื่อให้เกษตรกรหรือชาวชุมชนในแหล่งวัตถุดิบสามารถนำความรู้จากเทคโนโลยีการผลิตดังกล่าวไปต่อยอดในการแปรรูปวัตถุดิบของตนได้ตามศักยภาพ แต่สามารถยกระดับและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นให้สูงขึ้น เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการขับเคลื่อนไปสู่การเป็นชุมชนที่มั่งคั่ง มั่นคงและยั่งยืนต่อไป

ในการศึกษาจะคลอบคลุมถึงการตรวจวิเคราะห์สารประกอบที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน การพัฒนากรรมวิธีการผลิต โดยนำวิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นอย่างง่ายมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ เพื่อคงคุณภาพด้านสีและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ มีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งมาใช้ และศึกษาถึงแนวทางการใช้งาน และการประยุกต์ใช้ร่วมกับผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูป เพื่อเพิ่มช่องทางการขายและเป็นการยกระดับผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่าเพิ่ม สามารถเข้าถึงการใช้งานของผู้บริโภคได้ง่ายขึ้น

ผลงานวิจัยจากโครงการวิจัยนี้จะได้ทราบถึงสารพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ และได้กรรมวิธีการผลิตเร่วหอมผงพร้อมใช้งาน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมาตรฐานการผลิตอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ หรือเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อื่นได้ง่ายขึ้น สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนเพื่อยกระดับนวัตกรรมและผลิตภัณฑ์ชุมชนขยายผลสู่การผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอม

2) เพื่อพัฒนากรรมวิธีการผลิตเร่วหอมผงที่มีคุณภาพที่ดีทั้งลักษณะทางกายภาพและอุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ

3) เพื่อศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์เร่วหอมผงเป็นส่วนผสมในผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูป

ขอบเขตการวิจัย

เพื่อให้ทราบถึงสารพฤกษเคมีที่เป็นองค์ประกอบในเร่วหอมและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอม ขั้นตอนแรกจึงศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมทั้งในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้น initial stage ด้วยวิธี DPPH free radical scavenging และผลการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้น propagation stage ด้วยวิธี β-carotene bleaching

ศึกษาและพัฒนากรรมวิธีการผลิตเร่วหอมผงพร้อมใช้ โดยเริ่มจากศึกษาวิธีการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายชนิดต่างๆ เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงสีของเร่วหอมผงและคงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ จากนั้นศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งที่เหมาะสม และหาขนาดอนุภาคของเร่วหอมผงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน รวมทั้งการทดลองใช้เป็นส่วนผสมในผงซุปสำเร็จรูป เพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงที่ผลิตขึ้นมีคุณภาพดีทั้งทางกายภาพ และเคมี และยังสามารถประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อความสะดวกในการบริโภคและการใช้งานได้จริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบกระบวนการในการผลิตเร่วหอมผงพร้อมใช้คุณภาพสูง

2. เป็นการเพิ่มมูลค่าของพืชพื้นบ้าน และสามารถใช้ประโยชน์จากพืชพื้นบ้านมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เร่วหอม

เร่วหอมเป็นพืชในวงศ์ Zingiberaceae ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Etlingera punicea* (Roxb.) R.M. Smith เป็นพืชล้มลุก ลำต้นใต้ดินเป็นเหง้า ใบเดี่ยว เรียงสลับ ดอกเป็นช่อแทงตรงจากเหง้า กลีบดอกสีแดง ทุกส่วนมีกลิ่นหอมแรง เร่วเป็นพืชที่ชอบขึ้นตามป่าราบที่มีความชื้นสูง และตามป่าเขา ขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด โดยเฉพาะดินร่วนซุย น้ำมันหอมระเหยในเร่วหอม ประกอบด้วย benzyl acetone, borneol, camphene, cinnamate, และ 1,8-cineol เป็นต้น (นันทวัน บุณยะประภัศร และคณะ, 2543) นอกจากนี้ งานวิจัยของกฤติกา นรจิตร (2548) ยังรายงานว่า ในน้ำมันหอมระเหยของเร่วหอมยังประกอบไปด้วยสารในกลุ่ม phenolic ether volatile oils อีกด้วย นอกจากนั้น กล่าวขวัญ ศรีสุข และเอกรัฐ ศรีสุข (2557) ได้ศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของใบและเหง้าเร่วหอม โดยนำส่วนสกัดน้ำและน้ำมันหอมระเหยทำการทดสอบด้วยวิธีที่แตกต่างกันสามระบบได้แก่ การกำจัดอนุมูล 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazy-1 (DPPH) ความสามารถในการรีดิวซ์และความสามารถในการคีเลทไอออนของโลหะ ตรวจสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลของส่วนสกัดทดสอบโดยวิธี Folin-ciocalteu จากการทดสอบ พบว่า ส่วนสกัดทั้งหมดแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในลักษณะที่ขึ้นกับความเข้มข้น ส่วนสกัดน้ำของใบเร่วหอมมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์ ความสามารถในการ คีเลทไอออนของโลหะ และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าส่วนสกัดจากเหง้า แสดงให้เห็นว่าเหง้าและใบเร่วหอมเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านอักเสบ และสารยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสที่อาจนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง

อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

อนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็คตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอกเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีในลักษณะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่อยู่รอบข้างในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย

สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะ เพื่อ

ป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระสามารถพบได้ในธรรมชาติจากสารหลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอลิค สารประกอบไนโตรเจน และแคโรทีนอยด์

โดยทั่วไปสารตานอนุมูลอิสระ แบงเป็น 5 ประเภทใหญ ๆ ดังนี้

1. Primary antioxidant

สารในกลุ่มนี้สวนใหญ ไดแก สารประกอบฟนอลิก (Phenolic compounds) ทำหนาที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึงสารโทโคฟีรอลธรรมชาติและสังเคราะห (Natural and synthetic tocopherol), Alkylgallate, BHA, BHT, TBHQ และอื่น ๆ ซึ่งสารในกลุ่มดังกลาวทำหนาที่เปนตัวใหอิเล็กตรอน

2. Oxygen scavenger

สารในกลุ่มนี้ ไดแก กรดแอสคอรบิค หรือวิตามินซี เปนตน สารในกลุ่มนี้จะเขาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจึงเปนการชวยกำจัดออกซิเจนในระบบปดได

3. Secondary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ ไดแก Dilauryl thiopropionate และ Thiopropionic acid ทำหนาที่สลายโมเลกุลของ Lipid hydroperoxide ใหเปนสารที่มีความเสถียร

4. Enzymic antioxidant

สารในกลุ่มนี้ ไดแก เอนไซมต่าง ๆ ซึ่งแบงเปน Primary antioxidant enzyme และ Auxiliary antioxidant enzyme สารในกลุ่มนี้ทำหนาที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธของออกซิเจนโดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอรออกไซด (H_2O_2)

5. Chelating agent หรือ sequestrant

สารในกลุ่มนี้ เชน กรดซิตริค กรดอะมิโน เปนตน สารในกลุ่มนี้ทำหนาที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เชน เหล็ก และทองแดง ซึ่งไอออนเหลานี้เปนไอออนที่สงเสริมและเรงปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำใหเกิดเปนสารประกอบเชิงซอนที่เสถียร (บังอร วงศรักษ และศศิลักษณ ปยะสุวรรณ์, 2549)

กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

1. ดักจับอนุมูลอิสระ (Radical scavenging) เป็นที่ทราบดีว่าสารต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้นซึ่งกลไกของปฏิกิริยาเกิดโดยการให้ไฮโดรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ (Valacchi et al., 2004) ดังสมการ

$R\bullet + AH \longrightarrow RH + A\bullet$

$RO\bullet + AH \longrightarrow ROH + A\bullet$

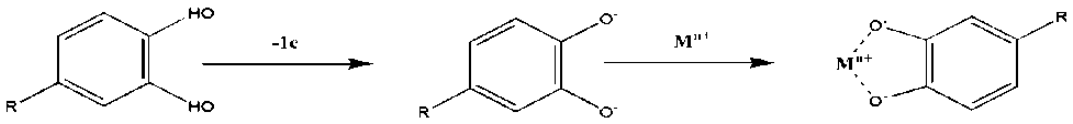
$R\bullet + A\bullet \longrightarrow RA$

$RO\bullet + A\bullet \longrightarrow ROA$

2. ยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจน (Singlet oxygen quenching, $^1O_2\bullet$) สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) สามารถยับยั้งการทำงานของซิงเกล็ทออกซิเจนโดยการเปลี่ยน $^1O_2\bullet$ ให้อยู่ในรูปทริปเปร็ท (Triplet oxygen ($^3O_2$)) และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกไปในรูปความร้อน โดยที่แคโรทีนอยด์ (Car) จำนวน 1 โมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับซิงเกล็ทออกซิเจนได้ถึง 1,000 โมเลกุล (Sies et al., 1992)

$$^1O_2\bullet + 1Car \longrightarrow {}^3O_2 + 3Car\bullet$$
$$3Car\bullet \longrightarrow 1Car + \text{Thermal energy}$$

3. จับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Metal chelation) (Sanchez-Moreno et al., 2000) โลหะที่มีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระคือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ฟอสฟอริกแอซิด (Phosphoric acid) และซิตริกแอซิด (Citric acid) เป็นต้น สำหรับกลไกการจับโลหะของสารประกอบฟลาโวนอยด์ แสดงดังสมการ



4. หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (Chain-breaking) วิตามินอี (**α**-tocopherol; Toc-OH) สามารถป้องกันเยื่อหุ้มเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Lipidautooxidation) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron-acceptor antioxidants) จากอนุมูล Peroxyl (ROO•) (Burton & Traber, 1990)

5. เสริมฤทธิ์ (Synergism) สารชนิดนี้จะช่วยสนับสนุนให้สารต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น เช่น การทำงานร่วมกันระหว่าง วิตามินอี กับวิตามินซี (Ascorbic acid) โดยที่วิตามินซีไม่สามารถทำงานในสภาวะไม่มีขั้ว (Hydrophobiccondition) ได้เหมือนกับวิตามินอีแต่จะให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลแอลฟ่า-โทโคฟีรอลเปอร์ออกซิล (**α**-tocopherolperoxyl) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง แอลฟ่า-โทโคฟีรอลกับอนุมูลเปอร์ออกซิล (ROO•) เพื่อเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นแอลฟ่า-โทโคฟีรอล ที่สามารถทำงานได้ (Frankel, 1998)

6. ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (Enzyme inhibition) สารประกอบฟีนอลิกบางชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ กรดฟีนอลิก (Phenolic acid) และแกลเลต

(Gallates) สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ลิโพออกซีจีเนส (Lipoxygenase) โดยสามารถเข้าจับกับไอออนของเหล็กซึ่งเป็นโคแฟกเตอร์ (Cofactor) ส่งผลให้เอ็นไซม์ดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้ (Puerta, 1999) (เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม, 2554)

สารประกอบฟีนอลิค (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545)

สารประกอบฟีนอลิค (phenolic compounds) เป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโต และการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้น รูปแบบของสารประกอบฟีนอลิคในพืชแต่ละชนิดจึงมีความแตกต่างกันออกไป ในปัจจุบันพบว่ามีสารประกอบฟีนอลิคที่ทราบโครงสร้างแน่นอนแล้วมากกว่า 8,000 ชนิด ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิค ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโพลิเมอร์ เช่น แทนนิน โครงสร้างพื้นฐานของสารประกอบฟีนอลิคจะเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุลขึ้นไปกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจจะเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่ หรือโอลิโกแซคคาไรด์ ก็ได้ แต่น้ำตาลชนิดที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิค คือ กลูโคส ส่วนน้ำตาลชนิดอื่นที่พบ ได้แก่ กาแลกโตส แรมโนส ไซโรส อะราบิโนส และอนุพันธ์ของน้ำตาลเหล่านี้ เช่น กรดกลูโคโรนิก กรดกาแลกตูโรนิก และอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าอาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิคกับสารประกอบฟีนอลิคด้วยกันเองหรือสารประกอบฟีนอลิคกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก กรดอินทรีย์ อะมีน และไขมันอีกด้วย

คุณสมบัติที่ได้รับความสนใจของสารประกอบฟีนอลิค คือ การเป็นสารต้านออกซิเดชัน และการใช้สารประกอบฟีนอลิคในการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอลิคจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว เมื่อสารประกอบฟีนอลิคให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิคจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป ยิ่งไปกว่านั้นอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิคบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย จึงทำให้สารประกอบฟีนอลิคเหล่านั้นสามารถลดจำนวนอนุมูลลงได้ถึง 2 เท่า

การลวก (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

การลวกวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ก่อนการแปรรูปมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ในผักและผลไม้บางชนิดก่อนที่จะนำไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไป การลวกจัดเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนนี้อาจทำร่วมกับการทำความสะอาดวัตถุดิบและการปอกเปลือก เพื่อลดการใช้พลังงาน พื้นที่และอุปกรณ์ การลวกทำโดยการนำวัตถุดิบไปให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึง

อุณหภูมิที่กำหนด (Pre-set temperature) และให้อยู่ที่อุณหภูมินี้ระยะเวลาหนึ่ง (Pre-set time) หลังจากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิห้อง

ความร้อนจากการลวกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร แต่ความร้อนที่ใช้ในการลวกจะต่ำกว่าการทำสเตอริไลเซชันจึงมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไม่มากนัก วัตถุประสงค์หลักของการลวกเพื่อทำลายเอนไซม์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ร่วมกัน และต้องมั่นใจว่าไม่ได้ใช้ความร้อนมากเกินไปจนทำให้ลักษณะเนื้อนิ่มลงและสูญเสียรสชาติของอาหาร

ผลของการลวกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเนื้อเยื่อพืช เช่น ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย มีการเปลี่ยนแปลงที่เมมเบรนของไซโทพลาซึม สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชัน โครงสร้างโมเลกุลของเพคตินเปลี่ยนไป โปรตีนในนิวเคลียสและไซโทพลาซึมเสียสภาพธรรมชาติ คลอโรพลาสต์และโครโมพลาสต์มีรูปร่างเปลี่ยนไป เป็นต้น

โซเดียมคลอไรด์

โซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกงถือว่าเป็นหนึ่งในความจำเป็นขั้นพื้นฐานของชีวิตทุกชีวิต ทุกครัวเรือนมีการใช้เกลือในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นการปรุงแต่งอาหาร การถนอมอาหาร หรือแม้แต่การฆ่าเชื้อโรค นอกจากนี้เกลือแกงยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่นอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น การใช้ประโยชน์ของเกลือแกงสามารถสรุปได้คร่าว ๆ ดังนี้

1. เพื่อการบริโภคในครัวเรือน เช่น การปรุงอาหาร การถนอมอาหาร และการรักษาโรค
2. เพื่อการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะถูกแยกด้วยกระแสไฟฟ้า
3. เพื่อผลิตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคลอรีน

$$2NaCl + 2H_2O \longrightarrow 2NaOH + H_2 + Cl_2$$

(ดรรชนี พัทธวรากร, 2556)

โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride สูตร เคมี: NaCl) เป็นของแข็งใส ไม่มีสี มีผลึกเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เกิดจากโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนที่มีการยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะทางเคมีที่เรียกว่า พันธะไอออนิก (พันธะที่เกิดขึ้นจากแรง ดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างไอออนบวกและไอออนลบ เนื่องจากมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน)

โครงสร้างของโซเดียมคลอไรด์ ประกอบด้วยโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนที่เรียงเป็นแถวสลับกันมีลักษณะคล้ายตาข่าย ซึ่งแต่ละไอออนจะมีไอออนชนิดตรงข้ามล้อมรอบอยู่ 6 ไอออน โดยโครงสร้างเช่นนี้นับเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่พบได้ในแร่อื่น ๆ หลายชนิดสำหรับคุณสมบัติทั่วไปของ

โซเดียมคลอไรด์ หรือเกลือแกง คือ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 5,834 มีความถ่วงจำเพาะ 2.165 มีจุดหลอมเหลวที่ 800.8 องศาเซลเซียส มีจุดเดือดที่ 1,465 องศาเซลเซียส และน้ำเกลือจะสามารถเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งได้ที่อุณหภูมิ -21.12 องศาเซลเซียส (สุภาพรรณ ม่วงพรหม, ม.ป.ป.)

ประโยชน์ของโซเดียมคลอไรด์ นอกจากการใช้บริโภคทั่วไปยังมีงานวิจัยของปรางค์ทอง กวานห้อง (2550) ที่ได้ศึกษาการใช้สารโซเดียมคลอไรด์เพื่อลดการเกิดสารสีน้ำตาลในสับปะรดพร้อมบริโภค พบว่า การแช่สับปะรดในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5 เปอร์เซ็นต์สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลในสับปะรดได้ แต่มีผลข้างเคียง คือ สับปะรดมีรสชาติเค็มเล็กน้อย

โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (sodium metabisulfite)

เป็นสารกลุ่มซัลไฟต์ (sulfites) ที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) ในระบบ E-number มีรหัส E 223 โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ มีสูตรโครงสร้าง คือ $Na_2S_2O_5$ น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) 190.10 มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือออกสีเหลือง ละลายในน้ำได้ (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสละลายได้ 54 กรัม/ น้ำ 100 มิลลิลิตร; ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสละลายได้ 81.7 กรัม/ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร) สารละลายเป็นกรด ละลายได้ในกลีเซอรีน (glycerin) และละลายได้เล็กน้อยในเอทานอล (ethanol)

โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะสลายตัวเมื่อมีความชื้นสูง เมื่อสัมผัสอากาศจะถูกออกซิไดส์เป็น sodium sulfate และเมื่อสัมผัสกับกรดแก่ จะให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สลายตัวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เพื่อเป็นสารกันเสีย (preservative) antioxidant สารฟอกขาว (bleaching agent) และป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) (นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป.)

เกษร น้อยนาง และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของขิงสดหั่นฝอยที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีและกิจกรรมเอมไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส พบว่า โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่ากรดแอสคอร์บิก และเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสี L* และ b* จะได้ว่า การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลโดยมีค่า L* และ b* สูงกว่าขิงสดหั่นฝอยชุดควบคุมและชุดที่จุ่มในกรดแอสคอร์บิกอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

Lambrecht (1995) อธิบายไว้ว่า โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีคุณสมบัติในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสโดยอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบตัวกลางในระหว่างปฏิกิริยาการเกิดสารหรือรงควัตถุสีน้ำตาลหรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสโดยตรงหรืออาจทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์สารประกอบควิโนน (Quinones) กลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลที่ไม่มีสีได้

การทำแห้ง (วิไล รังสาดทอง, 2552; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

การทำแห้ง (Drying) หมายถึง การให้ความร้อนภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำ วัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำ คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดย

การลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้น การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค

การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง เพราะมีราคาและค่าบำรุงรักษาเครื่องค่อนข้างต่ำ โดยการอบแห้งในเครื่องอบแห้งชนิดนี้จะอาศัยลมร้อนจากแหล่งความร้อน ซึ่งอาจจะเป็น ฮีทเตอร์ คอล์ยไอน้ำ ก๊าซหุงต้ม หรือน้ำมันเตา ลมร้อนจะไหลผ่านอาหารที่วางเป็นชั้นบางๆ (ประมาณ 2-6 ซม.) ในชั้นของถาดที่อาจจะมีรูพรุนหรือไม่มีก็ได้ ความเร็วลมที่ไหลเวียนอยู่ในช่วง 0.5-5 เมตร/วินาที มีระบบบังคับทิศทางการไหลของลมร้อนภายในเครื่องโดยใช้แผ่นเหล็กบางๆ กั้น เพื่อให้ลมร้อนไหลอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงทุกส่วน

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งของอาหาร (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีเนื้อโปร่งจะมีอัตราการทำแห้งที่เร็วกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่น เนื่องจากมีการเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบ อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะมีอัตราการทำแห้งช้าเนื่องจากน้ำตาลทำให้เกิดความเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ การลวก การนวดคลึง จะทำให้เซลล์แตกจึงช่วยให้ทำแห้งได้เร็วขึ้น
2. ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก ขนาดเล็กจะมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า
3. ตำแหน่งของอาหารในเตา น้ำในอาหารที่สามารถสัมผัสกับลมร้อนได้เร็วกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำจะระเหยได้ดีกว่า
4. ปริมาณอาหารต่อถาด ปริมาณอาหารต่อถาดที่มากเกินไปจะทำให้อาหารที่อยู่ส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรือได้รับลมร้อนแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านอาหารที่อยู่ชั้นบนออกมาได้จึงทำให้การทำแห้งช้า
5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมีผลทำให้อัตราการทำแห้งคงที่
6. อุณหภูมิของอากาศร้อน การเพิ่มอุณหภูมิในขณะที่อากาศมีความชื้นคงที่จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อนมีต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่
7. ความเร็วของลมร้อน เมื่อความเร็วของลมเพิ่มขึ้นทำให้การเคลื่อนย้ายของไอน้ำดีขึ้น นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตาอากาศจึงสัมผัสกับอาหารได้ดีขึ้น

การลดขนาด (Size Reduction) (วิไล รังสาดทอง, 2546)

การลดขนาดเป็นปฏิบัติการเฉพาะหน่วยในการลดขนาดชิ้นอาหารซึ่งเป็นของแข็งให้เล็กลง โดยวิธีการบด กดอัด หรือใช้แรงกระแทก การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความละเอียดขนาดแป้งหรืออนุภาคเล็ก เรียกว่าการบดละเอียด

ประโยชน์ของการลดขนาดในกระบวนการแปรรูปอาหาร

1. เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอาหารซึ่งมีผลในการเพิ่มอัตราการทำแห้ง การให้ความร้อนหรือการทำให้เย็น ทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและอัตราการสกัดสารที่ละลายได้ในน้ำ เช่น การสกัดน้ำผลไม้จากผลไม้บด

2. การลดขนาดและการร่อนคัดแยกจะทำให้ได้อาหารซึ่งมีขนาดตามต้องการ เช่น น้ำตาลไอซิ่ง เครื่องเทศ และแป้งข้าวโพด การลดขนาดช่วยให้สมบัติการทำงานหรือกระบวนการแปรรูปขั้นต่อไปง่ายขึ้น

3. ขนาดอนุภาคของอาหารที่ใกล้เคียงกันจะช่วยให้การผสมส่วนผสมต่างๆ ทำได้ดียิ่งขึ้น เช่น ซุปแห้ง และส่วนผสมของขนมเค้ก

การลดขนาดหรืออิมัลซิฟิเคชันมีผลในการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารน้อยมาก แต่เป็นวิธีที่ช่วยพัฒนาคุณภาพการบริโภคและเพิ่มความเหมาะสมของอาหารสำหรับกระบวนการแปรรูปขั้นต่อไป รวมทั้งช่วยเพิ่มความหลากหลายในการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีดังกล่าวอาจไปเร่งการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากมีเอนไซม์บางชนิดที่ถูกปล่อยออกจากเนื้อเยื่อที่ฉีกขาดหรือเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาออกซิเดชันเพราะมีพื้นที่ผิวมากขึ้นทำให้เกิดการสัมผัสกับอากาศมากขึ้น การป้องกันการเสื่อมเสียดังกล่าวอาจทำได้โดยการจัดการหรือ ทรีทเมนต์ หรือเติมสารบางชนิด

กระบวนการลดขนาดมีหลายรูปแบบขึ้นกับขนาดของอาหารที่ต้องการผลิตดังต่อไปนี้

1. การสับ การตัด การหั่นเป็นชิ้นบาง และการตัดเป็นลูกเต๋า

ก. ขนาดใหญ่ถึงกลาง เช่น เนื้อสเต็คสำหรับทำสตู เนยแข็ง ผลไม้ชิ้นบางๆ สำหรับบรรจุกระป๋อง

ข. ขนาดกลางถึงเล็ก เช่น เบคอน ถั่วฝานบาง และแครอทรูปลูกเต๋า

ค. ขนาดเล็กถึงขนาดเม็ดละเอียด เช่น เนื้อบด ปลาบด ถั่วป่น ผักชิ้นเล็กๆ

2. การโม่จนเป็นแป้งหรือเพส (paste) เพื่อเพิ่มความละเอียด (เรียงขนาดได้ดังต่อไปนี้ ผลิตภัณฑ์ชิ้นเล็กๆ > เครื่องเทศ > แป้ง > แป้งหรือน้ำตาลบดละเอียดจนเป็นแป้ง > เพสละเอียด)

3. อิมัลซิฟิเคชันและโฮโมจิไนเซชัน เช่น มายองเนส นม น้ำมันหอมระเหย เนย ไอศกรีม และมาการีน

อุปกรณ์ที่ใช้ลดขนาดวัตถุดิบอาหารในอุตสาหกรรม

1. เครื่องอัดหรือบีบ (Crusher) ใช้เพื่อบดหยาบหรือละเอียด (Coarse) ได้แก่ Jaw crusher, Gyratory crusher, Crushing roll

2. เครื่องบด (Grinder) ใช้เพื่อบดละเอียดถึงละเอียดปานกลาง (Intermediate and fine) ได้แก่ Hammer Mill, Ball Mill, Roller Mill, Attrition Mill, Tumbling Mill, Rod Mill, Tube Mill

3. เครื่องบดละเอียดมาก (Ultra fine grinder) ได้แก่ Hammer Mills with Internal Classification, Fluid-energy Mill, Agitate Mill

4. เครื่องตัด (Cutting machines) ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตัด (Cutting) ฝาน (Slicing) หั่นเต๋า (Dicing) และการขูด การฉีกเป็นชิ้นเล็ก (Shredding) เป็นต้น

Sieve analysis (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553)

Sieve analysis คือ วิธีการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคของแข็งหรือความละเอียด (Fineness) โดยการร่อนผ่านของแข็งที่ทราบน้ำหนักไปบนชุดตะแกรงทดสอบ (Test sieves) ซึ่งมีช่องขนาดต่าง ๆ กัน โดยจัดเรียงตะแกรงตามลำดับช่องที่ต้องการ ตะแกรงเหล่านี้อาจติดอยู่กับที่หรือเคลื่อนไหวได้ช่องบนตะแกรง (Sieve) เกิดจากการนำลวดขนาดต่างกันมาสานเป็นช่อง และบอกความกว้างของช่องตะแกรงเป็นเมช (Mesh) ซึ่งหมายถึงจำนวนช่องของตะแกรงที่มีอยู่ในความยาว 1 นิ้ว เช่น ตะแกรงขนาด 10 เมช ในความยาว 1 นิ้ว จะมีช่องอยู่ 10 ช่อง และช่องหนึ่งจะมีความยาวกว้าง 0.1 นิ้ว หักออกด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด ดังนั้น เมชขนาดเดียวกัน อาจแตกต่างกัน ถ้าทำจากเส้นลวดที่ต่างกันจึงต้องบอกขนาดช่องหรือ Aperture size ควบคู่กับขนาดเมชของตะแกรงด้วย ตะแกรงมาตรฐานที่นิยมใช้ได้แก่

- ตะแกรงแบบอังกฤษ (British standard)
- ตะแกรงแบบไทเลอร์ (Tyler standard)
- ตะแกรงแบบอเมริกัน (ASTM)

โดยในเมชเบอร์เดียวกันของตะแกรงมาตรฐานแต่ละแบบอาจจะมีขนาดของช่อง (Aperture size) ที่ต่างกันก็ได้ ตัวอย่างเช่น ตะแกรงขนาดเมช 100 แบบไทเลอร์มีขนาดช่อง 0.147 มิลลิเมตร แบบอังกฤษมีขนาดช่อง 0.152 มิลลิเมตร และแบบอเมริกันมีขนาดช่อง 0.149 มิลลิเมตร ดังนั้นในตะแกรงมาตรฐานทุกแบบจะต้องแสดงรายละเอียด ทั้งขนาดเมช และขนาดช่องในแผ่นป้ายด้านข้างตะแกรง

การวิเคราะห์ขนาดด้วยวิธี Sieve analysis ทำได้ 2 วิธี คือ

- แบบแห้ง (Dry)
- แบบใช้น้ำช่วย (Wet) ซึ่งจะเติมน้ำลงไปเพื่อช่วยให้ของแข็งที่มีขนาดเล็กลอดผ่านช่องตะแกรงได้ดีกว่าแบบแห้ง

ของแข็งที่มีขนาดใหญ่เกินขนาด (Oversize) จะค้างอยู่บนตะแกรง ส่วนของแข็งที่เล็กเกินขนาด (Undersize) จะลอดผ่านช่องตะแกรงไปได้ การใช้เครื่องมือช่วยให้ตะแกรงเคลื่อนไหวหรือสั่น (Sieve shaker) จะช่วยให้การร่อนมีประสิทธิภาพดีขึ้น และในเวลาที่น้อยลง แต่จะต้องไม่ใช้ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองครั้งหนึ่ง ๆ เพราะจะทำให้ของแข็งไปอุดตามช่อง หรืออาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์และของแข็งรวมตัวเป็นก้อนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดไปและความชื้นในของแข็งต้องทำให้มีน้อยที่สุด

มีรายงานกล่าวไว้ว่า วัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบของสูตรอาหารมีความละเอียดหรือมีขนาดเล็กเท่าใด การผสมเป็นเนื้อเดียวกันและความคงทนของส่วนผสมก็จะมีมากขึ้น (อุทัย คันโธ, 2555)

การวัดประเมินคุณภาพของอาหารผง

การวัดคุณลักษณะด้านการไหล (Flowability)

การวัดคุณลักษณะด้านการไหล คือ การวัดอัตราการไหลของอาหารประเภทผงซึ่งมีวิธีการที่นิยม 4 แบบ ได้แก่

1) การใช้เครื่อง Schmatic เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาอัตราการไหลของอาหารประเภทผง แสดงดังภาพที่ 2-4 โดยหมายเลข 1 คือกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 มิลลิลิตร ยาว 90 มิลลิเมตรที่ผิวของกระบอกมีช่องสี่เหลี่ยมกว้าง 4 มิลลิเมตร ยาว 70 มิลลิเมตร 2 ช่อง หมายเลข 2 คือเพลาที่ยึดกระบอกกับมอเตอร์ของเครื่อง หมายเลข 5 คือช่องเปิดที่ปลายเครื่อง นำอาหารที่ทราบปริมาณความชื้นและความหนาแน่นในหน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรใส่ในกระบอกที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที อาหารประเภทผงจะไหลออกมาที่ช่องเปิดหมายเลข 5 บันทึกเวลาเมื่ออาหารเริ่มไหลออกมาเป็นค่าความสามารถในการไหลของอาหารประเภทผงมีหน่วยเป็นวินาที (Jaya, 2006)

2) วิธี Shell cell test Shell cell เป็นเครื่องมือในการกำหนดคุณภาพด้านการไหลของอาหารประเภทผงที่นิยมใช้มี 3 แบบ คือ Jenike Shell cell, Annular Shell cell และ Peshl Shell cell ซึ่ง Shell cell จะบอกความแข็งแรงของการเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนที่เกิดลักษณะแบบยืดหยุ่น (Plastic) วิธีการนี้จะไม่สามารถบ่งบอกถึงระดับการจับตัวเป็นก้อนแต่ใช้เพื่อสันนิษฐานรูปแบบการจับตัวเป็นก้อนโดยการอัดหรือปริมาณความชื้นที่แพร่กระจายอยู่ในเครื่องมือ นิยมใช้ Shell cell ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์เพื่ออธิบายผลของการจับตัวเป็นก้อนจากพันธะระหว่างอนุภาคของอาหารประเภทผงและประเมินสภาวะการเกาะติดของอาหารประเภทผงกับผนังของเครื่องทำแห้ง (Cleaver, 2004 อ้างถึงใน พิมพ์ใจ มณีพันธ์, 2549)

3) การวัดความถี่เริ่มต้นที่ทำให้อาหารประเภทผงเกิดการไหล ดำเนินการวัดโดยใช้อุปกรณ์เฉพาะที่มีรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 94 มิลลิเมตร ช่องเปิดที่ด้านล่างของกระบอกซึ่งมีขนาดต่าง ๆ (ตั้งแต่ 11.0-38.2 มิลลิเมตร) กระบอกบรรจุตัวอย่างจะถูกยึดด้วยแขนของเครื่องกำเนิดความถี่ในแนวตั้งฉากกับกระบอกบรรจุตัวอย่างซึ่งสามารถบันทึกความถี่ที่ใช้เมื่อตัวอย่างเริ่มเกิดการไหลได้ (Zou, 2002)

4) การวัดคุณภาพด้านการไหลโดยพิจารณาเวลาในการไหล พาณี สิริสะอาด ดำรงณ์ ศานติอาวรณ์ สุวรรณา เวชภิกุล และเกียรติศักดิ์ พลสงคราม (ม.ป.ป.) วัดคุณภาพการไหลของลำไยผง จัดเครื่องมือในการวัดโดยวางกรวยแก้วบนห่วงที่มีขาตั้ง กำหนดให้ปลายกรวยอยู่สูงจากพื้น 10 เซนติเมตร วางกระดาษสีขาวไว้ที่พื้นใต้กรวยแก้ว ปิดปลายกรวยแก้วด้วยกระดาษเพื่อกันอาหารผงไหล ดำเนินการวัดโดยนำตัวอย่างลำไยผงปริมาณ 50 กรัม ใส่ในกรวยแก้วแล้วดึงกระดาษที่ปิดปลายกรวยออก บันทึกเวลาที่ใช้ตั้งแต่ดึงกระดาษออกจนกระทั่งลำไยไหลออกจากกรวยจนหมด (วินาที)

การวัด Angle of repose

เป็นการวัดมุมของกองอาหารผงที่ไหลจากช่องเปิดของเครื่องมือ เป็นการวัดมุมพื้นราบกระทำต่อผิวหน้าของกองอาหารผงนั้น วิธีการที่นิยมมี 2 แบบ ได้แก่

1) Static angle of repose ดำเนินการวัดโดยนำตัวอย่างอาหารประเภทผงใส่ลงในกล่องโลหะขนาด 150 × 72 มิลลิเมตร และลึก 26 มิลลิเมตร จนเต็มกล่อง จากนั้นจับปลายด้านหนึ่งของกล่องไปผูกยึดกับแขนของเครื่องหมุน กล่องจะอยู่ในลักษณะเอียง วัดมุมที่เกิดขึ้นเมื่อตัวอย่างเริ่มเกิดการไหลเป็นค่า Static angle of repose (Zou, 2002) นอกจากนี้การวัดค่า Static angle ยังสามารถวัดได้อีกวิธีหนึ่งโดยการนำตัวอย่างใส่ในกรวยแล้วปล่อยออก วัดเวลาที่ใช้ตั้งแต่ตัวอย่างผงเริ่มไหลจนหมดและวัดมุมจากกองอาหารประเภทผงกับพื้น ถ้ามุมที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า 40 องศา ถือว่าอาหารประเภทผงนั้นมีการไหลของอิสระ (Aguilera)

พาณี ศิริสะอาด และคณะ (ม.ป.ป.) วัดมุมของกองตัวอย่างลำไยผงโดยวัดความสูงของกองตัวอย่างและวาดเส้นรอบวงของกองตัวอย่างที่ไหลออกจากกรวยแก้วซึ่งกำหนดความสูงของกรวยจากพื้นเป็น 10 เซนติเมตรและปริมาณของผงลำไยเป็น 50 กรัม คำนวณหามุมของกองตัวอย่างได้จากความสัมพันธ์ของรัศมีและความสูงของกองตัวอย่าง

2) Dynamic angle of repose ดำเนินการวัดโดยใช้อุปกรณ์เฉพาะที่มีรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร สูง 94 มิลลิเมตร ช่องเปิดที่ด้านล่างของกระบอกซึ่งมรขนาดต่าง ๆ (ตั้งแต่ 11.0-38.2 มิลลิเมตร) เลือกขนาดของช่องเปิด 5 ถึง 7 ขนาดให้เหมาะสมกับตัวอย่าง บรรจุตัวอย่างในกระบอกเหล็กและให้แรงสั่นสะเทือนขนาด 15 เฮิร์ท เพื่อให้ตัวอย่างไหลลงมาด้านล่างโดยพิจารณาว่าขนาดช่องเปิดใดที่ปล่อยตัวอย่างให้กองตัวอย่างมีความสูง 1 มิลลิเมตร บันทึกค่าความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดนั้น จากหลักการดังกล่าวจะคำนวณหาค่า Dynamic angle of repose ได้จากความสัมพันธ์ของรัศมีของช่องเปิดกับความสูงของกองตัวอย่าง (Zou, 2002)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กล่าวขวัญ ศรีสุข และเอกรัฐ ศรีสุข (2556) ศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพของส่วนสกัดน้ำและน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าและใบของเร่วหอม พบว่า ส่วนสกัดน้ำของใบเร่วหอมมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH ความสามารถในการรีดิวซ์ ความสามารถในการคีเลทไอออนของโลหะ และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าส่วนสกัดจากเหง้า ในขณะที่ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของใบต่ำกว่าของเหง้า การต้านอนุมูลอิสระ การต้านอักเสบ และการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าและใบมีฤทธิ์ใกล้เคียงกัน

กฤติกา นรจิตร (2548) ศึกษาสมบัติของสารสกัดจากพืชวงศ์ขิง พบว่า สารประกอบหลักของข่าและเร่วหอมที่สกัดด้วยการต้มกลั่น คือ methyl chavicol ส่วนที่สกัดด้วย ethanol คือ fraeseol และ anethole ตามลำดับ การทดสอบความสามารถของน้ำมันหอมระเหยต่อการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) free radical scavenging method พบว่า สารสกัดขิงที่สกัดด้วย ethanol และสารสกัดขิงที่สกัดจากกากที่เหลือด้วย ethanol สามารถ

เข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ โดยได้ค่า % scavenging effect เท่ากับ 23.75 และ 23.01 ตามลำดับ และพบว่าความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดสูงขึ้น เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยวิธี β-carotene bleaching method พบว่าสารสกัดขมิ้นชันที่สกัดจากกากที่เหลือด้วย ethanol มีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีที่สุด เท่ากับร้อยละ 86.2 วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชวงศ์ขิงที่ดีที่สุด คือการสกัดด้วย ethanol ซึ่งให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงที่สุด ยกเว้นเร่วหอมซึ่งพบว่าเมื่อสกัดด้วย petroleum ether ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงกว่าสกัดด้วย ethanol

เศรษฐการ นุชนิยม (2554) ศึกษาวิธีการเตรียมตำลึงในการผลิตน้ำตำลึงผงโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง ในขั้นตอนแรกได้ศึกษาวิธีการเตรียมโดยการแปรระดับอุณหภูมิและเวลาในการลวกเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ผลการศึกษาพบว่าการลวกผักตำลึงที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที เพียงพอที่จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้

กัญจน์พัชร์ อุปลศิลป์ (2553) ศึกษาผลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการลวกใบเตยสดที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 3 และ 5 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำผลิตภัณฑ์ใบเตยอบแห้งมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าสี ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) วิเคราะห์ทางด้านเคมี คือ ปริมาณความชื้น รวมทั้งการวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ คือ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์ รา และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย จากการศึกษาพบว่าการลวกใบเตยสด ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 นาที เหมาะสมที่สุด ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุดจากวิธีการทดสอบแบบ 9-Point Hedonic Scale และมีค่าสี L a b เท่ากับ 51.08, -9.18 และ 13.74 ตามลำดับ ค่า a_w เท่ากับ 0.45 ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.10 โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดปริมาณยีสต์ รา และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรแห้ง (มผช. 480/2547) อีกทั้งมีอายุการเก็บได้อย่างน้อย 2 เดือนขึ้นไป โดยคุณสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ไม่เปลี่ยนแปลงมาก เป็นที่ยอมรับได้ และมีคุณภาพในระดับมาตรฐานอีกด้วย

Tran et al. (2008) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตฟักข้าวผงโดยใช้เทคนิคในการทำแห้งที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C (oven dryer) การใช้ตู้อบภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 55°C (vacuum dryer) การทำแห้งโดยใช้ freeze dryer และการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) จากนั้นนำผงฟักข้าวที่ได้มาตรวจวัดคุณภาพทางเคมีและกายภาพ พบว่า การทำแห้งโดยใช้ freeze dryer ให้ผงฟักข้าวที่มีความสว่างมากที่สุดและมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ของผงฟักข้าวที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการแตกต่างกัน

กุลยา จันทร์อรุณ (2538) ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตสมุนไพรแห้ง สรุปขั้นตอนการทำสมุนไพรแห้งได้ดังนี้ ทำความสะอาดและหั่นสมุนไพรให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่อง heat pump dryer และตู้อบลมร้อน ใช้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สำหรับการอบสมุนไพรที่เป็นใบ ช่อ และกลีบ และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสสำหรับสมุนไพรที่ใช้ราก เปลือก และลำต้น

ภูมิศักดิ์ อินทนนท์และคณะ (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมกับพืชที่เป็นเครื่องปรุงแต่ละชนิด ซึ่งพืชที่ใช้ทดสอบทั้งหมด 6 ชนิดได้แก่ กะเพรา พริก ข่า ใบมะกรูด โหระพา และ ตะไคร้ ในแต่ละชนิดพืชเครื่องปรุงอาหารได้วางแผนการทดลองแบบ RCBD ประกอบด้วย 13 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ โดยกรรมวิธีหรือชุดเทคโนโลยีประกอบด้วย การอบที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการอบที่ 12 18 และ 24 ชั่วโมงเปรียบเทียบกับวิธีของเกษตรกรคือการตากแดดซึ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม (Control) โดยทำการเปรียบเทียบความแห้งสนิท (ความชื้นต่ำกว่า 10%) และการคงสภาพความสวยงามของสีของวัตถุดิบ (พืชเครื่องปรุง) ผลการศึกษาพบว่า กะเพรา พริก ข่าสไลด์ ใบมะกรูด โหระพา การอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ถุงกระดาษบรรจุก่อนอบ ให้ความแห้งสนิท (ความชื้นต่ำกว่า 10%) และการคงสภาพความสวยงามของสีดีที่สุด ส่วน ตะไคร้ การอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยการหั่นและใช้ถุงกระดาษบรรจุก่อนอบ ให้ความแห้งสนิท (ความชื้นต่ำกว่า 10%) และการคงสภาพความสวยงามของสีดีที่สุด ส่วนกรรมวิธีการตากแดดแบบชาวบ้านกรรมวิธีควบคุม (Control) นั้น การแห้งของวัตถุดิบไม่สม่ำเสมอ และสีจางซีดต้องใช้เวลาตากถึง 3 แดด จึงจะมีความแห้งเท่ากับการอบแห้ง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. เร่วหอมส่วนเหง้า และลำต้นสูงจากเหง้า 6-10 นิ้ว จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพัฒนาทรัพยากรชีวภาพ ตำบลวันยาว อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี
2. ผงปรุงรสหมูรสดี ยี่ห้อ อายิโนะโมโต๊ะ

สารเคมี

1. เอทานอล (Ethanol: CH_3OH) 99% บริษัท Labscan ประเทศไทย
2. ดีพีพีเอช (2-diphenyl-1-picrylhydrazyl: $C_{18}H_{12}N_5O_6$) บริษัท SIGMA-ALDRICH
3. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride: NaCl) บริษัท Ajax finechem ประเทศออสเตรเลีย
4. โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite : $Na_2S_2O_5$) บริษัท Ajax finechem ประเทศออสเตรเลีย
5. กรดแกลลิค (Gallic acid monohydrate: $C_7H_6O_5{\cdot}H_2O$) ≥98% บริษัท SIGMA-ALDRICH
6. โซเดียมคาบอเนต (Sodium carbonate anhydrous : Na_2CO_3) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
7. เบต้า-แคโรทีม รีเอเจนต์ (β-carotene reagent)
8. ฟอลิน ซิโอแคลทู รีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu's phenol reagent) Reagent grade บริษัท LPBA CHEMIE
9. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) CAS 8032-32-4
10. พาราฟิน (PARAFFIN Liquid) บริษัท Ajax Finechem
11. กัวไอเอคอล (Guaiacol : $C_7H_8O_2$) บริษัท SIGMA Life Science
12. กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) 62230-5ML-F analytical standard
13. Tween®40 บริษัท SIGMA Life Science
14. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide : H_2O_2) บริษัท BDH
15. คลอโรฟอร์ม (Chloroform : $CHCl_3$) บริษัท RCI Labscan Limited

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตู้อบแห้งแบบถาด (Tray dryer) บริษัท อีเคฟู้ดเท็ค ประเทศไทย
2. เครื่อง Spectrophotometer รุ่น Genesys™ 20 Visible
3. เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Hunter lab รุ่น Mini Scan XE Plus

4. ตะแกรงร่อน ขนาด 50 60 70 และ80 เมช Retsch ประเทศเยอรมณี
5. เครื่องปั่นแห้ง 600 W บริษัท Philips
6. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 610 ประเทศเยอรมนี
7. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BSA224S-CW ประเทศเยอรมนี
8. เครื่อง Shaker รุ่น innova™ 2000 บริษัท New Brunswick Scientific ประเทศอเมริกา
9. เครื่อง Shaker รุ่น C24 Incubator บริษัท New Brunswick Scientific ประเทศอเมริกา
10. เครื่อง Moisture Analyser sartorius รุ่น MA 35
11. Hot plate
12. เครื่อง Stirrer รุ่น M 21/1 บริษัท Franz MORAT KG (GmbH & Co.)
13. เครื่อง vortex
14. แท่ง Magnetic
15. ถุงอลูมิเนียม และอลูมิเนียมฟอยล์
16. กระดาษกรอง No.1 และNo.4
17. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
18. อุปกรณ์งานครัว
19. Water bath
20. Hot air oven รุ่น ED/FD บริษัท BINDE
21. เครื่องบดละเอียด
22. เครื่องซีล

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอม

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำเร่วหอมส่วนเหง้าและส่วนลำต้นสูงจากเหง้า 6-10 นิ้ว มาล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้ง จากนั้นหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้มีความหนา 0.2 เซนติเมตร ปั่นให้ละเอียดแล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ นำออกมาบดละเอียดอีกครั้ง และร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูตะแกรง 50 เมช (≤300 ไมครอน) ได้เป็นเร่วหอมผง เก็บตัวอย่างใส่ถุงอลูมิเนียม ปิดผนึก เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำการวิเคราะห์

1.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย นำเร่วหอมผง 100 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ใส่ปิโตรเลียมอีเทอร์ลงไป 500 มิลลิลิตร (1: 5) พาราฟินเหลว 40 มิลลิลิตร ปิดปากขวดรูปชมพู่ให้สนิทและหุ้มขวดรูปชมพู่ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ เขย่าทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Shaker ความเร็ว 123 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองเอากากตัวอย่างออกด้วย

กระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารสกัดไประเหยเอาตัวทำละลายออก โดยตั้ง Hot plate แล้วนำบีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร ใส่น้ำตั้งบน Hot plate ควบคุมให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ในตู้ดูดควัน นำสารที่ผ่านการระเหยมาล้างด้วยเอทานอลจนกว่าไม่มีการตกตะกอน กรองแล้วระเหยเอทานอลออกด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เก็บสารที่ได้ขวดแก้วสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (ดัดแปลงจาก กฤติกา นรจิตร, 2548)

นำสารสกัดที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ดังนี้

1) ปริมาณสารประกอบฟินอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (Zhou & Yu, 2006)

2) ฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay) (Brand-Williams, Cuvelier & Berset, 1995)

3) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดย β-carotene bleaching method (Siddhuraju & Becker, 2003)

ตอนที่ 2 การพัฒนากระบวนการผลิตเร่วหอมผง

2.1 การศึกษาผลของสารละลายที่ใช้ในการลวกเร่วหอมต่อคุณภาพของเร่วหอมผง

เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์เร่วหอมผง ขั้นตอนนี้ จึงสนใจศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพของเร่วหอมผงโดยเฉพาะด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และค่าสี โดยแปรชนิดของสารละลายที่ใช้ในการลวกดังนี้

1) เร่วหอมสด (ตัวอย่างควบคุม)

2) การลวกในน้ำ

3) การลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

4) การลวกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์

โดยนำเร่วหอมส่วนเหง้าและส่วนลำต้นสูงจากเหง้า 6-10 นิ้ว มาล้างทำความสะอาด และผึ่งให้แห้ง จากนั้นหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้มีความหนา 0.2 เซนติเมตร แล้วนำไปลวกในสารละลายดังกล่าวที่อุณหภูมิสารละลายเดือด เป็นเวลา 1 นาที กำหนดอัตราส่วนเร่วหอม : สารละลายที่ใช้ลวก เท่ากับ 1: 12 หลังจากลวกแช่ในน้ำเย็นทันทีเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำขึ้นมาพักบนตะแกรง 1 นาที ซับด้วยกระดาษ ทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของทุกตัวอย่าง แล้วนำไปบดให้ละเอียดและทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน กำหนดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ นำมาบดอีกครั้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช (≤300 ไมครอน) บรรจุถุงอลูมิเนียม ปิดผนึกรอทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (Zhou & Yu, 2006)

2) ฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay) (Brand-Williams et al., 1995)

3) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดย β-carotene bleaching method (Siddhuraju & Becker, 2003)

4) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี และรายงานเป็นค่า L* a* และb*

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกสารละลายที่ใช้ในการาลวกที่ทำให้ได้เร่วหอมผงที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดและพิจารณาร่วมกับค่าสี

2.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพของเร่วหอมผง

เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อเผยแพร่เทคโนโลยีการผลิตสู่ชาวบ้านในชุมชนซึ่งเป็นผู้ให้โจทย์วิจัย ดังนั้นขั้นตอนของการอบแห้งนี้จึงเลือกวิธีการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีอยู่แล้วในชุมชน โดยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นการทำให้อาหารแห้งโดยวางอาหารในสภาพอากาศร้อนแล้วเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวอาหารจนน้ำในอาหารระเหยเป็นไอ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสกับอุณหภูมินั้น ๆ โดยตรง ขั้นตอนนี้จึงสนใจศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพของเร่วหอมผง โดยเฉพาะด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและค่าสี

นำเร่วหอมที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่คัดเลือกได้มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แปรอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเป็น 60 70 และ80 องศาเซลเซียส หาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยบันทึกน้ำหนักทุก 30 นาที หลังจากครบ 2 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักทุก ๆ 10 นาที จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้น แล้วนำปริมาณความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมาสร้างกราฟการทำแห้ง (Dying curve) เพื่อหาเวลาในการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ โดยกำหนดให้เร่วหอมผงที่ได้มีความชื้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

จากนั้นอบแห้งเร่วหอมตามเวลาที่หาได้ทั้ง 3 อุณหภูมิ แล้วนำมาบดด้วยเครื่องปั่นของแห้งอีกครั้ง นำผงเร่วหอมไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช (≤300 ไมครอน) บรรจุถุงอลูมิเนียม ปิดผนึกเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพ

1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (Zhou & Yu, 2006)

2) ฤทธิ์การต้านสารอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging (DPPH assay) (Brand-Williams et al., 1995)

3) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดย β-carotene bleaching method (Siddhuraju & Becker, 2003)

4) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี และรายงานเป็นค่า L* a* และb*

เกณฑ์การเลือก

พิจารณาเลือกสารละลายที่ใช้ในการลวกที่ทำให้ได้เร่วหอมผงที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดและพิจารณาร่วมกับค่าสี

2.3 ศึกษาขนาดอนุภาคที่มีผลต่อคุณภาพด้านการใช้งานของเร่วหอมผง

นำเร่วหอมผงที่ได้จากวิธีการทำแห้งที่เลือกได้ในข้อ 2.2 มาทำการบดลดขนาดให้มีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 300 250 212 และ 180 ไมครอน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ได้แก่

1) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี และรายงานเป็นค่า L* a* และb*

2) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Zhou & Yu, 2006)

3) สมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (Brand-Williams et al., 1995)

4) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดย β-carotene bleaching method (Siddhuraju & Becker, 2003)

5) วัดความสามารถในการละลายของเร่วหอมผง (Sanphakdee, 2007)

เกณฑ์การเลือก

คัดเลือกขนาดของเร่วหอมผงที่เหมาะสมจากคุณภาพด้านการละลายโดยพิจารณาร่วมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและคุณภาพด้านอื่น ๆ ที่ตรวจสอบ

ตอนที่ 3 การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงเมื่อใช้เป็นส่วนผสมผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูป

นำเร่วหอมผงที่คัดเลือกได้จากตอนที่ 2 ผสมลงในผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูปทางการค้า (ผงปรุงรสหมูรสดี) ปริมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผงปรุงซุปทั้งหมด ปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นของแห้ง นำมาวัดค่าคุณภาพด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) คุณลักษณะด้านการไหล (Flowability) โดยบันทึกเวลาในการไหลของอาหารผง (พาณี ศิริสะอาด และคณะ, ม.ป.ป.)

2) ค่า static angle of repose ซึ่งเป็นการวัดมุมของกองอาหารผงที่ไหลออกมาจากช่องเปิดของเครื่องมือ (พาณี ศิริสะอาด และคณะ, ม.ป.ป.)

3) วัดความสามารถในการละลายของเร่วหอมผงเมื่อใช้เป็นส่วนผสมในน้ำซุปผงสำเร็จ รสดีรสหมู ยี่ห้อ อายิโนะโมโต๊ะ

4) ค่าความหนาแน่น (Yan & Barbosa, 2001)

5) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี และรายงานผลเป็นค่า L* a* และ b*

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ CRD และวิเคราะห์ผลทางสถิติ ANOVA ด้วยโปรแกรม Minitab 18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ Tukey ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างน้อย 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอม

เร่วหอมเป็นพืชสมุนไพรประจำถิ่นของจังหวัดจันทบุรี ซึ่งมีรายงานว่าในน้ำมันหอมระเหยของเร่วหอมนั้นมีสารประกอบในกลุ่ม phenolic ether volatile oils ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอม

วิธีการวิเคราะห์	ปริมาณ
ปริมาณสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมด (mg GAE/g)	16.97 ± 0.17
DPPH radical scavenging (%)	79.43 ± 6.59
β-carotene bleaching (% antioxidant activity)	93.09 ± 0.92

จากตารางที่ 4-1 พบว่า เร่วหอมที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 16.97 มิลลิกรัม gallic acid ตอสวนสกัด 1 กรัม จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging และ β-carotene bleaching method พบว่าเร่วหอมผงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 79.43 เปอร์เซ็นต์ และ 93.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ กฤติกา นรจิตร (2548) ที่ทำการศึกษาสมบัติของพืชวงศ์ขิง พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ด้วยวิธี β-carotene bleaching ในน้ำมันหอมระเหยจากเร่วหอมที่สกัดด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง โดยมี (% antioxidant activity สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการวิจัยของ ปริยานุช อินทรรอด (2551) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟนอลรวมจากสวนสกัดของตนเรวหอม พบวา สวนสกัดยอยเอทิลอะซิเตทมีปริมาณสารประกอบฟนอลรวม 198.33 มิลลิกรัม gallic acid ตอ สวนสกัด 1 กรัม และมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูล DPPH 53.30 ไมโครกรัมตอมิลลิลิตร ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากผลการทดลองครั้งนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการเตรียมวัตถุดิบวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน รวมทั้งคุณภาพด้านความแก่อ่อนหรือพื้นที่การปลูกวัตถุดิบที่แตกต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอม

4.2 ผลการพัฒนากระบวนการผลิตเร่วหอมผง

4.2.1 การศึกษาผลของสารละลายที่ใช้ในการลวกเร่วหอมต่อคุณภาพของเร่วหอมผง

เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์เร่วหอมผง ขั้นตอนนี้ จึงสนใจศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในสารละลายชนิดต่างๆ ต่อคุณภาพของเร่วหอมผง โดยเฉพาะด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และค่าสี จากการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเร่วหอมในขั้นตอนการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่าง ๆ ผลเป็นดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงในวิธีการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีเตรียมขั้นต้น	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)	radical scavenging (%)	antioxidant activity (%)^{ns}
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม)	17.06±0.16^{b}	69.53±0.53^{ab}	93.09±0.92
ลวกในน้ำ	17.17±1.35^{b}	36.83±10.51^{c}	94.31±4.43
ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1%	19.83±3.40^{ab}	47.21±2.96^{bc}	94.25±5.67
ลวกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.05%	24.90±0.22^{a}	74.57±2.13^{a}	94.69±4.44

^{a,b,c} หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อทำการลวกเร่วหอมในสารละลายที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า การลวกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที สามารถรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไว้ได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องมาจากโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีคุณสมบัติในการยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสโดยทำปฏิกิริยากับสารประกอบตัวกลางในระหว่างปฏิกิริยาการเกิดสารหรือรงควัตถุสีน้ำตาล หรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสโดยตรง หรืออาจทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์สารประกอบควิโนน (Quinones) กลับไปเป็นสารประกอบฟีนอลที่ไม่มีสีได้ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกจัดเป็นสาร antioxidant (Lambrecht, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยการทดสอบดด้วยวิธี DPPH radical scavenging ที่พบว่า การลวกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้เร่วหอมผงที่มีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อทดสอบสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี β-carotene bleaching method กลับพบว่าการลวกแต่ละวิธีมีเปอร์เซ็นต์ antioxidant activity ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ค่าสี L* a* และb* ดังตารางที่ 4-3 พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นกัน โดยผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงที่ได้มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน

ตารางที่ 4-3 ค่าสี (L* a* และb*) ของเร่วหอมผงในวิธีการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีเตรียมขั้นต้น	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}
ไม่มีการเตรียมขั้นต้น (ตัวอย่างควบคุม)	77.74±0.90	3.86±0.34	18.31±0.71
ลวกในน้ำ	75.21±0.33	3.81±0.34	18.31±0.94
ลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์1%	75.47±0.04	3.80±0.25	17.78±0.93
ลวกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.05%	75.83±0.92	3.58±0.43	19.05±0.77

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถเลือกสารละลายที่ใช้ในการลวกเร่วหอมก่อนการทำแห้งที่เหมาะสม คือ การลวกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที สำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งจะทำให้ได้เร่วหอมผงที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง

4.2.2 การศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพของเร่วหอมผง

นำเร่วหอมที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นที่คัดเลือกได้มาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แปรอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเป็น 60 70 และ 80°C หาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยบันทึกน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้น แล้วนำปริมาณความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมาสร้างกราฟการทำแห้ง (drying curve) เพื่อหาเวลาในการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ โดยกำหนดให้เร่วหอมผงที่ได้มีความชื้นไม่เกิน 10% ซึ่งจากการทำ drying curve สามารถกำหนดเวลาในการทำแห้งเร่วหอมได้ ดังนี้

ตารางที่ 4-4 เวลาในการทำแห้งเร่วหอม

อุณหภูมิในการทำแห้ง (°C)	เวลา (นาที)
60	60
70	85
80	90

จากนั้นจึงทำการอบแห้งเร่วหอมตามเวลาดังกล่าว ซึ่งการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็นการทำให้อาหารแห้งโดยวางอาหารในสภาพอากาศร้อนแล้วเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังผิวอาหาร

จนน้ำในอาหารระเหยเป็นไอ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสกับอุณหภูมินั้นๆ โดยตรง จากการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเร่วหอมที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ให้ผลดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงในการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)	radical scavenging (%)^{ns}	antioxidant activity (%)^{ns}
60	37.67±0.96^{a}	91.66±0.32	94.69±4.44
70	20.91±1.25^{b}	84.91±5.47	94.33±5.66
80	17.52±0.05^{c}	73.76±6.31	90.05±9.69

^{a,b,c} หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4-5 พบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งเร่วหอมผงมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบเร่วหอมผงลดลง แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความคงตัวของสารประกอบฟีนอลิก ส่งผลทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เพราะสารประกอบฟีนอลิกเสื่อมสลายได้ง่ายด้วยความร้อน ซึ่งแนวโน้มการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการลดลงของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavenging และ β-carotene bleaching ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อนำเร่วหอมผงที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 70 และ80 องศาเซลเซียส มาทำการวิเคราะห์คุณภาพด้านสี (L* a* และb*) ผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ค่าสี (L* a* และb*) ของเร่วหอมผงในวิธีการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	L*^{ns}	a*	b*^{ns}
60	76.08±0.34	3.24±0.02^{c}	19.35±0.99
70	76.49±0.15	3.39±0.01^{b}	18.79±0.20
80	76.34±0.62	3.65±0.01^{a}	19.71±0.90

^{a,b,c} หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4-6 อุณหภูมิในการอบแห้งเร่วหอมผงมีผลต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ($p \leq 0.05$) โดยค่าความเป็นสีแดง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของน้ำตาลและหมู่อะมิโนเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) จากงานวิจัยของ เทวรัตน์ ทิพยวิมล (2555) รายงานว่า ค่า a* มีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มมากขึ้นจากค่าอ้างอิงของหอมสด แสดงว่าเมื่อทำการอบแห้งแล้วแนวโน้มความเป็นสีเขียวลดลงโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของการเปลี่ยนไปเป็นสีแดงได้มากที่สุด

จากผลการทดลองปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และค่าความเป็นสีแดง (a*) จึงสามารถเลือกอุณหภูมิในการทำแห้งที่เหมาะสม คือ 60 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.2.3 ศึกษาขนาดของอนุภาคที่มีผลต่อคุณภาพด้านการใช้งานของเร่วหอมผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกัน (300 - 180 ไมครอน) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-7 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงขนาดอนุภาคต่าง ๆ

ขนาดอนุภาค (ไมครอน ; µm)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)	radical scavenging (%)	antioxidant activity (%)^{ns}
300	15.95±0.69^{a}	45.77±0.20^{a}	47.43±21.28
250	9.69±2.20^{b}	31.63±1.31^{b}	37.00±17.56
212	6.85±1.62^{b}	29.31±1.79^{b}	48.85±14.21
180	6.34±1.01^{b}	23.27±6.43^{b}	48.82±13.31

^{a,b,c} หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4-7 พบว่า ขนาดอนุภาคมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเร่วหอมผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง โดยอนุภาคขนาด 300 ไมครอน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด (15.95 mg GAE/g) สอดคล้องกับผลการวิคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระโดยค่า radical scavenging (%) มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง นั่นคือ ที่ขนาดอนุภาค 300 ไมครอน มีค่า radical scavenging (%) มากที่สุด (45.77%) แต่พบว่า ค่า antioxidant activity (%) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การที่ขนาดอนุภาคของเร่วหอมผงลดลงแต่กลับทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงนั้นอาจเนื่องจากการเป็นเส้นใยของเร่วหอมเมื่อบดลดขนาดอนุภาคต้องใช้เวลามากกว่าในการบดจึงได้รับความร้อนใน

ระหว่างการบดลดขนาดอนุภาคสูง ซึ่งความร้อนเป็นปัจจัยหนึ่งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ(พัชรี สิริตระกูลศักดิ์ และสกุลกานต์ สิมลา, 2558)

ตารางที่ 4-8 ค่าสี (L* a* และ b*) ของเร่วหอมผงที่ขนาดอนุภาคต่าง ๆ

ขนาดอนุภาค (ไมครอน ; μm)	L*[ns]	a*[ns]	b*
300	76.29±0.22	3.44±0.12	22.60±0.13[a]
250	76.18±0.40	3.63±0.37	22.3±0.06[ab]
212	76.44±0.74	3.61±0.19	22.19±0.12[ab]
180	75.87±0.75	4.02±0.69	21.46±0.49[b]

[a,b,c] หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] หมายถึง ค่าในแนวตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4-8 พบว่า ขนาดของอนุภาคไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีแดง (a*) ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ($p \leq 0.05$) โดยค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง จากที่อธิบายข้างต้นการลดขนาดเร่วหอมผงซึ่งมีความเป็นเส้นใยมากทำให้ได้รับความร้อนจากการบดมากกว่าซึ่งจะส่งผลถึงค่าทางเคมี หนึ่งในนั้นคือการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี β-carotene bleaching ที่ลดลง ซึ่งค่า b* แสดงค่าสีเหลืองของเบต้าแคโรทีนที่แปรผันตรงกับขนาดอนุภาค

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของเร่วหอมผง ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ความสามารถในการละลายของเร่วหอมผงที่ขนาดอนุภาคต่างกัน

ขนาดอนุภาค (ไมครอน ; μm)	Solubility (%)
300	25±1.41[b]
250	29±0.00[ab]
212	28±0.00[ab]
180	31±1.41[a]

[a,b,c] หมายถึง ค่าในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4-9 พบว่า ขนาดอนุภาคมีผลต่อความสามารถในการละลายของเร่วหอมผง ($p \leq 0.05$) โดยค่าการละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง เนื่องจากขนาดอนุภาคขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ จึงทำให้สัมผัสกับตัวทำละลายได้มากกว่าจึงสามารถละลายได้ดีกว่า

จากผลการทดลองปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) จึงสามารถเลือกขนาดอนุภาคของเร่วหอมผงที่เหมาะสม คือ 300 ไมครอน สำหรับใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

4.3 ผลการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงเมื่อใช้เป็นส่วนผสมผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูป

จากการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงเมื่อใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องปรุงรสทางการค้ารสดีหมูยี่ห้อ อายิโนะโมโต๊ะ 15 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักผงปรุงซุปทั้งหมด แสดงในตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงเมื่อใช้เป็นส่วนผสมผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูป

คุณลักษณะ	ปริมาณ
คุณลักษณะด้านการไหล (Flowability)	5.15±1.01 วินาที
ค่า Static angle of repose	52.86±0 องศา
ค่าความหนาแน่น	0.72±0.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ค่าการละลาย	89±1.41 เปอร์เซ็นต์
ค่าสี L*	75.85±0.21
a*	3.54±0.08
b*	17.73±0.22

จากตารางที่ 4-10 สามารถวัดคุณภาพลักษณะด้านการไหล ค่า static angle of repose ค่าความหนาแน่น ค่าการละลาย และค่าสี พบว่า ใช้เวลาในการไหล 5.15±1.01 วินาที มีค่า static angle of repose ที่ได้ 52.86±0 องศา แสดงว่ามีคุณลักษณะการไหลอยู่ในระดับต่ำ (poor) ค่าความหนาแน่นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความห่างระหว่างอนุภาคของอาหารประเภทผงและสามารถอธิบายถึงการเกิดการจับตัวเป็นก้อนในอาหารผงโดยจะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค จากการศึกษาพบว่า มีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 0.72±0.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งถือว่ามีค่าความหนาแน่นต่ำ มีค่าการละลาย 89±1.41 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า L* 75.85±0.21 ค่า a* 3.54±0.08 ค่า b* 17.73±0.22 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า เร่วหอมผงผสมผงปรุงรสน้ำซุปสำเร็จรูปมีคุณลักษณะการไหลอยู่ในระดับต่ำ ถึงแม้ว่าความหนาแน่นจะต่ำก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการมีเกลือซึ่งเป็นสาร Hygroscopic เป็นส่วนผสมในผงปรุงรสสำเร็จรูปทางการค้าทำให้การดูดความชื้นในอากาศสูง และมีระดับการจับตัวเป็นก้อนสูงจึงทำให้การไหลน้อยลง ทั้งนี้ควรมีการควบคุมในเรื่องของตัวอย่างผงปรุงรสที่นำมาใช้ในการทดลองและวิเคราะห์โดยกำหนดเป็นตัวแปรควบคุมเพราะอาจจะมีผลต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของ

ผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fitzpatrick (2004) ที่พบว่า มีความสัมพันธ์ของแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคและปริมาณความชื้นต่อการไหลในมะเขือเทศผงที่มีขนาดอนุภาค 320 ไมโครเมตร โดยมะเขือเทศผงมีอัตราการไหลต่ำเนื่องมาจากปริมาณความชื้นของมะเขือเทศผงที่สูงเช่นกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

เร่วหอมสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดี โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิค เท่ากับ 16.97 มิลลิกรัม/กรัม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging เท่ากับ 79.43 เปอร์เซ็นต์ และมีค่า antioxidant activity 93.09 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาผลของวิธีการเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งต่อคุณลักษณะด้านสีและการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่า เร่วหอมที่ผ่านวิธีการเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.05 เปอร์เซ็นต์ มีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยวิธีการเตรียมขั้นต้นมีผลต่อค่าสีของเร่วหอมผงไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้นยังพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยอุณหภูมิอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส สามารถรักษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้สูงที่สุด และอุณหภูมิในการอบแห้งยังมีผลต่อค่าความเป็นสีแดง (a*) แต่ไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ส่วนผลของขนาดอนุภาคต่อคุณภาพของเร่วหอมผง พบว่า อนุภาคขนาด 300 ไมครอน สามารถรักษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด และขนาดอนุภาคยังมีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ที่อนุภาคขนาด 300 ไมครอน มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มากที่สุด และขนาดอนุภาคยังมีผลต่อความสามารถในการละลาย โดยอนุภาคขนาด 180 ไมครอน มีความสามารถในการละลายมากที่สุด

จากการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงเมื่อใช้เป็นส่วนผสมผงปรุงน้ำซุปสำเร็จรูป พบว่า เร่วหอมผงที่ได้เมื่อผสมกับผงปรุงน้ำซุปแล้วมีค่า static angle of repose อยู่ในระดับที่ต่ำ มีค่าความหนาแน่นต่ำ แต่มีความสามารถในการละลายในระดับที่ดี

ข้อเสนอแนะ

ผลิตภัณฑ์เร่วหอมผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง อีกทั้งยังเป็นเครื่องปรุงแต่งกลิ่นรสของอาหารได้ดี จึงควรมีการพัฒนาในด้านของการแปรรูปเพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกขึ้น เช่น การพัฒนาเป็นผงปรุงก๋วยเตี๋ยว หรือ น้ำซุปสำเร็จรูป การพัฒนาในด้านบรรจุภัณฑ์เพื่อให้เอื้อต่อการเก็บรักษาเป็นเวลานาน และสะดวกต่อการขนส่ง

รายการอ้างอิง

กฤติกา นรจิตร. (2548). คุณสมบัติของสารสกัดจากพืชวงศ์ขิง: อิทธิพลของวิธีการสกัดต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ. *วิทยานิพนธ์*. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

กล่าวขวัญ ศรีสุข และเอกรัฐ ศรีสุข. (2556). การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของใบเร่วหอม: มูลค่าเพิ่มจากของเหลือทิ้งทางการเกษตร. http://www.lib.buu.ac.th/buuir/research/node/1396 เข้าถึงเมื่อ 12 กันยายน 2559.

กล่าวขวัญ ศรีสุข และเอกรัฐ ศรีสุข. (2558). *การประเมินศักยภาพของ 4-methoxycinnamyl 4-coumarate ที่แยกได้จากเหง้าเร่วหอมในการเป็นสารต้านอักเสบชนิดใหม่*. สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กัญจน์พัชร์ อุปลศิลป์. (2553). การพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ใบเตยอบแห้ง. สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

กุลยา จันทร์อรุณ. (2538). กรรมวิธีการผลิตสมุนไพรแห้ง. รายงานการวิจัย. สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, และวิชมณี ยืนยงพุทธกาล. (2554). ผลของสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพของลำไยผง. *วิทยาศาสตร์เกษตร, 42*(2), 473-476.

เกษร น้อยนาง, ภาสุรี ฤทธิเลิศ, นพมาศ วรเนตร์, ศรัญญา ศรีปริวุฒิ, ปรีนะทัศนีย์ ประไชโย และธีรพร กงบังเกิด. (2548). ผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และกรดแแอสคอร์บิกต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของขิงสดหั่นฝอย. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*, *25*(3), 93-104.

จันทร์เพ็ญ บุตรใส และเสน่ห์ บัวสนิท. (2555). *การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตกล้วยอบม้วน*. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหานาม. (2554). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์, 1*(1), 59-70.

ญานิล ชัยณรงค์, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ และอโนชา สุขสมบูรณ์. (2014). ผลของปริมาณแป้งมันเทศสีม่วงที่มีต่อคุณภาพของหมั่นโถว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, *45*(2), 97-100.

ดรรชนี พัทธวรากร. (2556). *เคมีกระบวนการผลิต (Industrial Process Chemistry)*. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เอกสารการสอน. เข้าถึงได้จาก http://www.inc.science.cmu.ac.th/thai/upload/article/file/13-06-03-b3967.pdf

เทวรัตน์ ทิพยวิมล. (2555). *การคงคุณภาพผักอบแห้งกึ่งสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน*. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรานารี.

ธนศักดิ์ แซ่เลี่ยว. (2552). *ผลของกการทำแห้งต่อสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถต้านออกซิเดชั่นของกระชายเหลือง* (*Boesenbergia pandurata (Roxb.) Schltr.*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นรินทร์ พันธุ์ครู. (2553). เร่วหอมพืชสมุนไพรมากสรรพคุณ. http://www.sahavicha.com/?name=article&file=readarticle&id=1503. เข้าถึงเมื่อ 12 กันยายน 2559.

นันทวัน บุณยะประภัศร และอรนุช โชคชัยเจริญพร. (2543). สมุนไพรไม้พื้นบ้าน. บริษัทประชาชน จำกัด, หน้า 194-197.

นันธิดา ลิ่มเสฎโฐ. (2557). *สารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์จากใบชา ใบหม่อน และใบมะรุม*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

นิธิยา รัตนปนนท์. (2545). *เคมีอาหาร*. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2553). *Dehydration / การทำแห้ง*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B9%81%E0%B8%AB%E0%B9%89%E0%B8%87

นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2553). *Sieve analysis*. เข้าถึงได้จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1303/sieve-analysis

บังอร วงศ์รักษ์ และศศิลักษณ์ ปิยะสุวรรณ์. (2549). *ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผักพื้นบ้าน*. ปัญหาพิเศษหลักสูตรปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต, คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.

บุหรัน พันธุ์สวรรค. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 21*(3), 275-286.

ปริยานุช อินทร์รอด. (2551). *ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของส่วนสกัดจากต้นเร่วหอมและว่านสาวหลง*. สาขาวิชาชีวเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ปรางค์ทอง กวานห้อง. (2550). การใช้โซเดียมคลอไรด์เพื่อลดการเกิดสารสีน้ำตาลในสับปะรดพร้อมบริโภค. ใน *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 5*. กรุงเทพมหานคร: มิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชัน.

พัชรี สิริตระกูลศักดิ์ และสกุลกานต์ สิมลา. (2558). ผลของกรรมวิธีการประกอบอาหารต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในดอกชมจันทร์. *วารสารแก่นเกษตร, 43*(1), 875-880.

พาณี สิริสะอาด, ดำรงณ์ ศานติอาวรณ์, สุวรรณา เวชิภิกุล, และเกียรติศักดิ์ พลสงคราม. (ม.ป.ป.). การผลิตยาผงและน้ำสกัดลำไยเข้มข้นจากสารสกัดลำไยเพื่อสุขภาพ. *วารสารมหาวิทยาลัยพายัพ, 18*(1), 101-102.

พิมพ์ใจ มณีพันธ์. (2549). *การปรับปรุงคุณภาพด้านการจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ผงปรุงรสต้มยำระหว่างการเก็บรักษา*. ปัญหาพิเศษ. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ภูมิศักดิ์ อินทนนท์. (ม.ป.ป.). การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การผลิตพืชเครื่องปรุงอาหารไทย เพื่อการส่งออก. http:// www.thaifoodtoworld.com เข้าถึงเมื่อ 19 กันยายน 2554.

เยาวลักษณ์ อดุลรัมย์, และชานนท์ จันทรตรี. (2555). *ผลของการเตรียมขั้นต้น ขนาดอนุภาคและชนิดของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพของขลู่ผง*. โครงงานวิจัยหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ลลิตา โรจนานุยุตต์. (2550). *ปริมาณเบต้าแคโรทีนและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผักสดและผักที่ทำให้สุก*. เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วริพัสย์ อารีกุล, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ศดานันท์ นรินทร์สุขสันติ และสุวรรณ ทาเขียว. (2557). *การพัฒนาชาเจียวกู่หลานผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแหงแบบพ่นฝอยและความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา*. คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วัชรพงษ์ ทสะสังคินทร์. (2556). *องค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของเหง้าเร่วหอม และเมล็ดกระวาน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต, สาขาวิชาเคมีศึกษา, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วิชมณี ยืนยงพุทธกาล, กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, ปณิดา ชัยปัน และต่อลาภ ศรีเมือง. (2558). ผลของอุณหภูมิและเวลาทำแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของเห็ดเข็มทองผงที่ผลิตจากส่วนที่ไม่นิยมบริโภค. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25*(6), 1001-1014.

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

วิไล รังสาดทอง. (2546).*เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

วิไล รังสาดทอง. (2552).*เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิไล รังสาดทอง. (2547). *การลวก*. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัส พับลิเคชั่น จำกัด

ศรมน สุทิน. (2559). วิตามินกับอนุมูลอิสระ. *วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, 2*(1), 80-92.

ศิวพร ศิวเวชช. (2535). การศึกษาการผลิตข้าวฟ่างเสริมโปรตีน โดยใช้แป้งถั่วเหลืองชนิดพร่องไขมัน. *วารสารวิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์, 26*(4), 367-373.

เศรษฐการ นุชนิยม. (2554). การผลิตน้ำตำลึงผงโดยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 19 (2), 51-63.

สกุลกานต์ สิมลา, สุรศักดิ์ บุญแต่ง และสรพงค์ เบญจศร. (2560). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดพืช เมล็ดพืชงอก และเมล็ดพืชงอกอบแห้ง. *วารสารแก่นเกษตร, 45*, 1259-1264.

สิริภรณ์ ครวญหา และพัชญ์สิตา ฐิตะเลิศวงศ์. (ม.ป.ป.). *การศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่น เรื่อง "การใช้ประโยชน์จากเร่วหอม"*. สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 9 (ชลบุรี), กรมป่าไม้.

สุภาพรรณ ม่วงพรหม. (ม.ป.ป.). *เกลือสมุทร...ที่สมุทรสาคร. สมุทรสาคร*: สำนักงานบริหารและพัฒนาองค์ความรู้. เอกสารการสอน. เข้าถึงได้จาก http://www.okmd.or.th/upload/pdf/Sea-salt-farming.pdf

หยาดฝน ทนงการกิจ, กาญจนา นาคประสม และนักรบ นาคประสม. (2559). ผลของกระบวนการต่อสมบัติทางกายภาพและปริมาณแคโรทีนอยด์ในสีผสมอาหารธรรมชาติจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, *11*(1), 47-57.

อาภัสสร ศิริจริยวัตร, สุธิชา พืชสิงห์, และชาติสยาม ผลวิลัย. (2558). ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อคุณภาพของสาหร่ายเทา. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, *43*(3), 459-468.

Aguero, M., Facchinetti, F., Maria M., Sheleg, Z., & Senderowicz, A. M. (2005). Phenoxodiol, a Novel Isoflavone, Induces G1 Arrest by Specific Loss in Cyclin-Dependent Kinase 2 Activity by p53-Independent Induction of p21WAF1/CIP1. *Journal of Cancer Research, 65*(8), 3364-3373.

Amidon, E. G. & Houghton, E. M. (1995). The Effect of Moisture on the Mechanical and Powder Flow Properties of Microcrystalline Cellulose. *Pharmaceutical Research, 12*(6), 923-929.

Barbosa, C. G. V., Rivas, O., E., , Juliano, P., & Yan, H. (2005). *Food powders physical properties, processing and functionality*. New York: Pleum.

Barret, C., & Theerakulkait. (1995). Quality indicators in blanched, frozen, stored vegetables. *Food Technology, 49*(1), 62-65.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, 28*(1), 25-30.

Carpin, M., Bertelsen, H., Dalberg, A., Bech, J. K., Risbo, J., Schuck, P., & Jeantet, R. (2017). How does particle size influence caking in lactose powder. *Journal of Food Engineering, 209*, 61-67.

Chung, M. S., Ruan, R., Chen, P., Lee, Y. G., Ahn, T. H., & Baik, C. K. (2001). Formulation of Caking-Resistant Powdered Soups Based on NMR Analysis. *Food Engineering and Physical Properties, 66*(8), 1147-1151.

Fitzpatrick, J. J., Barringer, S.A. & Iqbal, T. (2004). Flow property measurement of food powder and sensitivity of jenike's hopper design methodology to the measured values. *Journal of Food Engineering, 61*, 399-405.

Jaya, S., Das, H & mani, S. (2006). Optimization of maltodextrin and tricalcium phosphate for producing vacuum dried mango powder. *Journal of food Properties, 9*, 13-24.

Kidmose, U., & Martens, H. J. (1999). Changes in texture, microstructure and nutritional quality of carrot slices during blanching and freezing. *Science of Food and Agriculture, 79*(12). 1747-1753.

Lambrecht H. S. (1995). *Sulfite Substitutes for the Prevention of Enzymatic Browning in Foods Enzymatic Browning and Its Prevention* (pp. 313-323). Washington, DC: American Chemical Society.

Li, Y., Brackett, R. E., Shewfelt, R. L., & Beuchat, L. R. (2001). Changes in appearance and natural microflora on iceberg lettuce treated in warm, chlorinated water and then stored at refrigeration temperature. *Food Microbiology, 18*(3), 299-308.

Lisiewska, Z., & Kmiecik, W. (1997). Effect of freezing and storage on quality factors in Hamburg and leafy parsley. *Food Chemistry, 60*(4), 633-637.

Mantle, D., Anderton, J. G., Falkous, G., Barnes, M., Jones, P., & Perry, E. K. (1998). Comparison of methods for determination of total antioxidant status: application to analysis of medicinal plant essential oils. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 121*(4), 385-391.

Moreira, M. a. d. R., Roura, S. I., Valle, d., & Carlos, E. (2003). Quality of Swiss chard produced by conventional and organic methods. *LWT - Food Science and Technology, 36*(1), 135-141.

Muftugil N. (1985). peroxidase enzyme activity of some vegetables and its resistance to heat. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 36*(9), 887-880.

Negi, P. S., & Roy, S. K. (2000). Effect of Blanching and Drying Methods on ß -Carotene, Ascorbic acid and Chlorophyll Retention of Leafy Vegetables. *LWT - Food Science and Technology, 33*(4), 295-298.

Sandler, N., Reiche, K., Heinämäki, J., & Yliruusi, J. (2010). Effect of moisture on powder flow properties of theophylline. *Pharmaceutics 2*, 275-290.

Sanphakdee. (2007). *Caffeine and Catechins Analysis Product Recovery Sanphakdee, 2007*. Retrieved from https://text-id.123dok.com/document/ky6xovk4y-caffeine-and-catechins-analysis-product-recovery-sanphakdee-2007.html

Shegokar, R., & Müller, R. H. (2010). Nanocrystals: Industrially feasible multifunctional formulation technology for poorly soluble actives. *International Journal of Pharmaceutics, 399*(1), 129-139.

Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003). Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (Moringa oleifera Lam.) leaves. *Agricultural and Food Chemistry, 51*(8), 2144-2155.

Song, J.-Y., An, G.-H., & Kim, C.-J. (2003). Color, texture, nutrient contents, and sensory values of vegetable soybeans [Glycine max (L.) Merrill] as affected by blanching. *Food Chemistry, 83*(1), 69-74.

Tran, H.T., Nguyen, H.M., Zabaras, D. and Vu, T.T.L. (2008). Process development of Gac powder by using different enzymes and drying techniques. *Journal of Food Engineering*. 85: 359-365.

Yan, H., & Barbosa, C. G. V. (2001). Density Changes in Selected Agglomerated Food Powders Due to High Hydrostatic Pressure. *LWT - Food Science and Technology, 34*(8), 495-501.

Zhou, K., & Yu, L. (2006). Total phenolic contents and antioxidant properties of commonly consumed vegetables grown in Colorado. *LWT - Food Science and Technology, 39*(10), 1155-1162.

Zou, Y., & Brusewitz, G. H. (2002). Flowability of uncompacted marigold powder as affected by moisture content. *Journal of Food Engineering, 55*, 165-171