โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การระบุสารระเหยให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ในพริกแห้งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ aroma extract dilution analysis (AEDA)

ชื่อนิสิต นางสาวกฤติน จฐูญรักษ์
นางสาวจิรภัทร เอื้อกชกร
นางสาวชุติกาญจน์ อะโน

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การระบุสารระเหยให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ในพริกแห้งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ aroma extract dilution analysis (AEDA)

โดย

นางสาวกฤติน จรูญรักษ์
นางสาวจิรภัทร เอื้อกชกร
นางสาวชุติกาญจน์ อะโน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตา งามเชื้อชิต

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประจำปีการศึกษา 2563

Identification of odor active compounds in bad-aroma dried chili using aroma extract dilution analysis (AEDA) approach

Kittin Jaroonrak
Jirapath Uakochakorn
Chutikarn Ano

Project Advisor

Asst. Prof. Panita Ngamchuachit, Ph.D

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Bachelor of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

หัวข้องานวิจัย การระบุสารระเหยให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ในพริกแห้งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ aroma extract dilution analysis (AEDA)

โดย น.ส. กฤติน จรูญรักษ์
น.ส. จิรภัทร เอื้อกชกร
น.ส. ชุติกาญจน์ อะโน

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนิตา งามเชื้อชิต

ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประจำปีการศึกษา 2563

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ขนิษฐา ธนานุวงศ์)
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนิตา งามเชื้อชิต)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย การระบุสารระเหยให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ในพริกแห้งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ aroma extract dilution analysis (AEDA)

โดย น.ส. กฤติน จรูญรักษ์
น.ส. จิรภัทร เอื้อกชกร
น.ส. ชุติกาญจน์ อะโน

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนิตา งามเชื้อชิต

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

พริกแห้งเป็นวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในขั้นตอนการปรุงอาหารหลายชนิด เนื่องจากพริกแห้งสามารถเก็บรักษาได้นานและให้กลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ อย่างไรก็ตามการเก็บพริกแห้งเป็นเวลานานนั้นก่อให้เกิดลักษณะกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในพริกแห้งได้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อระบุสารระเหยที่ให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ในพริกแห้ง โดยใช้เทคนิค solvent-assisted flavor evaporation (SAFE) ในการสกัดสารระเหย และใช้เทคนิคการวิเคราะห์สารสกัดเจือจาง (aroma extract dilution analysis, AEDA) ร่วมกับ gas chromatography-olfactometry/flame ionization detector (GC-O/FID) เพื่อระบุค่า flavor dilution (FD) factor จากผลงานวิจัยพบว่ามีสารระเหยให้กลิ่นจำนวน 16 ชนิดที่มีช่วง FD factor ตั้งแต่ 4 ถึง 1024 ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นเฉพาะตัวของพริกแห้ง โดยพบสาร dipropyl disulfide ซึ่งให้กลิ่นฉุนและกลิ่นกระเทียม (FD = 1024) สาร ethyl 3-phenylpropanoate ซึ่งให้กลิ่นผลไม้และกลิ่นอบเชย (FD = 64) สาร (Z)-4-heptenal ซึ่งให้กลิ่นหืนและกลิ่นคาวปลา (FD = 16) สาร octanal ซึ่งให้กลิ่นเขียวและกลิ่นผลไม้ตระกูลส้ม (FD = 16) สาร diallyl disulfide ซึ่งให้กลิ่นฉุน กลิ่นหืน และกลิ่นคล้ายกระเทียมสด (FD = 16) สาร 2-acetyl-2-thiazoline ซึ่งให้กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว และกลิ่นดอกไม้ (FD = 16) สาร 2-phenylethanol ซึ่งให้กลิ่นดอกไม้และกลิ่นสมุนไพร (FD = 16) และสาร unknown1 ซึ่งให้กลิ่นคล้ายน้ำส้มสายชู (FD = 16) โดยสารระเหยเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์ เช่น lipoxygenase และไม่อาศัยเอนไซม์ ได้แก่ ปฏิกิริยา lipid oxidation ปฏิกิริยา Maillard และ ปฏิกิริยา Strecker degradation

Project Title Identification of odor active compounds in bad-aroma dried chili using aroma extract dilution analysis (AEDA) approach

Student Kittin Jaroonrak
Jirapath Uakochakorn
Chutikarn Ano

Student Program Bachelor of Science in Food Technology

Advisor Asst. Prof. Panita Ngamchuachit, Ph.D

Academic 2020

ABSTRACT

Dried chili is a popular ingredient used in many cooking processes. Due to the dried chilli, it can be stored for a long time and gives a unique aroma. However, the long storage of chili peppers can produce unpleasant odor characteristics in the dried chili peppers. Objective of this research was to identify odors in dried chili peppers using solvent-assisted flavor evaporation (SAFE) technique in the extraction of volatile compounds. The analysis of dilution extracts (aroma extract dilution analysis, AEDA) was used with gas chromatography-olfactometry / flame ionization detector (GC-O / FID) to determine flavor dilution (FD) factor. According to research results, it has been found that there are 16 odors with FD factor range from 4 to 1024, which are the unique odors of dried chili. Dipropyl disulfide which gives pungent and garlic-like (FD = 1024), ethyl 3-phenylpropanoate which gives fruity and cinnamon-like (FD = 64), (Z)-4-heptenal which gives rancid and fishy odor (FD = 16), octanal which gives green and citrus-like (FD = 16), diallyl disulfide which gives pungent, rancid and fresh garlic-like (FD = 16), 2-acetyl-2-thiazoline which gives popcorn-like and floral odor (FD = 16), 2-phenylethanol which gives floral and herb-like and unknown1 which gives vinegar-like (FD = 16). These are products derived from enzymatic reactions such as lipoxygenase and non- enzymatic such as lipid oxidation reactions, Maillard reactions and Strecker degradation.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนตามหลักสูตรในระดับปริญญาตรีของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับเงินอุดหนุนจากงบประมาณของโครงการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2563 โดยมี ผศ.ดร. พนิตา งามเชื้อชิต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

คณะผู้วิจัยสามารถดำเนินโครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. พนิตา งามเชื้อชิต เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด และคำติชมต่าง ๆ ในระหว่างการดำเนินการวิจัย รวมทั้งแก้ไขตรวจทานรายงานวิจัยเล่มนี้ในสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ให้คำปรึกษา แนะนำในทุก ๆ ด้านที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิ เจ้าของตำราทุกเล่มที่ผู้ทำการวิจัยนำมาอ้างอิงประกอบในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำและช่วยอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย

ผู้ดำเนินงานวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้สามารถเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและสามรถนำไปพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์พริกอบแห้ง และงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

ด้วยความเคารพอย่างสูง
นางสาวกฤติน จรูญรักษ์
นางสาวจิรภัทร เอื้อกชกร
นางสาวชุติกาญจน์ อะโน

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตแนวคิดของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 พริกแห้ง	3
2.1.1 พริก	3
2.1.2 กระบวนการผลิตพริก	4
2.1.3 คุณลักษณะของพริกแห้ง	5
2.2 กลิ่นในอาหาร	6
2.2.1 สารระเหยให้กลิ่นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางจุลินทรีย์	6
2.2.2 สารระเหยให้กลิ่นที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์	7
2.2.3 สารระเหยให้กลิ่นที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์	8
2.3 การวิเคราะห์สารประกอบให้กลิ่น	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	10
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	10
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	10
3.2.1 ตัวอย่างพริกแห้ง	10
3.2.2 เตรียมสารตัวอย่างสำหรับสกัดสารระเหยด้วยเทคนิค solvent assisted flavor evaporation (SAFE)	10
3.2.3 การวิเคราะห์สารประกอบให้กลิ่นโดยใช้เทคนิค aroma extract dilution analysis (AEDA) ร่วมกับ gas chromatograph-olfactometry (GC-O)	11
3.2.4 การระบุองค์ประกอบของสารระเหย	11
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	12
4.1 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม carboxylic acid	13
4.2 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม alcohol	14
4.3 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม aldehyde	15
4.4 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม ester	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม ketone	18
4.6 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม sulfur	20
4.7 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม terpene	21
เอกสารอ้างอิง	24
ประวัติผู้วิจัย	41

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงสารระเหยให้กลิ่นในพริกแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี AEDA และมี FD factor ≥ 4 12

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	พริกพันธุ์ต่าง ๆ	3
2.2	กลไกของปฏิกิริยา lipid oxidation	8
2.3	Amadori rearrangement	8
2.4	Heyns rearrangement	8
4.1	กลไกการสลายตัวของกรดอะมิโน leucine	14
4.2	กลไกการเกิดปฏิกิริยา β-scission	14
4.3	กลไกการผลิตสารระเหย 2-phenylacetaldehyde และ 2-phenylethanol ในพืช	15
4.4	กลไกการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation	15
4.5	กลไกการเกิดปฏิกิริยา Maillard ของสารประกอบกลุ่ม aldehyde	16
4.6	กลไกการสลายตัวของ phenylalanine โดยอาศัยเอนไซม์	17
4.7	กลไกการสลายตัวของกรดไขมัน linolenic โดยอาศัยเอนไซม์ lipoxygenase	18
4.8	กลไกการเกิดปฏิกิริยา Maillard ที่ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบกลุ่ม ketone	19
4.9	กลไกการเกิด 2-acetyl-2-thiazoline จากสารตั้งต้น 4-deoxyosone กับ cysteamine	20
4.10	วิถี mevalonate (MVA) ภายในไซโตซอล	21
4.11	วิถี methylerythritol phosphate (MEP) ภายในพลาสติด	22
4.12	กลไกการเกิดของสาร farnesyl diphosphate ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารกลุ่ม sesquiterpene	23

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พริกเป็นหนึ่งในเครื่องเทศที่มีชื่อเสียงระดับโลกอยู่ในตระกูล Solanaceae ที่สามารถบริโภคได้ทั้งพริกสดและพริกแห้ง พริกสดมีสารอาหารมากมายรวมทั้งวิตามิน แร่ธาตุ กรดฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ สำหรับการผลิตพริกแห้งระดับครัวเรือนทำได้โดยนำพริกสดไปตากแดดเป็นเวลา 2-3 วัน สำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมักใช้เตาอบแบบหมุน (rotary dryer) และเตาอบลมร้อน (hot air dryer) เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการผลิตสั้นกว่าการผลิตในระดับครัวเรือน พริกแห้งมักถูกใช้เป็นเครื่องเทศโดยบดพริกแห้งกับเครื่องปรุงอื่น ๆ เช่น ผักชีและขมิ้นเพื่อทำผงกะหรี่ ในอุตสาหกรรมอาหารพริกถูกใช้เป็นสีและสารแต่งกลิ่นในซอส ซุป และเนื้อสัตว์แปรรูปต่าง ๆ สำหรับการประเมินคุณภาพของพริกแห้งมักใช้การประเมินจากสีและความเผ็ด อย่างไรก็ตามคุณภาพของพริกแห้งยังขึ้นอยู่กับกลิ่นที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของพริกแห้งด้วย ซึ่งสารเคมีที่ให้กลิ่นเหล่านั้นเป็นสารระเหยที่มีขนาดเล็ก (<300 Da) สามารถละลายได้ดีในน้ำมัน สารระเหยจะจับกับตัวรับกลิ่นที่อยู่ในโพรงจมูกและส่งสัญญาณต่อไปยังสมองเพื่อแปลผลเป็นกลิ่นต่าง ๆ สารระเหยให้กลิ่นสามารถเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ (enzymatic และ non-enzymatic reactions) ในระหว่างการเจริญของวัตถุดิบพืชและสัตว์ ระหว่างการแปรรูปอาหาร การหมัก และการเก็บรักษา จากงานวิจัยเกี่ยวกับสารระเหยในพริกแห้งพบกลุ่มของสารระเหยหลายชนิด ได้แก่ กรดอินทรีย์ (organic acids) แอลกอฮอล์ (alcohols) แอลดีไฮด์ (aldehydes) ฟูแรน (furans) เอสเทอร์ (esters) ไพโรล (pyrroles) คีโตน (ketones) และไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) Toontom และคณะ (2555) พบว่าสารระเหยที่พบในพริกสดและพริกแห้ง คือ กรดอะซิติกซึ่งเป็นสารประกอบหลักในพริกสดและมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังการอบแห้ง และยังพบ 5-methyl-undecane ที่ให้กลิ่นสมุนไพร และ 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-4 (4H) -pyranone ที่ให้กลิ่นคาราเมลในพริกแห้งอีกด้วย สารประกอบที่หายไปหลังจากการอบแห้งได้แก่ cyclobutylbenzene (กลิ่นหอมหวาน), 4-vinyl-2-methoxy-phenol (กลิ่นหอมคล้ายกานพลู), ฟีนอล (กลิ่นฉุนหรือคล้ายน้ำมันดิน), 2-methoxy-phenol (กลิ่นควัน), n-hexyl acetate (กลิ่นสมุนไพร), hexadecanal (กลิ่นคล้ายกระดาษแข็ง), 2-dococen-1-al (กลิ่นไม้), 2-pentyl-furan (กลิ่นหอมเขียว), hexanal (กลิ่นเขียว), hexenal (กลิ่นสมุนไพร) และ hexadecanoic (กลิ่นข้าวเหนียว)

กลิ่นของอาหารนอกจากจะบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะตัวของของอาหารชนิดนั้น ๆ แล้ว ยังสามารถใช้ประเมินคุณภาพของอาหารได้อีกด้วย แม้ว่าจะมีการศึกษาสารระเหยในพริกแห้งอย่างแพร่หลาย แต่ก็ยังไม่มีการรายงานข้อมูลของสารระเหยที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในพริกแห้ง ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของสารระเหยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากลิ่นไม่พึงประสงค์ในพริกแห้งระหว่างการเก็บรักษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูลสารให้กลิ่นไม่พึงประสงค์ในพริกแห้งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สารสกัดเจือจาง (AEDA)

1.3 ขอบเขต/กรอบแนวคิดของการวิจัย

วิเคราะห์หาสารประกอบให้กลิ่นในพริกแห้งโดยใช้เทคนิค aroma extract dilution analysis (AEDA) ร่วมกับ gas chromatography-olfactometry/flame ionization detector (GC-O/FID)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำข้อมูลสารระเหยให้กลิ่นที่ได้ไปใช้ในการการประเมินและพัฒนาคุณภาพของพริกแห้งในอุตสาหกรรมอาหารได้

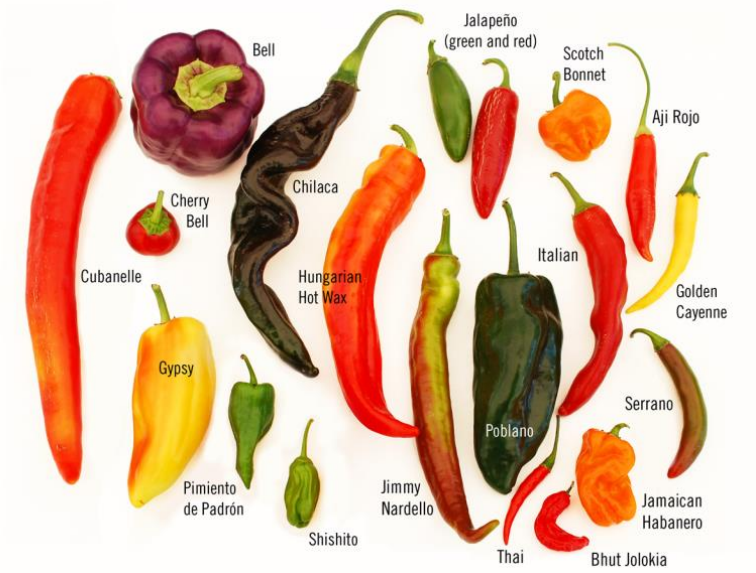
บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 พริกแห้ง

2.1.1 พริก

พริกเป็นพืชในตระกูล Solanaceae ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย และเป็นเครื่องเทศที่ถือได้ว่ามีสีสันสวยงามที่สุด พริกได้เริ่มเป็นที่รู้จักจากการเดินทางไปทวีปอเมริกาของโคลัมบัส (ค.ศ. 1492-1493) โดยเขาได้สังเกตเห็นชาวพื้นเมืองใช้ผลไม้สีแดง ซึ่งเป็นผลไม้ที่เรียกว่า Aji หรือ Axi โคลัมบัสได้นำผลไม้ชนิดนี้กลับไปยังประเทศสเปนและเรียกว่า red pepper (พริกแดง) (Govindarajan, 1985) ในภายหลังพริกได้กระจายและเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายไปทั่วทวีปเอเชีย ยุโรป และแอฟริกา โดยมีการใช้ชื่อที่แตกต่างกันตามภูมิภาคต่าง ๆ เช่น red pepper, pepper, tabasco, paprika และ cayenne (Costa et al., 2019)

พริกมีรูปร่าง สี และระดับความเผ็ดที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งพริกตามระดับความเผ็ดได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ พริกที่มีความเผ็ดน้อยหรือหวาน ได้แก่ Ruby King, California Wonder, Ancho, Simla, Kashmiri, Hungarian paprika และSpanish pimientos และพริกที่มีความเผ็ด ได้แก่ Coral gem, Cayenne, Louisiana sport, Sannam, Jwala, Mundu, Jalapeno, Chilitepins, Hontaka, Kenyan, Funtua และ Sierra Leone พริกที่มีความเผ็ดได้รับความนิยมในการปลูกมากที่สุด และมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค (Govindarajan, 1985)



ภาพที่ 2.1 พริกพันธุ์ต่าง ๆ

พริกประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิด ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร แร่ธาตุ (แคลเซียมและโพแทสเซียม) วิตามิน A, C, E ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารทั้งในรูปแบบสด แห้ง หรือผง (Litoriya et al., 2014) เป็นส่วนผสมของอาหารและยา เช่น อารยะธรรมมายาใช้พริกเพื่อรักษาบาดแผลที่ติดเชื้อและแผลไฟไหม้ (Cichewicz and Thorpe, 1996) ผลพริกเป็นแหล่งของสารประกอบพฤกษเคมีที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพหลายชนิด ได้แก่ แคโรทีโนนอยด์ (provitamin A) กรดแอสคอร์บิก (vitamin C) โทโคฟีรอล (vitamin E) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และแคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ซึ่งมีฤทธิ์ป้องกันโรคเรื้อรังได้ ได้แก่ โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน และโรคหัวใจและหลอดเลือด พริกมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ป้องกันโรคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) และมีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ ได้แก่ *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium sporogenes*, *Clostridium tetani* และ *Streptococcus pyogenes* (Cichewicz and Thorpe, 1996; El-Ghorab et al., 2012)

2.1.2 กระบวนการผลิตพริก

พริกทั้งสดและแห้งเป็นเครื่องเทศที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมากเป็นอันดับสองรองจากพริกไทยดำ (Costa et al., 2019) จากข้อมูลขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ในปี 2560 พื้นที่การผลิตพริกสดทั่วโลกอยู่ที่ 1,987,059 เฮกตาร์โดยมีปริมาณการผลิต 36,092,631 ตัน ซึ่งจีนเป็นผู้ผลิตพริกสดรายใหญ่ที่สุดตามด้วยเม็กซิโกและตุรกี ในทางกลับกันพื้นที่การผลิตพริกแห้งทั่วโลก คือ 1,856,641 เฮกตาร์โดยมีการผลิต 4,625,833 ตัน ซึ่งอินเดียมีการผลิตพริกแห้งมากที่สุดตามมาด้วยจีนและไทย

กระบวนการผลิตพริกเริ่มตั้งแต่การเพาะปลูก เช่น การเตรียมพื้นที่และการย้ายต้นกล้า และมีการจัดการเพื่อป้องกันโรคในพืช และพร้อมเก็บเกี่ยวผลพริกได้ภายใน 75 วันหลังการเพาะปลูก โดยขึ้นอยู่กับพันธุ์ของพริกและฤดูกาล พริกที่พร้อมเก็บเกี่ยวจะมีลักษณะเนื้อแน่น ผิวเป็นมัน สีของพริกขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในการเก็บเกี่ยวพริกต้องทำอย่างระมัดระวัง ทั้งในขณะเด็ดพริก และการเคลื่อนย้ายเพื่อไม่ให้ผลพริกช้ำ สำหรับพริกสดควรล้างเพื่อกำจัดทรายและสิ่งสกปรก ก่อนผึ่งลมให้แห้งก่อนบรรจุและจำหน่ายสู่ตลาด (Govindarajan, 1985)

พริกสดนั้นเน่าเสียง่ายเนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 75-80 ของน้ำหนักเปียกภายหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้นการแปรรูปและการเก็บรักษาพริกจึงมีความสำคัญในการรักษาคุณภาพ กระบวนการอบแห้งมีความสำคัญในการถนอมอาหารเนื่องจากสามารถลดปริมาณความชื้น เพื่อทำให้สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์และการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ และยืดอายุการเก็บรักษาได้ การตากพริกโดยทั่วไปมักทำโดยตากแดดทันทีภายหลังการเก็บเกี่ยว การตากแดดเป็นวิธีการอบแห้งที่ใช้กันมากที่สุดในทวีปเอเชีย แอฟริกา อเมริกากลาง และอเมริกาใต้ เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ (Kaleemullah and Kailappan, 2005; Montoya-Ballesteros et al., 2014) ในการตากแดด ผลพริกจะถูกวางลงบนพื้นและพลิกกลับหลาย ๆ ครั้ง กระบวนการนี้ใช้เวลาประมาณ 15-20 วันเพื่อลดความชื้นให้เหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10-15 (น้ำหนักเปียก) เวลาในการอบแห้งสามารถลดลง

เหลือ 1 สัปดาห์ด้วย pretreatment ก่อนนำพริกตากแดด เช่น การทิ่มและการลวกพริกในสารละลายด่าง ทำให้สามารถรักษาคุณภาพของพริกได้อีกด้วย (Santos et al., 2008)

การอบด้วยควันไม้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในบางประเทศ เช่น สเปนและเม็กซิโก โดยใช้ความร้อนและควันจากไม้โอ๊คในการอบพริก โดยใช้เวลาประมาณ 8-14 วัน พริกแห้งที่ได้จะมีสีเข้มขึ้นและมีกลิ่นรมควัน (Santos et al., 2008) มีการวิจัยรายงานว่าการอบแห้งด้วยควันสามารถช่วยเพิ่มปริมาณฟลาโวนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระได้ โดยพบสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์รวมกันมากกว่าพริกสดถึง 10 เท่า อย่างไรก็ตามปริมาณแคปไซซินอยด์มีปริมาณลดลงเนื่องจากอุณหภูมิสูง (Vera-Guzmán et al., 2017)

กระบวนการอบแห้งที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมมักทำภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นได้ ซึ่งอาจทำได้หลายวิธี ได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งแบบเยือกแข็ง การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ แม้จะมีต้นทุนด้านพลังงานที่สูง แต่การอบแห้งช่วยรักษาคุณภาพของพริกแห้งและลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ (Santos et al., 2008)

การบรรจุและการเก็บรักษาเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่สำคัญของการผลิตพริก Amjad และคณะ (2010) รายงานว่าพริกสดที่บรรจุในถุงพลาสติก polyethylene สามารถรักษาปริมาณวิตามินซีไว้ได้ตลอด 20 วันของการเก็บรักษา Chetti และคณะ (2014) ใช้บรรจุภัณฑ์สุญญากาศบรรจุพริกสดได้เป็นเวลาถึง 24 เดือน ซึ่งสามารถเก็บรักษาผลพริกให้มีคุณภาพทั้งสีและปริมาณแคปไซซิน (capsicin) ได้สูงกว่าพริกที่บรรจุในถุงปอกระเจา

2.1.3 คุณลักษณะของพริกแห้ง

ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 3001-2553) พริกที่สุกเต็มที่เมื่อผ่านการอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือพริกขี้หนูแห้ง (ได้แก่ พริกกะเหรี่ยง พริกขี้หนูสวน พริกจินดา พริกหัวเรือ พริกห้วยสีทน และพริกยอดสน) และพริกแห้งผลใหญ่ (ได้แก่ พริกบางช้าง พริกหยวก และพริกมัน) นอกจากนี้ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับพริกแห้ง คือพริกต้องไม่มีกลิ่นอับหรือกลิ่นแปลกปลอม พริกแห้งในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องเป็นชนิดเดียวกัน ไม่มีศัตรูพืชหรือชิ้นส่วนของศัตรูพืช ไม่เน่าเสียจนทำให้ไม่เหมาะต่อการบริโภค ไม่เห็นเส้นใยรา เมื่อมองด้วยตาเปล่า ความชื้นไม่เกินร้อยละ 13.5 ไม่มีการแต่งสี

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพพริกแห้ง ได้แก่ วิธีการอบแห้ง การบรรจุหีบห่อ และการเตรียมพริก Kaleemullah และ Kailappan (2005) อบแห้งพริกด้วยเตาอบแบบหมุน (rotary) ที่อุณหภูมิลมร้อนต่างกันที่ 50, 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส เพื่ออบพริกแห้งที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 76 ของน้ำหนักเปียก จนถึงจนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 9.5 โดยพบว่าอุณหภูมิลมร้อนที่ 55 องศาเซลเซียสให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากเวลาในการอบแห้ง คุณภาพของพริกแห้ง ได้แก่ สีแดงและปริมาณแคปไซซิน Toontom และคณะ (2012) อบพริกแห้งด้วยวิธี การอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งแบบเยือกแข็ง และการตากแดด และประเมินคุณภาพด้านต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น สี ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ปริมาณแคปไซซิน และกลิ่นรสในพริกชี้ฟ้าแห้ง จากผลการวิจัย

พบว่า พริกชี้ฟ้าแห้งมีสีแดงสดและมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกในปริมาณสูง เมื่อเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตามวิธีการอบแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความชื้นและปริมาณกรดแอสคอร์บิก พริกชี้ฟ้าแห้งมีกลิ่นเขียวและกลิ่นฉุน พริกแห้งมีกลิ่นพริกเขียว กลิ่นหวาน และกลิ่นเผ็ดร้อน และยังพบกลิ่นคล้ายแอลกอฮอล์เฉพาะในพริกที่ตากแดดเนื่องจากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในระหว่างการอบแห้ง

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถทำให้เกิดสีน้ำตาลได้ จากทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยที่อาศัยเอนไซม์ (enzymatic oxidation) และไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymatic oxidation) การปรับสภาพก่อนการอบแห้ง เช่น การลวกและวิธีทางเคมีสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเหล่านี้ได้ Chaethong และคณะ (2012) พบว่าการแช่พริกจินดาสดในโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (potassium metabisulfite) ที่ความเข้มข้นต่างกันก่อนทำให้แห้ง ก่อนอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมงเพื่อให้ได้พริกแห้งและพริกป่น การแช่โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นเวลา 30 นาทีสามารถป้องกันไม่ให้พริกแห้งเป็นสีน้ำตาลในระหว่างการลวกและการทำให้แห้งได้

Al-Sebaeai และคณะ (2017) ศึกษาคุณภาพของพริกป่นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 และ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน ของพริกป่นที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แบบลมร้อน และแบบตากแดด เมื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดโพลีเอทิลีนสูง และฟอยล์แบบยืดหยุ่น พบว่าพริกแห้งที่อบแห้งแบบแช่เยือกแข็งบรรจุในถุงฟอยล์แบบยืดหยุ่น และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาวิตามินซีได้ดีที่สุด

2.2 กลิ่นในอาหาร

นอกจากคุณภาพอาหารที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางเคมีกายภาพแล้ว กลิ่นยังเป็นสมบัติที่สำคัญที่บ่งบอกคุณภาพอาหารด้วย ซึ่งนอกจากจะแสดงลักษณะเฉพาะของอาหารเพียงแล้ว กลิ่นยังเป็นตัวบ่งชี้การเน่าเสียหรือเสื่อมสภาพของอาหารได้อีกด้วย กลิ่นสามารถเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น กระบวนการทางจุลินทรีย์ (การหมัก), ปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์ และปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (เช่น lipid oxidation, Maillard reaction, Strecker degradation) สารระเหยที่เกิดขึ้นสามารถจับกับระบบประสาทรับกลิ่นในโพรงจมูก และส่งสัญญาณไปยังสมองเพื่อแปลผลเป็นกลิ่นของอาหารชนิดนั้น ๆ (Belitz et al., 2009)

2.2.1 สารระเหยให้กลิ่นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางจุลินทรีย์

จุลินทรีย์มีบทบาทอย่างมากต่อกลิ่นในอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น ไวน์, น้ำส้มสายชู, เบียร์, ผักดอง, นม และเนื้อสัตว์ ปัจจุบันมีการใช้จุลินทรีย์ในการผลิตสารประกอบให้กลิ่นรส วัตถุเจือปนอาหาร หรือใช้กระบวนการหมักอาหารและเครื่องดื่ม ยีสต์ใช้ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ เพื่อสร้างสารประกอบแอลกอฮอล์เชิงซ้อนและแอลกอฮอล์สายยาว เช่น 2-phenylethanol เป็นสารระเหยกลุ่มแอลกอฮอล์ที่ให้กลิ่นที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยสามารถสังเคราะห์จากการปิโตรเคมีต่าง ๆ (เช่น toluene, benzene, styrene) สามารถสกัดจากกลีบกุหลาบ (Nomura et al., 2001) methylphenylacetate หรือจากการเปลี่ยนทางชีวภาพของ 2-phenylalanine โดยยีสต์สายพันธุ์

ต่าง ๆ เช่น *Hansenula anomala*, *Kluyveromyces marxianus* หรือ *Saccharomyces cerevisiae* (Fabre et al., 1998; Stark et al., 2002)

สาระเหยกลุ่มester ส่วนใหญ่จัดเป็นสารให้กลิ่นคล้ายผลไม้ และใช้เป็นสารแต่งกลิ่นรสผลไม้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ไวน์และผลิตภัณฑ์นม สารระเหยกลุ่ม acetate esters เช่น ethyl acetate, hexyl acetate, isoamyl acetate และ 2-phenyethyl acetate ได้รับการยอมรับว่าเป็นสารระเหยให้กลิ่นที่สำคัญในไวน์ (Rojas et al., 2001) และเมื่อได้ทำการตรวจสอบใหม่พบว่า ยีสต์สายพันธุ์ *Hanseniaspora guilliermondii* และ *Pichia anomala* สามารถสร้างสารระเหยให้กลิ่นได้ เช่น ethyl acetate, geranyl acetate, isoamyl acetate และ 2-phenylethyl acetate

สารระเหยกลุ่มterpene เป็นสารระเหยที่ประกอบด้วยหน่วยของ isoprene ทั้งในรูปแบบวงปิด, สายยาว, อิ่มตัว และไม่อิ่มตัวได้ เช่น linalool, nerol, geraniol และ citronellol เป็นสารระเหยให้กลิ่นสำคัญ เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ (odor threshold) ต่ำ ซึ่งสามารถผลิตได้จากรา ascomycetes และ basidiomycetes สามารถผลิต นอกจากนี้ยังพบสาร citronellol และ geraniol จากกระบวนการหมักด้วย *Ceratocystis moniliformis* (Longo and Sanroman, 2006) อีกด้วย

จากงานวิจัยเกี่ยวกับสารระเหยให้กลิ่นในธัญพืชผงเปียก พบว่า *Aspergillus flavus* สามารถสร้าง oct-1-en-3-ol และ *cis*-2-octen-1-ol ซึ่งสามารถให้กลิ่นอับชื้น (Kaminski et al., 1972) และมีรายงานเกี่ยวกับการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำมันมะกอกว่าพบเอนไซม์ hydroperoxide lyases ที่เกิดจากเชื้อรา *Aspergillus* และ *Penicillium* ซึ่งสามารถย่อย linoleic acid hydroperoxide ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอน 8 อะตอมที่เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งให้กลิ่นคล้ายดินหรือเห็ด (Angerosa et al., 1999) อีกด้วย

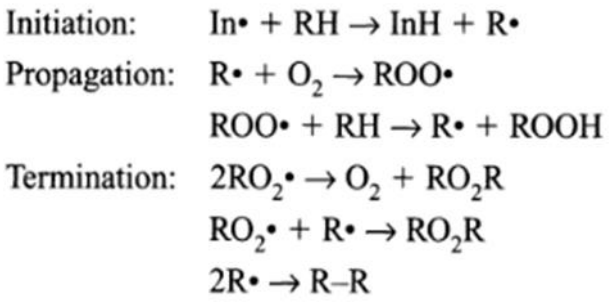
2.2.2 สารระเหยให้กลิ่นที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์

สารระเหยกลุ่มester สามารถเกิดได้จากปฏิกิริยา esterification หรือ transesterification ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์กลุ่ม lipolytic โดยการผลิตสารให้กลิ่นแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับการเกิดอิแนนทิโอเมอร์จำเพาะ (enantiomeric selectivity) เช่น สารที่ให้กลิ่นผลไม้ (แอปเปิล และสตรอว์เบอร์รี) ซึ่งเป็นสารระเหยที่ได้จาก (S)-form ของ 2-methylbutanoic acid methyl ester ซึ่งผลิตได้จากเอนไซม์ lipase จาก *Rhizomucor miehei*, *Aspergillus niger* และ *Aspergillus javanicus* (Kwon et al., 2000)

เอนไซม์ glucosidases สามารถสร้างสารระเหยให้กลิ่นได้โดยการปลดปล่อยพันธะ glycosidic ได้เป็นสารระเหยกลุ่ม terpene ซึ่งการเกิดสารระเหยนี้อาจควบคุมได้โดยการให้ความร้อน มีการใช้เอนไซม์ β-glucosidases ในการเพิ่มกลิ่นในไวน์ด้วยการตัดพันธะ glycosidic ของสารระเหยกลุ่ม terpene ด้วยเอนไซม์จาก *Vitis, Saccharomyces, Oenococcus, Aspergillus* และ *Candida* (Longo and Sanroman, 2006)

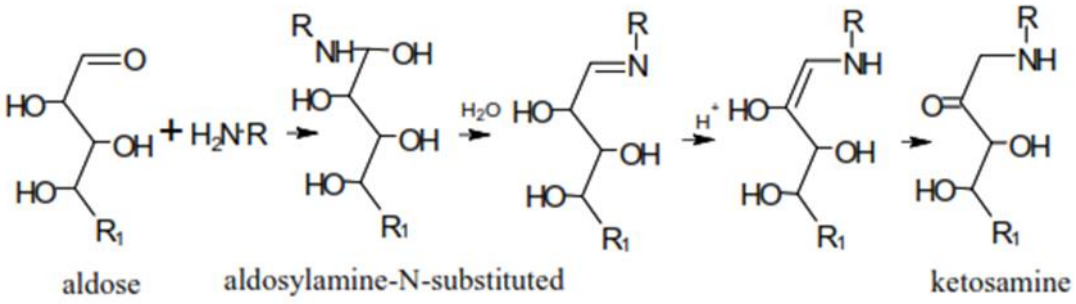
2.2.3 สารระเหยให้กลิ่นที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่ไม่อาศัยเอนไซม์

ปฏิกิริยา lipid oxidation เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร หรือระหว่างการจัดเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร โดยแบ่งช่วงของปฏิกิริยานี้เป็น 3 ช่วงคือ initiation, propagation และ termination

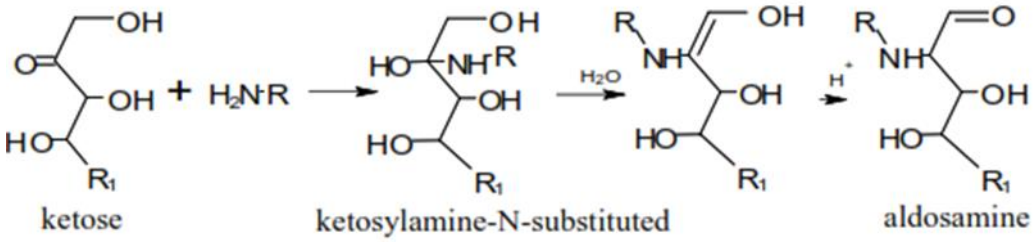


ภาพที่ 2.2 กลไกของปฏิกิริยา lipid oxidation

ปฏิกิริยา Maillard สามารถสร้างสารประกอบให้กลิ่นได้ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกรดอะมิโนอิสระกับน้ำตาลหมู่รีดิวซ์กลุ่มคาร์บอนิล ถ้าหมู่ของน้ำตาลรีดิวซ์คือ aldehyde จะทำให้เกิดสารตัวกลางเป็นรูปแบบ Amadori แต่ถ้าหากหมู่ของน้ำตาลรีดิวซ์คือ ketone จะทำให้เกิดสารตัวกลางเป็นรูปแบบ Heyns (Resconi et al., 2013)



ภาพที่ 2.3 Amadori rearrangement



ภาพที่ 2.4 Heyns rearrangement

หลังจากปฏิกิริยาการสลายตัวของสารประกอบ Amadori และ Heyns ทำให้เกิดกระบวนการ dehydration และ deamination และสร้างสารประกอบ carbonyl จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับ Strecker aldehyde (Resconi et al., 2013)

Toontom และคณะ (2012) รายงานสารระเหยให้กลิ่นในพริกแห้งจากการอบแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying), แบบลมร้อน (hot air drying) และตากแดด (sun drying) ว่าพบ 2-methyl-tridecane (กลิ่นคล้าย wax), 2,3-butanediol (กลิ่นคล้ายหอมใหญ่), dihydro-2(3H)-furanone (กลิ่นคล้ายครีม), 1-methyl-1H-pyrrole (กลิ่นคล้ายสมุนไพร), tetramethylpyrazine (กลิ่นคล้ายถั่ว) และ 2-methyl-propanoic acid ในตัวอย่างพริกที่ทำแห้งด้วยแสงแดด และมีความเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยา Strecker degradation ทำให้เกิด 2-methyl-propanoic นอกจากนี้สาร 2-methyl-butyric acid (กลิ่นคล้ายชีส) ที่พบในตัวอย่างพริกที่ทำแห้งด้วยความร้อน ซึ่ง 2-methyl-propanoic อาจจะเกิดจากปฏิกิริยา Strecker degradation และ 2-acetyl pyrrole และ furfural อาจเกิดจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งพบสารเหล่านี้พบในตัวอย่างพริกที่อบแห้งแบบเยือกแข็งและการแบบลมร้อน

2.3 การวิเคราะห์สารประกอบให้กลิ่น

Steinhaus และคณะ (2015) ได้ศึกษาสารให้กลิ่นโดยการใช้เทคนิคการสกัด solvent assisted flavor evaporation (SAFE) ร่วมกับการวิเคราะห์สารระเหยด้วย gas chromatography – olfactometry/flame ionization detector (GC-O/FID) และ ระบุชนิดของสารระเหยด้วย gas chromatography – mass spectrometry (GC-MS) โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์สารระเหยด้วย GC-O/FID นั้นเมื่อผู้ทดสอบที่มีความเชี่ยวชาญสามารถดมกลิ่นสารระเหยจากสารสกัดตัวอย่างจนได้ profile ที่แน่นอนแล้ว จะทำการทดสอบ aroma extract dilution analysis (AEDA) โดยการดมสารสกัดที่ถูกนำมาเจือจางในอัตราส่วน 1:2, 1:4, 1:8, 1:16 และเจือจางเรื่อยไปจนผู้ทดสอบไม่ได้กลิ่นสารระเหยใด ๆ จากการดมที่ sniffing port ของ GC-O/FID และทำการบันทึกค่า flavor dilution factor (หรือ FD factor) ของสารให้กลิ่นแต่ละตัว หลังจากนั้นจึงนำสารสกัดตัวอย่างไปวิเคราะห์ชนิดของสารระเหยให้กลิ่นด้วย GC-MS ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่ทำให้สามารถระบุชนิดของสารระเหยให้กลิ่นได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

สารเคมี

- แอลเคน (N-alkane) คาร์บอนอะตอม 8 ถึง 40
- dichloromethane
- ไนโตรเจนเหลว
- Na_2SO_4

อุปกรณ์

- เครื่อง gas chromatograph-olfactometry (GC-O)
- เครื่อง Cryomill
- ไมโครปิเปต (micropipette)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 ตัวอย่างพริกแห้ง

ตัวอย่างพริกแห้งเป็นพันธุ์จินดา นำมาตากแดดและที่เก็บรักษาในถุงปอกระเจาเป็นระยะเวลา 0 เดือนกับ 12 เดือน โดยการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และเก็บตัวอย่างพริกแห้งในเมื่อได้รับตัวอย่างจากโรงงาน ทำการบรรจุตัวอย่างพริกแห้งดังกล่าวในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์แบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ ค่า water activity เริ่มต้นของตัวอย่างพริกแห้งคือ 0.57-0.61

3.2.2 เตรียมสารตัวอย่างสำหรับสกัดสารระเหยด้วยเทคนิค solvent assisted flavor evaporation (SAFE)

1. นำพริกแห้ง 100 กรัม จุ่มลงในไนโตรเจนเหลวและบดในเครื่อง Cryomill ได้เป็นผงพริกแห้ง

2. นำผงพริกแห้งไปผสม dichloromethane ในอัตราส่วน 1:2 (v/v) เพื่อสกัดสารประกอบให้กลิ่น

3. ทำการสกัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วเติม Na_2SO_4 เพื่อดูดน้ำออก

4. นำสารสารสกัดที่ได้ปริมาตรรวม 500 มิลลิลิตรไประเหยด้วยเทคนิค solvent assisted flavor evaporation (SAFE) (Engel, Bahr and Schieberle, 1999) จะได้สารสกัดที่มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร

5. นำสารสกัดที่ได้มาทำให้เข้มข้นขึ้นด้วย Vigreux และ microdistillation ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนมีปริมาตรสุดท้ายที่ 1 มิลลิลิตร

3.2.3 การวิเคราะห์สารประกอบให้กลิ่นโดยใช้เทคนิค aroma extract dilution analysis (AEDA) ร่วมกับ gas chromatograph-olfactometry (GC-O)

วิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยโดยใช้ GC-O อุปกรณ์ดมกลิ่นที่ใช้สำหรับการตรวจวัด (olfactory detection port: ODP) ที่มีอุณหภูมิคงที่ 200 องศาเซลเซียส และมีการลำเลียงอากาศที่มีความชื้นเข้าไปใน GC-O เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ดมกลิ่น (nasal mucosa) เกิดการแห้ง โดยนำสารที่สกัดได้มาเจือจางแล้วฉีดใส่ขวด headspace ปริมาตร 2 ไมโครลิตร แล้วฉีดไปที่ pre-column ชนิดเย็นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อถึงแคปิลารีชนิด DB-FFAP (30 เมตร, 0.32 มิลลิเมตร, ความหนาฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร) ปลายแคปิลารีจะแยกไปที่ flame ionization detector (FID) กับ sniffing port ในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งถูกคงไว้ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยให้ผู้ทดสอบดมสารระเหยที่เคลื่อนที่ออกมาจาก sniffing port จัดทำ FD factor แล้วดำเนินการซ้ำไปเรื่อย ๆ จนเครื่อง GC-O ไม่สามารถตรวจพบสารให้กลิ่น โดยผู้ทดสอบจะสุ่มลำดับการดมไม่เรียงลำดับการเจือจางแล้วเปรียบเทียบค่า RI ของสารให้กลิ่นกับข้อมูลอ้างอิงเพื่อระบุชนิดของสารให้กลิ่น แล้วรายงานค่า FD factor ของสารแต่ละชนิดซึ่งเป็นระดับที่เจือจางที่สุดผู้ทดสอบยังคงได้กลิ่น

3.2.4 การระบุองค์ประกอบของสารระเหย

การระบุองค์ประกอบของสารระเหยโดยใช้ retention index (RI) และกลิ่น โดยจะเปรียบเทียบ retention index กับข้อมูลอ้างอิงที่ได้รับจากจากห้องสมุด Leibniz-LSB (Leibniz-Institute for Food Systems Biology at the Technical University of Munich, Germany) โดยกลิ่นจะใช้เป็นผู้ที่ผ่านการฝึกฝน (panelist) ดมจากเครื่อง GC-O และจับคู่กลิ่นกับสารประกอบ สำหรับ RI ของสารประกอบคำนวณจากวิธี Kovats โดยการฉีด n-alkanes (C8 – C40) ภายใต้โครมาโตกราฟีเดียวกันและคำนวณโดยใช้ (1):

$$\mathrm{RI} = 100\,(\mathrm{n}) + 100 \times \left[\frac{\mathrm{t}-\mathrm{t_n}}{\mathrm{t_{n+1}}-\mathrm{t_n}}\right] \qquad (1)$$

โดย t คือ retention time ของสารประกอบ

n คือ เลขอะตอมของสารแอลเคนที่แยกออกมาก่อนสารประกอบ

t_n คือ retention time ของสารแอลเคนที่แยกออกมาก่อนสารประกอบ

t_{n+1} คือ retention time ของสารแอลเคนที่แยกออกมาหลังสารประกอบ

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างพริกแห้งป่นที่ใช้ในการสกัดสารระเหยให้กลิ่นในพริกแห้งคือพริกแห้งที่มีการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน โดยทำการสกัดด้วยวิธี solvent-assisted flavor evaporation (SAFE) และวิเคราะห์หาสารให้กลิ่น (aroma-active compounds) ด้วยวิธี aroma extract dilution analysis (AEDA) จากการวิจัยพบว่ามีสารระเหยทั้งหมดจำนวน 62 ชนิด แต่มีสารระเหยที่เป็นสารให้กลิ่นที่เป็น aroma-active compounds เพียง 16 ชนิด ซึ่งมีค่า FD factor ระหว่าง 4 ถึง 1024 ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นเฉพาะตัวของพริกแห้ง โดยสารทั้ง 16 ชนิด สามารถแบ่งออกเป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม ester, กลุ่ม alcohol, กลุ่ม sulfur, กลุ่ม carboxylic acid, กลุ่ม ketone, กลุ่ม aldehyde และกลุ่ม terpene (ดังแสดงในตารางที่ 4.1) สารระเหยให้กลิ่นที่ดีในพริกแห้งที่วิเคราะห์ได้ มี 5 ชนิด ได้แก่ 2-phenylethanol, ethyl 3-phenylpropanoate, ethyl 2-phenylpropanoate, hexyl 3-methylbutanoate และ *trans*-calamenene และสารระเหยให้กลิ่นที่ไม่ดีอีก 11 ชนิด ได้แก่ octanal, *cis*-4-heptenal, 1-Hepten-3-one, 4-methyl-1-octen-3-one, 3-hydroxy-2-butanone, butanoic acid, 3-methylbutanoic acid, dipropyl disulfide, diallyl disulfide, 2-acetyl-2-thiazoline และ สาร unknown1

ตารางที่ 4.1 แสดงสารระเหยให้กลิ่นในพริกแห้งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี AEDA และมี FD factor ≥ 4

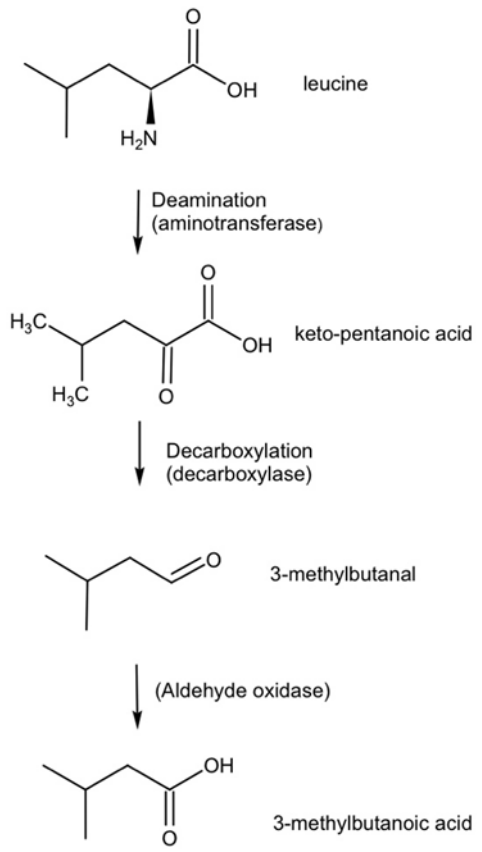
No.	Group	Odorant	Odor	RI (FFAP)	FD factor
1	Acid	butanoic acid	cheesy	1617	8
		3-methylbutanoic acid	dried fruit, herb	1670	8
2	Alcohol	2-phenylethanol	floral, herb	1932	16
3	Aldehyde	(Z)-4-heptenal	rancid, fishy, fatty	1235	16
		octanal	citrus-like, green	1282	16
4	Ester	hexyl 3-methylbutanoate	fruity, green	1429	4
		ethyl 2-phenylpropanoate	fruity	1852	8
		ethyl 3-phenylpropanoate	cinnamon-like, fruity	1888	64
5	Ketone	1-hepten-3-one	pandan leaf	1201	8
		4-methyl-1-octen-3-one	green, musty	1292	8
		3-hydroxy-2-butanone	creamy	1429	4
6	Sulfur	dipropyl disulfide	sulfurous, garlic	1372	1024
		diallyl disulfide	pungent, fresh garlic, rancid	1476	16
		2-acetyl-2-thiazoline	popcorn, floral	1768	16
7	Terpene	trans-calamenene	herb, clove-like, herbaceous	1812	4
8	Unknown	unknown1	vinegar-like	1306	16

สารระเหยให้กลิ่นที่ดีในพริกแห้ง คือ กลุ่มester, กลุ่มalcohol, และกลุ่มterpene โดยลักษณะของกลิ่นดีที่ปรากฏในกลุ่มesterให้กลิ่นเหมือนผลไม้ ได้แก่ ethyl 3-phenylpropanoate, ethyl 2-phenylpropanoate และ hexyl 3-methylbutanoate ส่วนสารระเหยกลุ่ม alcohol ให้กลิ่นเหมือนดอกไม้และสมุนไพร ได้แก่ 2-phenylethanol และสุดท้ายเป็นสารระเหยกลุ่ม terpene ให้กลิ่นเหมือนสมุนไพร เช่น กานพลู ได้แก่ *trans*-calamenene ส่วนสารระเหยให้กลิ่นที่ไม่ดี คือ สารระเหยกลุ่ม ketone ได้แก่ 1-hepten-3-one, 4-methyl-1-octen-3-one และ 3-hydroxy-2-butanone ซึ่งให้กลิ่นเหมือนใบเตย เหม็นอับและครีมตามลำดับ ต่อมาคือกลุ่มของสารระเหยที่มี sulfur เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ dipropyl disulfide ซึ่งเป็นสารที่มี FD factor สูงที่สุด, diallyl disulfide และ 2-acetyl-2-thiazoline ซึ่งสารกลุ่มนี้ให้ลักษณะกลิ่นเหมือนกระเทียม ฉุน แสบจมูก และ กลิ่นคล้ายข้าวโพดคั่ว ซึ่งสารระเหยให้กลิ่นทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถเกิดจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์และไม่อาศัยเอนไซม์ ได้แก่ ปฏิกิริยา lipid oxidation ปฏิกิริยา Maillard และ ปฏิกิริยา Strecker degradation

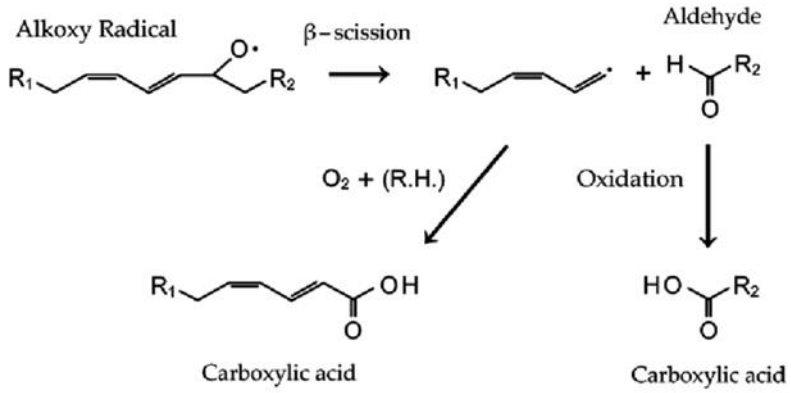
โดยทั่วไปสารระเหยให้กลิ่นในกลุ่มกรด carboxylic และ ketone มาจากปฏิกิริยา lipid oxidation และปฏิกิริยา Maillard นอกจากนี้สารระเหยกลุ่ม ketone บางชนิดยังสามารถเกิดได้จากการสลายตัวของ carotenoids (Jun et al., 2005). มีงานวิจัยรายงานว่าในสภาวะที่มีความร้อนหรือกระบวนการให้ความร้อนจะช่วยเพิ่มปริมาณ Strecker aldehydes ในพริกขี้หนูและเครื่องเทศ นอกจากนี้การสลายตัวของกรดอะมิโนของ Strecker ยังมีความสำคัญต่อการสร้างสารระเหยให้กลิ่นในอาหารหลายชนิด เช่น alcohol, acetaldehyde, organic acid, ester, และสารระเหยอื่น ๆ (Adamiec, Cejpek, Rössner and Velišek, 2001)

4.1 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม carboxylic acid

สารระเหยให้กลิ่นในกลุ่ม carboxylic acid จากพริกแห้งในงานวิจัยนี้ คือ butanoic acid และ 3-methylbutanoic acid สำหรับ 3-methylbutanoic acid เป็นผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของกรดอะมิโน leucine โดยอาศัยเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนแรกกำจัดหมู่อะมิโนของ leucine ออกด้วยเอนไซม์ aminotransferase ได้ ∝-keto-isopentanoic acid จากนั้นกำจัดหมู่carboxyl ด้วยเอนไซม์ decarboxylase ได้เป็น 3-methylbutanal และในขั้นตอนสุดท้ายหมู่แอลดีไฮด์ถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์ aldehyde oxidase ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ 3-methyl butanoic acid แสดงดังภาพที่ 4.1 (Siegmund, 2014) ส่วน butanoic acid เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากปฏิกิริยา Maillard (Aragon et al., 2005; Rotsatchakul, Chaiseri and Cadwallader, 2008) หรืออาจเกิดจากสารกลุ่ม aldehyde ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา β-scission ถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ได้สารกลุ่ม carboxylic acid แสดงดังภาพที่ 4.2 นอกจากนี้ butanoic acid อาจเกิดจากผลกระทบทางความร้อน เร่งให้เกิดปฏิกิริยา Maillard โดยมักพบในเครื่องเทศ (Aragon et al., 2005; Rotsatchakul, Chaiseri and Cadwallader, 2008)



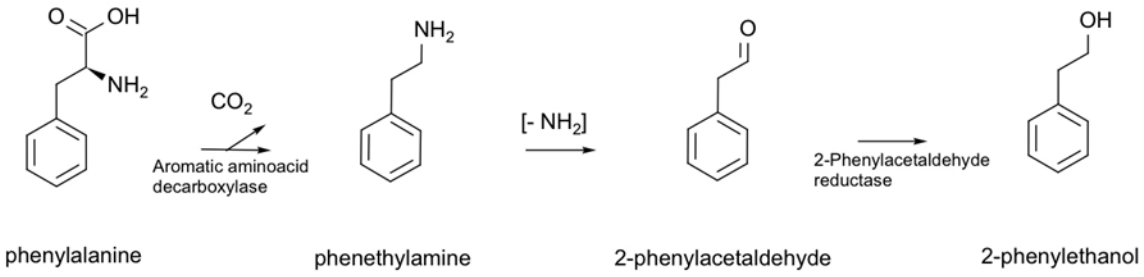
ภาพที่ 4.1 กลไกการสลายตัวของกรดอะมิโน leucine ที่มา: Siegmund. (2014)



ภาพที่ 4.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยา β-scission ที่มา: Turner-Walker. (2012)

4.2 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม alcohol

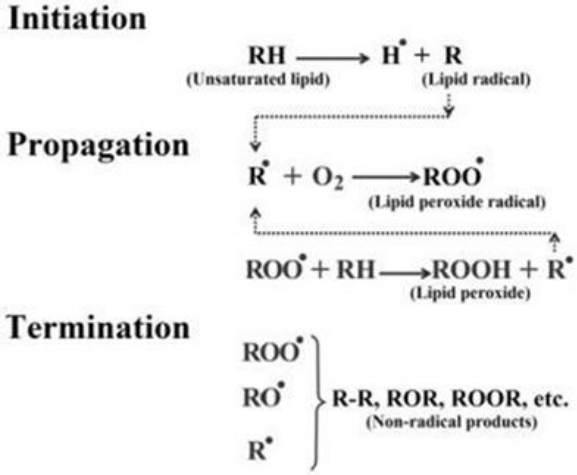
สารระเหยให้กลิ่นในกลุ่ม alcohol จากพริกแห้งในงานวิจัยนี้ คือ สาร 2-phenylethanol ซึ่งมีสารตั้งต้นเป็นกรดอะมิโน phenylalanine โดยจะถูกกำจัดหมู่ carboxyl ออกโดยเอนไซม์ aromatic amino acid decarboxylase ได้เป็น phenethylamine และกำจัดหมู่อะมิโนออกได้เป็น 2-phenylacetaldehyde จากนั้นใช้เอนไซม์ 2-phenylacetaldehyde reductase ได้เป็น 2-phenylethanol แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กลไกการผลิตสารระเหย 2-phenylacetaldehyde และ 2-phenylethanol ในพืช ที่มา: Tieman et al. (2006)

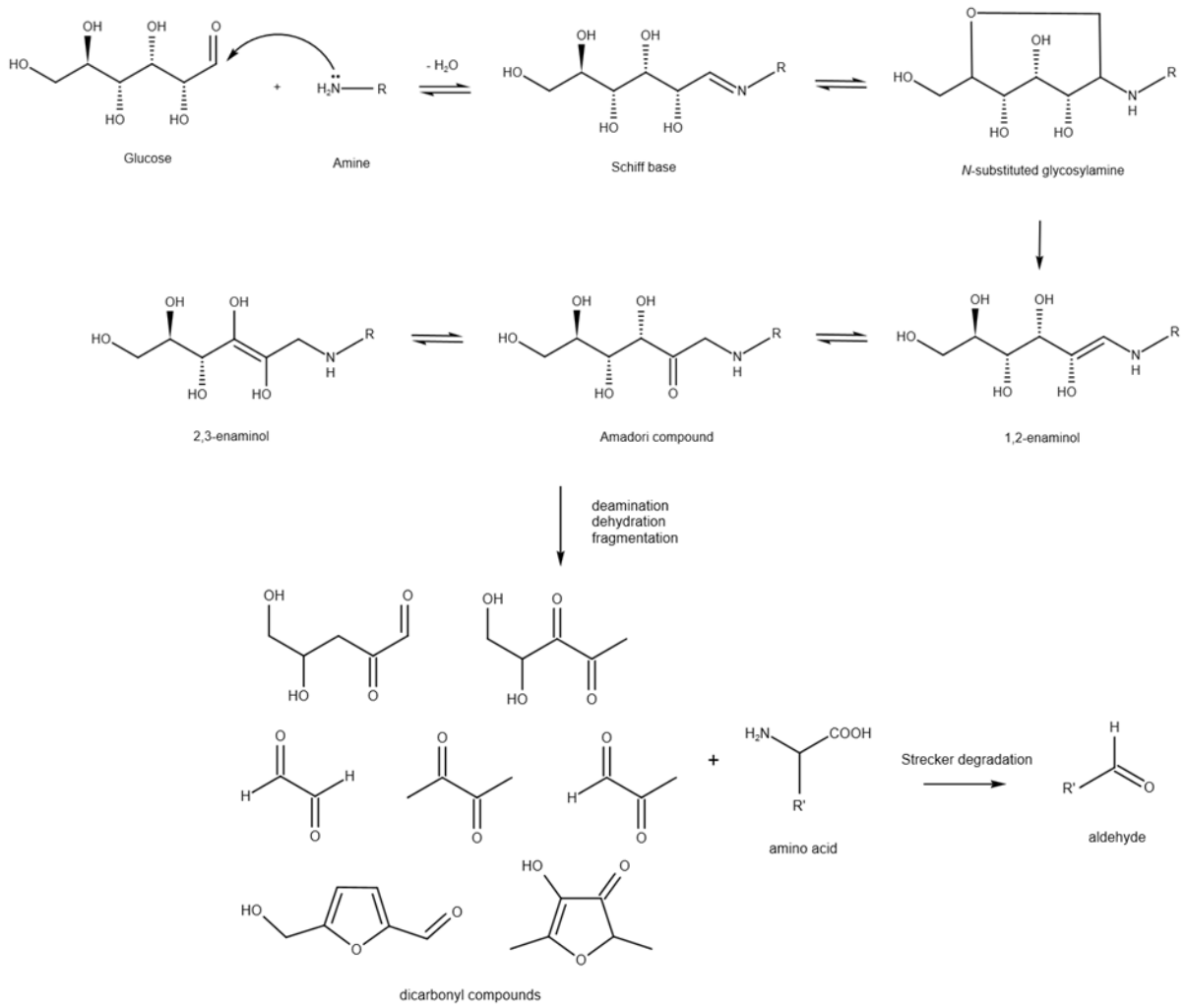
4.3 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม aldehyde

สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม aldehyde จากพริกแห้งในงานวิจัยนี้ คือ *cis*-4-heptenal และ octanal จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่พริกแล้ว สามารถพบสาร *cis*-4-heptenal และ octanal จากการสลายตัวของกรดไขมัน oleic (David and Susan, 1992) ซึ่งสารดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา lipid oxidation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา โดยแบ่งช่วงของปฏิกิริยานี้เป็น 3 ช่วง คือ initiation, propagation และ termination แสดงดังภาพที่ 4.4 สารทั้ง 2 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่มาจากปฏิกิริยา β-scission ของ alkoxy radical($RO^{\bullet}$) แสดงดังภาพที่ 4.2 โดย alkoxy radical($RO^{\bullet}$) นั้นเกิดจากการกำจัด hydroxyl radical($HO^{\bullet}$) ออกจาก hydroperoxide(ROOH) โดยสารนี้เกิดขึ้นในช่วง propagation ของปฏิกิริยา lipid oxidation (Gavahian et al., 2018)



ภาพที่ 4.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ที่มา: Gavahian et al. (2018)

นอกจากนี้สารประกอบกลุ่ม aldehyde ยังสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยา Maillard แสดงดังภาพที่ 4.5 โดยมีสารตั้งต้น คือ กรดอะมิโน และน้ำตาลกลุ่ม aldose ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีหมู่ reducing ได้สารมัธยันตร์ (intermediate) คือ สารประกอบ Amadori จากนั้นเกิดปฏิกิริยา deamination, dehydration และ fragmentation ได้สารประกอบกลุ่ม dicarbonyl โดยสารประกอบกลุ่ม dicarbonyl นั้นเกิดปฏิกิริยากับกรดอะมิโนอิสระอีกครั้งผ่านปฏิกิริยา Strecker degradation ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ สารระเหยกลุ่ม aldehyde

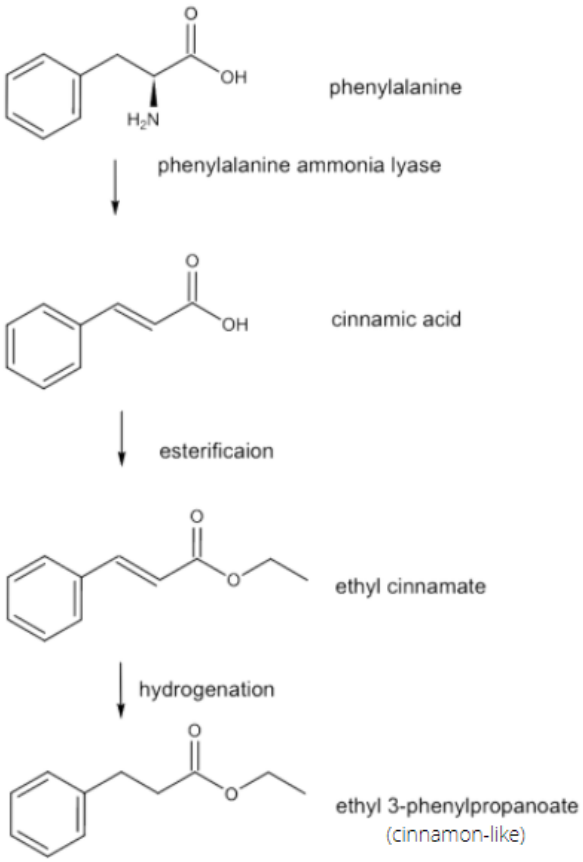


ภาพที่ 4.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยา Maillard ของสารประกอบกลุ่ม aldehyde

ที่มา: Halford et al. (2012); Lund et al. (2017)

4.4 **สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม ester**

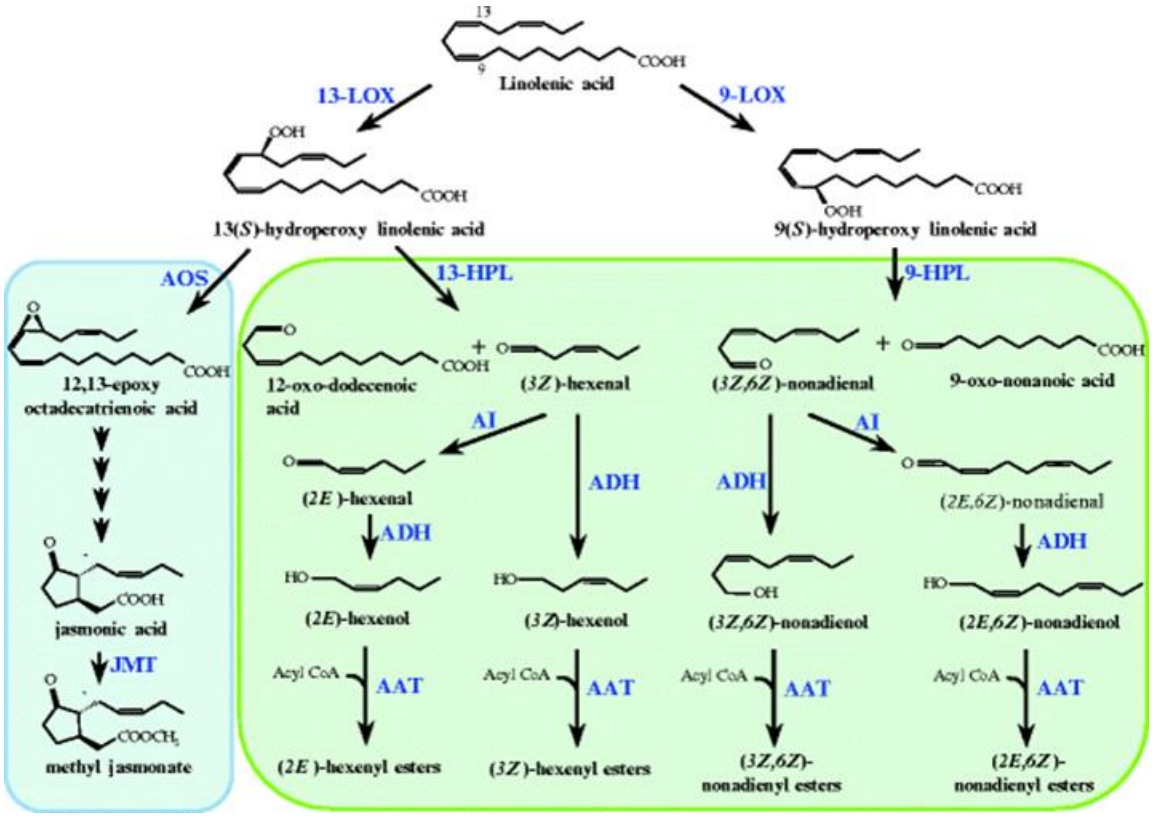
สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม ester จากพริกแห้งในงานวิจัยนี้ คือ ethyl 3-phenylpropanoate, ethyl 2-phenylpropanoate และ hexyl 3-methylbutanoate จากงานวิจัยของ Siegmund (2014) พบว่าสาร ethyl 2-phenylpropanoate และ ethyl 3-phenylpropanoate สามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาที่อาศัยเอนไซม์ โดยมีสารตั้งต้น คือ phenylalanine โดยเริ่มต้นด้วยการกำจัดหมู่อะมิโนออกด้วยเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase ได้สาร cinnamic acid จากนั้นเกิดปฏิกิริยา esterification เกิดสาร ethyl cinnamate และเกิดปฏิกิริยา hydrogenetion ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ ethyl 3-phenylpropanoate แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 กลไกการสลายตัวของ phenylalanine โดยอาศัยเอนไซม์

ที่มา: Negre-Zakharov et al. (2009); Zhang et al. (2020)

สำหรับ hexyl 3-methylbutanoate มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา lipid oxidation โดยอาศัยเอนไซม์ lipoxygenase ในการเกิดปฏิกิริยา และมีกรดไขมันลิโนเลนิก (linolenic) เป็นสารตั้งต้น ซึ่งให้สารประกอบกลุ่มเอสเทอร์มากมาย แสดงดังภาพที่ 4.7

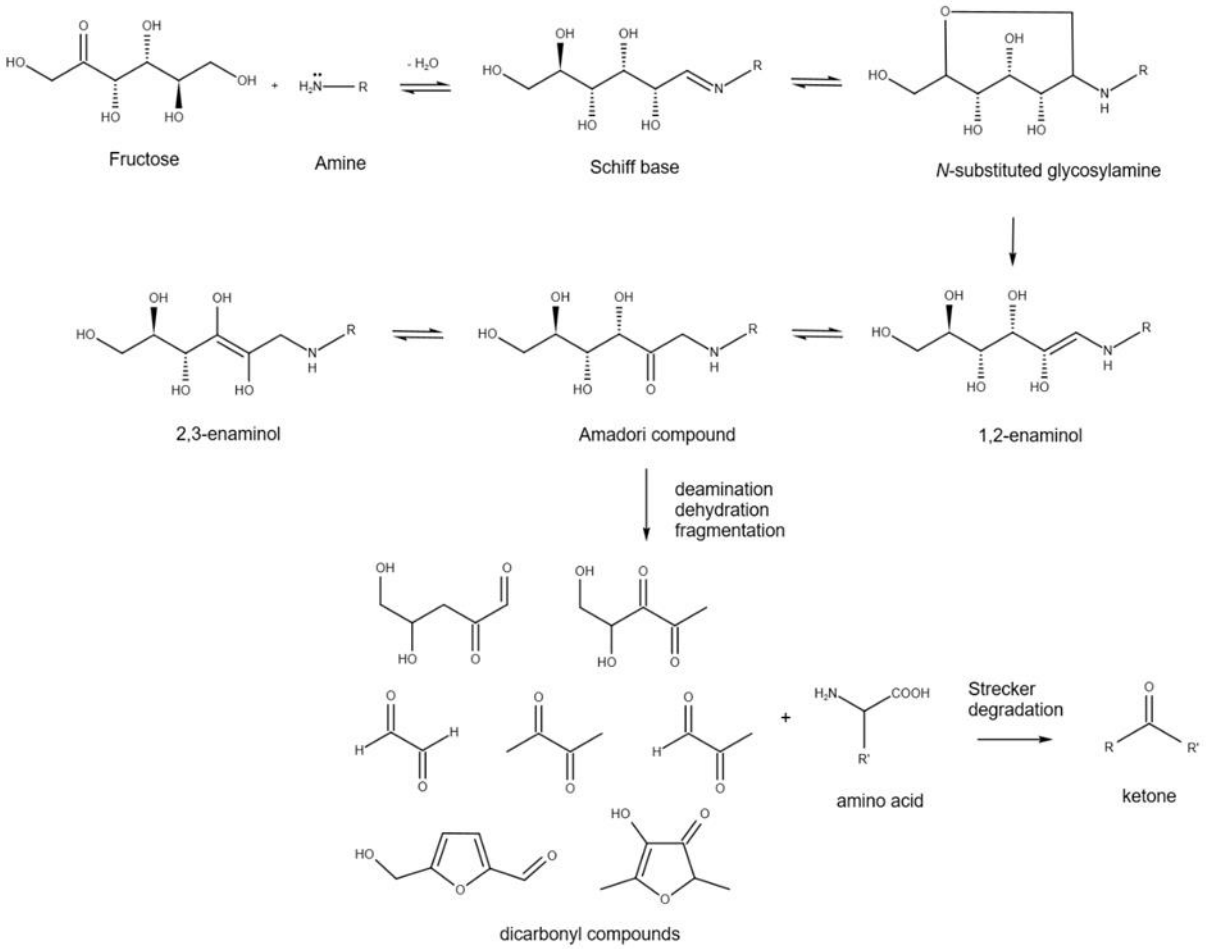


ภาพที่ 4.7 กลไกการสลายตัวของกรดไขมัน linolenic โดยอาศัยเอนไซม์ lipoxygenase

ที่มา: Negre-Zakharov et al. (2009)

4.5 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม ketone

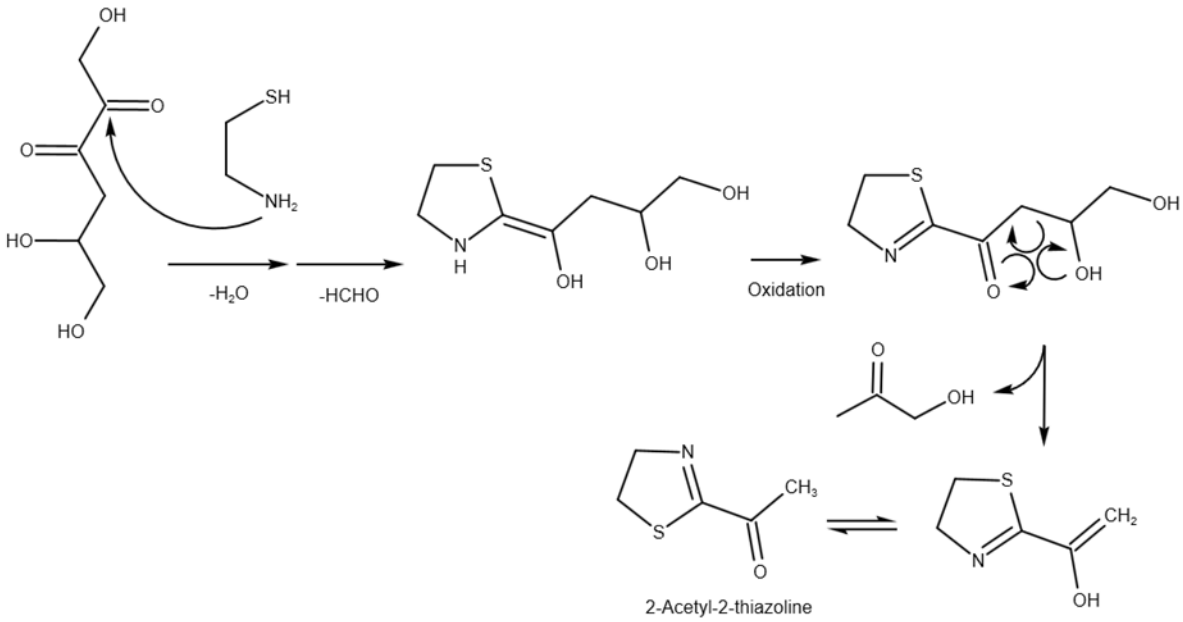
สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม ketone ในงานวิจัยนี้พบสาร 3 ชนิด ได้แก่ 1-hepten-3-one, 4-methyl-1-octen-3-one และ 3-hydroxy-2-butanone โดย 1-Hepten-3-one โดยสารกลุ่มนี้สามารถเกิดปฏิกิริยา Maillard ได้คล้ายกันกับกลุ่ม aldehyde แต่น้ำตาลหมู่รีดิวซิ่ง คือ น้ำตาลกลุ่ม ketose ได้แก่ น้ำตาลฟรุกโทส แสดงดังภาพที่ 4.8 จากงานวิจัยของ Halford et al. (2012) และ Lund et al. (2017) น้ำตาลหมู่รีดิวซิ่ง ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนได้เป็นสารมัธยันตร์ (intermediate) คือ สารประกอบ Amadori ต่อมาเกิดปฏิกิริยา deamination, dehydration และ fragmentation จะได้สารประกอบกลุ่ม dicarbonyl จากนั้นสารกลุ่มนี้ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนผ่านปฏิกิริยา Strecker degradation ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบกลุ่มคีโตน (Halford et al., 2012) และจากงานวิจัยของ Zhang et al. (2020) มีความสอดคล้องกับงานวิจัยว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารประกอบ Amadori จะทำให้เกิดสารระเหยให้กลิ่น



ภาพที่ 4.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยา Maillard ที่ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบกลุ่ม ketone
ที่มา: Halford et al. (2012); Lund et al. (2017)

4.6 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม sulfur

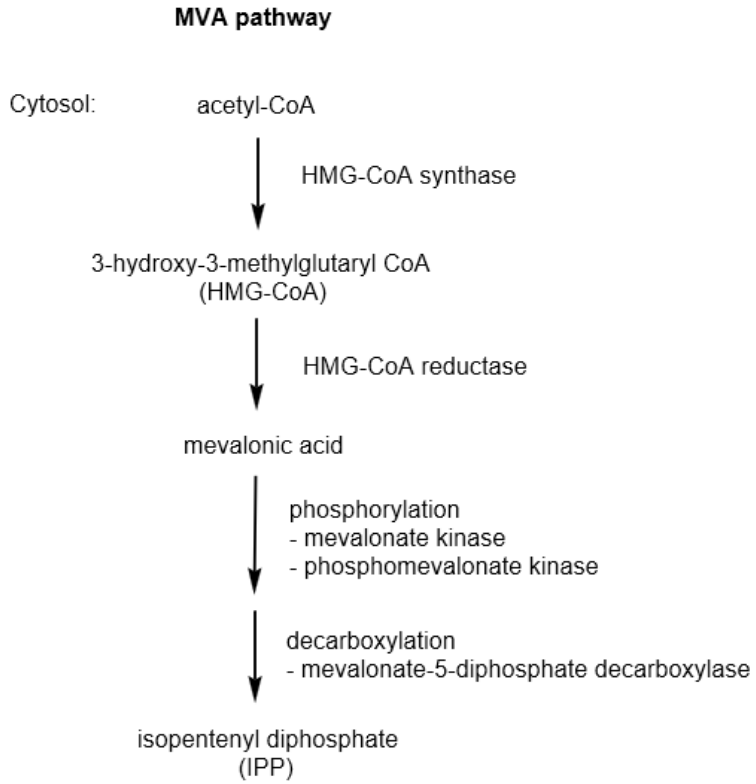
สารประกอบ sulfur ก่อให้เกิดกลิ่นสำคัญที่มักพบในผัก เนื้อสัตว์ปรุงสุก และอาหารแปรรูปอื่น ๆ ในผักที่มีสารระเหยที่มีซัลเฟอร์ เช่น ผักกลุ่ม Allium เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์ ในผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์จะเกิดขึ้นจากกระบวนการทางความร้อนของอาหารที่มีกรดอะมิโน cysteine หรือ cystine (Adams et al., 2006) สารระเหยให้กลิ่นสารประกอบ sulfur หลายชนิดเกิดจากการสลายตัวของกรดอะมิโนที่มี sulfur และ nitrogen เป็นองค์ประกอบหรือปฏิกิริยา Maillard (Guadayol et al., 1997; Mateo et al., 1997) จากงานวิจัยนี้พบสารระเหยให้กลิ่นที่เป็นกลุ่ม sulfur 3 ชนิด โดยมี 2 ชนิดที่เป็นสารระเหยกลิ่นที่ไม่ดี ได้แก่ dipropyl disulfide, diallyl disulfide และ 2-acetyl-2-thiazoline จากงานวิจัยของ Adams และ Kimpe (2006) พบว่ากลไกการเกิดสาร 2-acetyl-2-thiazoline อาจเกิดจากปฏิกิริยา Strecker degradation ของกรดอะมิโน cysteine แสดงดังภาพที่ 4.9 โดยการกำจัดน้ำออกจากน้ำตาลฟรุกโตสจะได้เป็น 4-deoxyosone จากนั้นสารนี้เกิดปฏิกิริยากับ cysteamine ซึ่งได้จากปฏิกิริยาของกรด thiazolidine-2-carboxylic กับสารประกอบกลุ่ม ∝-dicarbonyl เริ่มต้นกลไกด้วยการเติมนิวคลีโอฟิลิกของกลุ่มอะมิโนของ cysteamine จากนั้นกลุ่ม thiol อิสระจะสร้างเป็น imine ต่อมาเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยา retro-aldol cleavage ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน (C-C) กำจัด formaldehyde และ acetaldehyde ออกจาก thiazolidine



ภาพที่ 4.9 กลไกการเกิด 2-acetyl-2-thiazoline จากสารตั้งต้น 4-deoxyosone กับ cysteamine
ที่มา: Adams et al. (2006)

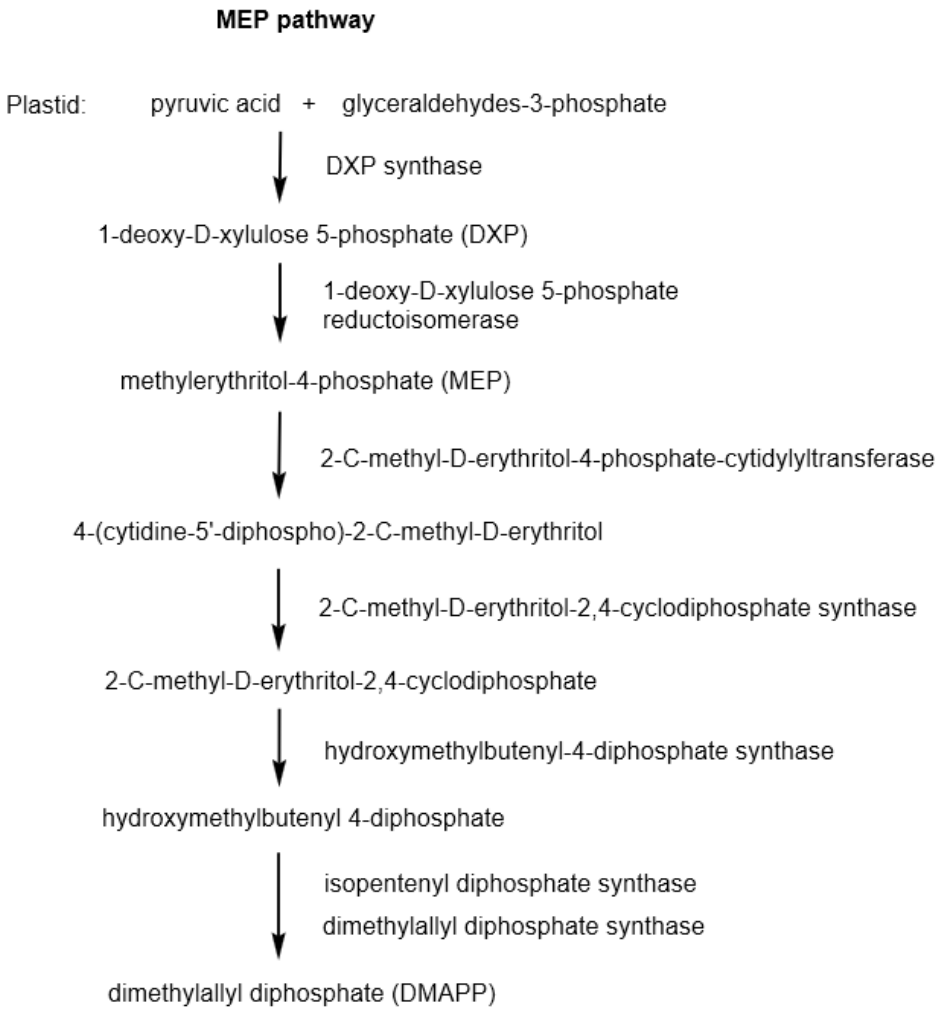
4.7 สารระเหยให้กลิ่นกลุ่ม terpene

ปัจจุบันมีรายงานว่าพบสารระเหยกลุ่ม terpene กว่า 30,000 – 50,000 ในอาหารหลายชนิด (Degenhardt et al., 2009; Hemmerlin et al., 2012) โดยส่วนมากมักเป็นสารระเหยกลุ่ม monoterpenes และ sesquiterpenes ซึ่งเป็นสารระเหยให้กลิ่นในผักและผลไม้ โดยสาร sesquiterpene ในงานวิจัยนี้พบ *trans*-calamenene ซึ่งสารระเหย sesquiterpenes ที่พบในพืชและเป็นส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหยหลายชนิดจากงานวิจัยของ Singh และ Sharma (2014) พบว่ากลไกการเกิดสาร sesquiterpene อาจเกิดจากการชีวสังเคราะห์ terpene ในพืช ซึ่งประกอบด้วย 2 วิถี ได้แก่ วิถี mevalonate (MVA) และวิถี methylerythritol phosphate (MEP) โดยวิถี MVA เริ่มต้นจาก acetyl-CoA 3 ยูนิตในไซโตซอล (cytosol) สังเคราะห์เป็น 3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA (HMG-CoA) โดยเอนไซม์ HMG-CoA reductase กลายเป็น mevalonic acid ผ่านปฏิกิริยา phosphorylation และ decarboxylation ที่ถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ mevalonate kinase, phosphomevalonate kinase และ mevalonate-5-diphosphate decarboxylase ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น isopentenyl diphosphate (IPP)



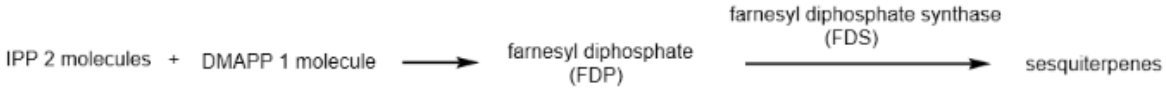
ภาพที่ 4.10 วิถี mevalonate (MVA) ภายในไซโตซอล ที่มา: Singh et al. (2014)

ส่วนวิถี MEP (Singh et al., 2014) เริ่มต้นจาก pyruvic acid และ glyceraldehydes-3-phosphate ในพลาสติด(plastid) สังเคราะห์เป็น 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate (DXP) โดยเอนไซม์ 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate synthase เป็นตัวเร่ง และต่อมาเป็น methylerythritol 4-phosphate (MEP) โดยการทำงานของเอนไซม์ 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate reductoisomerase จากนั้นเกิดเป็นสาร 4-(cytidine-5'-diphospho)-2-C-methyl-D-erythritol โดยผ่านเอนไซม์ 2-C-methyl-D-erythritol-4-phosphate cytidyltransferase ต่อมาผ่านเอนไซม์ 2-C-methyl-D-erythritol-2,4-cyclodiphosphate synthase เกิดเป็น 2-C-methyl-D-erythritol-2,4-cyclodiphosphate และผ่านเอนไซม์ hydroxymethylbutenyl-4-diphosphate synthase เกิดเป็น hydroxymethylbutenyl-4-diphosphate จากนั้นเปลี่ยนเป็น isopentenyl diphosphate (IPP) และ dimethylallyl diphosphate (DMAPP) โดย isopentenyl diphosphate synthase และ dimethylallyl diphosphate synthase แสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 วิถี methylerythritol phosphate (MEP) ภายในพลาสติด ที่มา: Singh et al. (2014)

โดย DMAPP 1 โมเลกุลรวมตัวกับ IPP 2 โมเลกุลเกิดเป็น farnesyl diphosphate (FDP) จะถูกเร่งต่อด้วย farnesyl diphosphate synthase ซึ่ง farnesyl diphosphate (FDP) เป็นสารตั้งต้นโดยตรงของสารกลุ่ม sesquiterpene แสดงดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 กลไกการเกิดของสาร farnesyl diphosphate ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของสารกลุ่ม sesquiterpene ที่มา: Singh et al. (2014)

เอกสารอ้างอิง

Adamiec, J., Rössner, J., Velíšek, J., Cejpek, K., and Šavel, J. (2001). Minor Strecker degradation products of phenylalanine and phenylglycine. European Food Research and Technology, 212(2): 135–140.

Adams, A., and De Kimpe, N. (2006). Chemistry of 2-Acetyl-1-pyrroline, 6-Acetyl-1,2,3,4-tetrahydropyridine, 2-Acetyl-2-thiazoline, and 5-Acetyl-2,3-dihydro-4H-thiazine: Extraordinary Maillard Flavor Compounds. Chemical Reviews, 106(6): 2299–2319.

FoodData Central. (n.d.). Retrieved from https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170106/nutrients

Garner, C. M., Mossman, B. C., and Prince, M. E. (1993). The epimerization of ∝-chiral hydrazones: Menthonetosylhydrazone. Tetrahedron Letters, 34(27): 4273–4276.

Gavahian, M., Chu, Y.H., Mousavi Khaneghah, A., Barba, F.J., and Misra, N. (2018). A critical analysis of the cold plasma induced lipid oxidation in foods. Trends in Food Science & Technology, 77: 32–41.

Gordon Turner-Walker. (2012). The Removal of Fatty Residues from a Collection of Historic Whale Skeletons in Bergen: An Aqueous Approach to Degreasing.

Halford, N. G., Curtis, T. Y., Muttucumaru, N., Postles, J., Elmore, J. S., and Mottram, D. S. (2012). The acrylamide problem: a plant and agronomic science issue. Journal of Experimental Botany, 63(8): 2841–2851.

Henderson, D.E., and Henderson, S.K. (1992). Thermal decomposition of capsaicin. 1. Interactions with oleic acid at high temperatures. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40(11): 2263–2268.

Jun, H.R., Cho, I.H., Choi, H.K., and Kim, Y.S. (2005). Comparison of Volatile Components in Fresh and Dried Red Peppers (Capsicum annuum L.) Food Science and Biotechnology, 14(3): 392-398.

Ko, A.Y., Rahman, M., Abd El-Aty, A.M., Jang, J., Choi, J. H., Mamun, M., and Shim, J. H. (2014). Identification of volatile organic compounds generated from healthy and infected powdered chili using solvent-free solid injection coupled with GC/MS: Application to adulteration. Food Chemistry, 156: 326–332.

Korkmaz, A., Hayaloglu, A. A., and Atasoy, A. F. (2017). Evaluation of the volatile compounds of fresh ripened Capsicum annuum and its spice pepper (dried red pepper flakes and isot). LWT, 84: 842–850.

Lund, M. N., and Ray, C. A. (2017). Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65(23): 4537–4552.

Morales-Soriano, E., Kebede, B., Ugás, R., Grauwet, T., Van Loey, A., and Hendrickx, M. (2018). Flavor characterization of native Peruvian chili peppers through integrated aroma fingerprinting and pungency profiling. Food Research International, 109: 250–259.

Negre-Zakharov, F., Long, M. C., and Dudareva, N. (2009). Floral Scents and Fruit Aromas Inspired by Nature. Plant-Derived Natural Products, 405–431.

OdorantDB. (2020). Retrieved from https://www.leibniz-lsb.de/en/databases/leibniz-lsbtum-odorant-database/odorantdb/

Rotsatchakul, P., Chaiseri, S., and Cadwallader, K.R. (2008). Identification of Characteristic Aroma Components of Thai Fried Chili Paste. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(2): 528–536.

Siegmund, B. (2015). Biogenesis of aroma compounds. Flavour Development, Analysis and Perception in Food and Beverages, 127–149.

Singh, B., and Sharma, R. A. (2014). Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. 3 Biotech, 5(2), 129–151. ท

Steinhaus, M. (2015). Characterization of the major odor-active compounds in the leaves of the curry tree *Bergera koenigii* L. by aroma extract dilution analysis. Journal of agricultural and food chemistry, 63: 4060-4067.

Tieman, D., Taylor, M., Schauer, N., Fernie, A.R., Hanson, A.D., and Klee, H.J. (2006). Tomato aromatic amino acid decarboxylase participate in synthesis of the flavor volatiles 2-phenylethanol and 2-phenylacetaldehyde. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103(21): 8287–8292.

THAI AGRICULTURAL STANDARD. (2010). Dried chili peppers. National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. Ministry of Agriculture and Cooperatives.

Toontom, N., Meenune, M., Posri, W., and Lertsiri, S. (2012). Effect of drying method on physical and chemical quality, hotness and volatile flavour characteristics of dried chilli. International Food Research Journal, 19(3): 1023-1031.

Velasco, J., Dobarganes, C., and Márquez-Ruiz, G. (2010). Oxidative rancidity in foods and food quality. Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages, 3-32.

Zhang, S., Li, R., Zhang, Y., and Zhao, M. (2020). The effect of solvents on the thermal degradation products of two Amadori derivatives. RSC Advances, 10(16): 9309–9317.

ภาคผนวก

มาตรฐานสินค้าเกษตร

มกษ. 3001-2553

THAI AGRICULTURAL STANDARD

TAS 3001-2010

พริกแห้ง

DRIED CHILI PEPPERS

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ICS 67.220.10 ISBN

มาตรฐานสินค้าเกษตร

มกษ. 3001-2553

THAI AGRICULTURAL STANDARD

TAS 3001-2010

พริกแห้ง

DRIED CHILI PEPPERS

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
50 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 0 2561 2277 โทรสาร 0 2561 3357
www.acfs.go.th

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 127 ตอนพิเศษ 150 ง
วันที่ 28 ธันวาคม พุทธศักราช 2553

คณะกรรมการวิชาการพิจารณามาตรฐานสินค้าเกษตร
เรื่อง พริกแห้ง

1. รองศาสตราจารยวิชัย หฤทัยธนาสันต์	ประธานกรรมการ
2. นางประภัสสรา พิมพ์พันธุ์ กรมวิชาการเกษตร	กรรมการ
3. นางสาวมยุรี อุรารุ่งโรจน์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข	กรรมการ
4. นางสาวนงนุช เมธียนต์พิริยะ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	กรรมการ
5. นางสุกัญญา สันทัด สำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองผู้บริโภค สำนักนายกรัฐมนตรี	กรรมการ
6. นางมาลี จิรวงศ์ศรี สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข	กรรมการ
7. นายณฤทธิ์ ฤกษ์ม่วง สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม	กรรมการ
8. นางอรทัย ศิลปนภาพร สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ	กรรมการ
9. นางสาวกรุณา วงษ์กระจ่าง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
10. รองศาสตราจารย์กมลวรรณ แจ้งชัด ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
11. นางสาวนฤมล คงทน สถาบันอาหาร	กรรมการ
12. นางพรทิพย์ เดชเกรียงไกรกุล สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย	กรรมการ

(3)

13. นายวิศิษฎ์ ลิ้มประนะ กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	กรรมการ
14. นางสาวกาญจนา เลิศสกุลเจริญ สมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป	กรรมการ
15. นางจิราวัฒนา ฟ้าสว่าง สำนักมาตรฐานสินค้าและระบบคุณภาพ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ	กรรมการและเลขานุการ

(4)

พริกแห้งเป็นสินค้าเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เป็นที่ต้องการของตลาดภายในประเทศและต่างประเทศมาก จนจำเป็นต้องนำเข้าในบางฤดูกาล จึงควรสนับสนุนการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยการผลิตพริกแห้งอย่างเป็นระบบเพื่อคุ้มครองผู้บริโภค ในการกำกับดูแลพริกแห้งที่จำหน่ายภายในประเทศและพริกแห้งนำเข้าจำเป็นต้องมีเกณฑ์กำหนดเพื่ออำนวยความสะดวกในทางการค้าและมีมาตรฐานด้านความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค คณะกรรมการสินค้าเกษตร
จึงเห็นสมควรจัดทำมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง พริกแห้ง ขึ้น

มาตรฐานสินค้าเกษตรนี้กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

CODEX STAN 193-1995. General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, FAO, Rome. P.13

ISO 972 : 1997, Chillies and capsicums, whole or ground (powdered) Specification.

ISO 948 : 1980, Spices and condiments-Sampling.

ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์
เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : พริกแห้ง
ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. ๒๕๕๑

ด้วยคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตร เห็นสมควรกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง พริกแห้ง เป็นมาตรฐานทั่วไป ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. ๒๕๕๑ เพื่อส่งเสริมสินค้าเกษตรให้ได้คุณภาพ มาตรฐานและปลอดภัย

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ มาตรา ๑๕ และมาตรา ๑๖ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. ๒๕๕๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์จึงออกประกาศ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : พริกแห้ง มาตรฐานเลขที่ มกษ. ๓๐๐๑-๒๕๕๓ ไว้เป็นมาตรฐานทั่วไป ดังมีรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๗ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๓

(นายธีระ วงศ์สมุทร)
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

มกษ.3001-2553

มาตรฐานสินค้าเกษตร

พริกแห้ง

1 ขอบข่าย

มาตรฐานสินค้าเกษตรนี้ครอบคลุม พริกแห้ง (Whole dried chili peppers) ผลิตจากพืชสกุลพริก (*Capsicum* sp.) อยู่ในวงศ์ Solanaceae ได้แก่

1.1 พริกขี้หนู ได้แก่

1.1.1 พริกขี้หนูผลเล็ก (*Capsicum frutescens* Linn.) เช่น พริกกระเหรี่ยง และพริกขี้หนูสวน

1.1.2 พริกขี้หนูผลใหญ่ (*Capsicum annuum* Linn.) เช่น พริกจินดา พริกหัวเรือ พริกห้วยสีทน และพริกยอดสน

1.2 พริกใหญ่ (*Capsicum annuum* Linn.) เช่น พริกบางช้าง พริกหยวก และพริกมัน

2 นิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานสินค้าเกษตรนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 พริกแห้ง หมายถึง ผลพริกที่สุกหรือแก่จัด ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้ง อาจมีก้านหรือไม่มีก้านติดอยู่ก็ได้ สำหรับจำหน่ายปลีกหรือบรรจุปริมาณมากเพื่อขายส่ง เพื่อใช้ปรุงรสหรือใช้เป็นส่วนประกอบอาหารเพื่อการบริโภค รวมถึงพริกแห้งที่จำหน่ายเพื่อนำไปแบ่งบรรจุ หรือใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

3 ชนิด

พริกแห้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1 พริกขี้หนูแห้ง

3.2 พริกใหญ่แห้ง

4 คุณภาพ

4.1 คุณภาพทั่วไป

พริกแห้งต้องมีคุณภาพดังต่อไปนี้และมีตำหนิไม่เกินเกณฑ์ที่ระบุไว้ในข้อ 5

(1) ไม่มีกลิ่นอับ หรือกลิ่นแปลกปลอม

(2) พริกแห้งในบรรจุภัณฑ์เดียวกันต้องเป็นชนิดเดียวกัน

(3) ไม่มีศัตรูพืช หรือชิ้นส่วนของศัตรูพืช

(4) ไม่เน่าเสียจนทำให้ไม่เหมาะต่อการบริโภค

(5) ไม่เห็นเส้นใยของเชื้อรา เมื่อมองด้วยตาเปล่า

(6) ความชื้นไม่เกิน 13.5%

(7) ไม่มีการแต่งสี

5 ตำหนิและเกณฑ์การยอมรับ

5.1นิยามของตำหนิ

5.1.1 ผลมีสีผิดปกติ หมายถึง ผลพริกแห้งที่มีสีผิดปกติ เนื่องจากผลิตจากผลพริกที่ยังไม่สุกหรือแก่จัด กรรมวิธีการผลิตไม่เหมาะสม หรือเนื่องจากการเข้าทำลายของโรค

5.1.2 ผลไม่สมบูรณ์ หมายถึง ผลพริกแห้งที่มีรูปร่างลักษณะผิดปกติ เนื่องจากการเข้าทำลายของศัตรูพืช หรือการเพาะปลูกไม่เหมาะสม

5.1.3 ผลแตกหรือหัก หมายถึง ผลพริกแห้งรวมทั้งเมล็ดที่เกิดจากการเสื่อมเสียทางกายภาพ เช่น แตก หรือหัก เนื่องจาก การบรรจุ ขนย้าย หรือขนส่ง

5.1.4 สิ่งแปลกปลอม หมายถึง ส่วนต่างๆ ของต้นพริก เช่น กิ่ง ก้าน ใบ หรือช่อดอกของพริก ยกเว้นก้านที่ติดมากับผล และหมายความรวมถึงสิ่งปะปนอื่นๆ ที่ไม่ใช่ส่วนประกอบตามธรรมชาติของพริก

5.2 ตำหนิของพริกแห้งพบได้ไม่เกินเกณฑ์การยอมรับตำหนิ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การยอมรับตำหนิ

(ข้อ 5.2)

ตำหนิ	เกณฑ์การยอมรับตำหนิ (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)
1. ผลมีสีผิดปกติ	ไม่เกิน 5 %
2. ผลไม่สมบูรณ์	ไม่เกิน 5 %
3. ผลแตกหรือหัก	
(1) พริกขี้หนูแห้ง	ไม่เกิน 5 %
(2) พริกใหญ่แห้ง	ไม่เกิน 10 %
4. สิ่งแปลกปลอม	ไม่เกิน 1 %

6 วัตถุเจือปนอาหาร

หากมีการใช้ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

7 สารปนเปื้อน

7.1 ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

7.2 อะฟลาทอกซิน ต้องไม่เกิน 15 μg/kg

8 สารพิษตกค้าง

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้องและข้อกำหนดใน มกษ.9002 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง สารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด และ มกษ.9003 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง สารพิษตกค้าง : ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้

9 สุขลักษณะ

การผลิตและการปฏิบัติต่อพริกแห้งให้เป็นไปตามข้อกำหนดใน มกษ. 9023 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง หลักเกณฑ์การปฏิบัติ : หลักเกณฑ์ทั่วไปเกี่ยวกับสุขลักษณะอาหาร

10 การบรรจุ

พริกแห้งต้องบรรจุในภาชนะบรรจุที่สะอาด ถูกสุขลักษณะ และไม่มีกลิ่นผิดปกติ ที่มีผลต่อคุณภาพของพริกแห้ง และต้องป้องกันการปนเปื้อนที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

11 ฉลาก

ให้แสดงฉลากตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และอย่างน้อยต้องมีข้อความระบุในเอกสารกำกับสินค้า หรือฉลาก หรือแสดงไว้ที่ภาชนะบรรจุก็ได้ โดยข้อความต้องอ่านได้ชัดเจน ไม่หลุดลอก ไม่เป็นเท็จหรือหลอกลวง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

11.1 ภาชนะบรรจุที่จำหน่ายโดยตรงต่อผู้บริโภค

11.1.1 ฉลากให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

11.1.2 ภาชนะบรรจุพริกแห้งทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลขอักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดดังต่อไปนี้ให้เห็นง่ายและชัดเจน

(1) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น พริกแห้ง

(2) น้ำหนักสุทธิเป็นหน่วยในระบบเมตริก (metric system)

(3) วัน เดือน ปี ที่ผลิต หรือ วัน เดือน ปี ที่หมดอายุ

(4) ให้ระบุชื่อประเภทของวัตถุเจือปนอาหาร (ถ้าใช้) พร้อมด้วยชื่อเฉพาะหรือหมายเลขของวัตถุเจือปนอาหารตามข้อกำหนดของคณะกรรมาธิการมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศของโครงการมาตรฐานอาหารเอฟเอโอ/ดับเบิลยูเอชโอ (Codex Alimentarius Commission, Joint FAO/WHO Food Standards Programme; Codex)

(5) ชื่อและที่ตั้งของผู้ผลิตหรือผู้แบ่งบรรจุสำหรับสินค้าที่ผลิตในประเทศ ชื่อและที่ตั้งของผู้นำเข้าสำหรับสินค้านำเข้า แล้วแต่กรณี

(6) ประเทศผู้ผลิต

(7) รุ่นของผลิตภัณฑ์โดยอาจระบุเป็นรหัสได้

(8) กรณีที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศต้องใช้ข้อความเป็นภาษาไทย และกรณีที่ผลิตเพื่อส่งออกจะแสดงข้อความเป็นภาษาต่างประเทศก็ได้

11.2 ภาชนะบรรจุสำหรับขายส่ง

ให้แสดงข้อความตามที่กฎหมายกำหนดและตามรายละเอียดในข้อ 11.1.2 ในฉลากหรือเอกสารกำกับสินค้า

12 เครื่องหมายการตรวจสอบทางราชการ หรือเครื่องหมายรับรอง

ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขที่คณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรกำหนด หรือให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขของหน่วยตรวจ หรือหน่วยรับรอง

13 วิธีวิเคราะห์ วิธีชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

13.1 วิธีวิเคราะห์

ให้ใช้วิธีที่กำหนดในตารางที่ 2 (โดยอ้างอิงเอกสารวิธีวิเคราะห์ฉบับล่าสุด) ดังนี้

ตารางที่ 2 วิธีวิเคราะห์

(ข้อ 13.1)

ข้อกำหนด	วิธีวิเคราะห์	หลักการ
1. คุณภาพทั่วไป (ข้อ 4.1 (1)-(5))	ตรวจพินิจ	-
2. ความชื้น (ข้อ 4.1 (6))	AOAC 934.06 หรือใช้วิธีที่มีความถูกต้องเทียบเท่า	Gravimetry
3. ผลที่มีตำหนิ (ข้อ 5.2)	วิธีการคำนวณหาสัดส่วนโดยน้ำหนัก	Subjective Measurement
4. อะฟลาทอกซิน (ข้อ 7.2)	AOAC 970.45 หรือใช้วิธีที่มีความถูกต้องเทียบเท่า	HPLC/Densitometer
5. การบรรจุ (ข้อ 10)	ตรวจพินิจ	-

13.2 วิธีชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก วิธีชักตัวอย่างที่จำเป็นนอกเหนือจากที่ระบุ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้องและข้อกำหนดของมาตรฐานสินค้าเกษตรที่เกี่ยวกับการชักตัวอย่าง

ภาคผนวก ก

วิธีชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 13.2)

ภาคผนวก ก นี้ แสดงวิธีชักตัวอย่างพริกแห้ง เพื่อการใช้ประโยชน์ได้สะดวก

ก.1 นิยาม

ความหมายของคำที่ใช้มีดังต่อไปนี้

ก.1.1 วิธีการชักตัวอย่าง (sampling procedure) หมายถึง การกำหนดวิธีการเก็บและจำนวนหน่วยตัวอย่างจากรุ่นสินค้าเพื่อตรวจสอบให้ได้ข้อมูลที่นำมาใช้ตัดสินการยอมรับรุ่นสินค้า แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

(1) วิธีการชักตัวอย่างขั้นต้น หมายถึง การเก็บตัวอย่างจากรุ่นสินค้าโดยตรงเพื่อเป็นตัวแทนที่ดีของรุ่นสินค้าในปริมาณที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์และตัดสินการยอมรับรุ่นสินค้า

(2) วิธีการชักตัวอย่างขั้นที่สอง หมายถึง การรวมตัวอย่างขั้นต้นให้เป็นเนื้อเดียวกันและลดจำนวนตัวอย่างลงในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อการตรวจวิเคราะห์และตัดสินการยอมรับรุ่นสินค้า

ก.1.2 รุ่น (lot) ในที่นี้หมายถึง พริกแห้งที่ทำจากพริกสดชนิดเดียวกันจากแหล่งผลิตเดียวกัน ผลิตโดยกรรมวิธีเดียวกัน บรรจุและเก็บรักษาในสภาพและสภาวะเดียวกันเพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพและคุณลักษณะสม่ำเสมอ

ก.2 วิธีการชักตัวอย่างขั้นต้น

ก.2.1 ให้ชักตัวอย่างพริกแห้งรุ่นเดียวกันตามขนาดรุ่นที่กำหนดในตารางที่ ก.1 จะได้ตัวอย่างขั้นต้น นำไปตรวจสอบการบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก และน้ำหนักสุทธิ

ก.2.2 หากผลการตรวจสอบของตัวอย่างเป็นไปตามข้อกำหนดของ ข้อ 10 และ ข้อ 11 ให้ถือว่าพริกแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 วิธีการชักตัวอย่างขั้นต้น

(ข้อ ก.2)

ขนาดรุ่น ภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง ภาชนะบรรจุ
1 ถึง 5	ทุกหน่วย
6 ถึง 49	5 หน่วย
50 ถึง 100	ร้อยละ 10 ของขนาดรุ่น
ตั้งแต่ 101 ขึ้นไป	รากที่ 2 ของขนาดรุ่น

ก.3 วิธีการชักตัวอย่างขั้นที่สอง

ชักตัวอย่างเพื่อส่งหน่วยปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ จากตัวอย่างขั้นต้น (ข้อ ก.2.1) ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่าง ดังนี้

ก.3.1 ให้นำตัวอย่างขั้นต้นข้อ ก.2.1 มารวมกัน จากนั้นสุ่มตัวอย่างแบบกระจายเพื่อวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

ก.3.1.1 ให้ชักตัวอย่างพริกแห้งจากตัวอย่างข้อ ก.3.1 จนได้น้ำหนัก 300 g ตรวจสอบคุณภาพทั่วไปและตำหนิของพริกแห้ง

ก.3.1.2 ให้ชักตัวอย่างพริกแห้งจากข้อ ก.3.1 จนได้น้ำหนัก 300 g ตรวจสอบหาปริมาณอะฟลาทอกซิน

ก.3.1.3 หากผลการตรวจสอบของตัวอย่างเป็นไปตามข้อ 4.1 ข้อ 5.2 และข้อ 7.2 จึงจะถือว่าพริกแห้งรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3.2 สำหรับการวิเคราะห์วัตถุเจือปนอาหาร สารปนเปื้อน และสารพิษตกค้าง ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างของข้อกำหนดในกฎหมาย และข้อกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรที่เกี่ยวข้อง

ภาคผนวก ข

หน่วย

หน่วยและสัญลักษณ์ที่ใช้ในมาตรฐานนี้ และหน่วยที่ SI (International System of Units หรือ Le Systeme International d'Unites) ยอมรับให้ใช้ได้ มีดังนี้

รายการ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์หน่วย
มวล	ไมโครกรัม (microgram)	µg
	กรัม (gram)	G
	กิโลกรัม (kilogram)	Kg

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวกฤติน จรูญรักษ์
ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ
วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ)
ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา 2563
โทรศัพท์ 061-1486767
Email kittin130342@gmail.com

ชื่อ-สกุล นางสาวจิรภัทร เอื้อกชกร
ตำแหน่ง ผู้วิจัยร่วม
วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ)
ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา 2563
โทรศัพท์ 065-6864542
Email jirapath.ji@gmail.com

ชื่อ-สกุล นางสาวชุติกาญจน์ อะโน
ตำแหน่ง ผู้วิจัยร่วม
วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ)
ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา 2563
โทรศัพท์ 089-4966459
Email anoctk@gmail.com