สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี

ข้าวหอมสุพรรณบุรีเป็นข้าวหอมที่มีลักษณะรูปร่างเมล็ดและคุณภาพในการหุงต้มด้านกลิ่นหอมและความอ่อนนุ่มคล้ายข้าวขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์ข้าวที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างมากในประเทศไทย) เมล็ดข้าวกล้องยาว 7.7 mm รูปร่างเรียว ปริมาณ amylose เท่ากับ 18-19 % ลักษณะต้นเตี้ย ปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรัง มีอายุนับจากวันตกกล้าถึงเก็บเกี่ยว ประมาณ ๑๒๐ วัน ให้ผลผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 580 กิโลกรัมต่อไร่ ในนาปี มีความต้านทานโรคขอบใบแห้งและเพลี้ยกระโดดหลังขาว การเก็บรักษาข้าวหอมสุพรรณบุรีให้ได้คุณภาพดี เมล็ดข้าวต้องแห้ง มีความชื้นไม่เกิน 14 % ต้องสะอาดปราศจากสิ่งเจือปน ไม่เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค และแมลงศัตรู ยุ้งฉางจะต้องสะอาด มีตาข่ายป้องกันนก หนูและศัตรูอื่นๆ อากาศถ่ายเทสะดวก มีหลังคาปิดกันแดดและฝน ถ้าเก็บรักษาโดยการบรรจุกระสอบ ควรใช้ไม้รองกระสอบให้สูงจากพื้นประมาณ 5-6 นิ้ว เพื่อป้องกันความชื้นจากดินหรือซีเมนต์

2.2 ข้าวกล้องและข้าวขาว

ข้าวกล้องและข้าวขาวมีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยข้าวขาวมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต (91%) มากกว่าข้าวกล้อง (88%) แต่มีปริมาณโปรตีน (7.6%) ปริมาณไขมัน (0.5%) ปริมาณเถ้า (0.6%) และเส้นใย (0.3%) น้อยกว่าในข้าวกล้องที่มีอยู่ 8.0, 2.2,1.0 และ 0.8% ตามลำดับ เนื่องจากในส่วนรำข้าวกล้องเป็นแหล่งสะสม โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยของเมล็ดข้าว

ข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าข้าวสาร (Robertson, 1993) แต่ก็มีปัญหาเรื่องการเก็บรักษา ปัญหาคือ การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระในข้าวที่เก็บภายใต้ภาวะที่อบอุ่นและชื้น เพราะกรดไขมันสามารถถูกปลดปล่อยออกมา เนื่องจากผลของกิจกรรมไลเปส (lipase activity) ที่มาจากในชั้น aleulone (bran) ของเมล็ดข้าวที่ถูกทำลายขณะขัดสีและยังถูกปลดปล่อยได้โดยการปนเปื้อนของแบคทีเรียและ fungi ที่มีไลเปสสูงในข้าว การศึกษาผลของการ flushing ด้วยก๊าซ CO_2 ที่มีต่ออายุการเก็บของข้าวกล้อง พบว่าความเสถียรของข้าวที่เก็บในอุณหภูมิ 4 °C ในถุง laminate(nylon-EVAcopolymer) มีมากกว่าข้าวที่เก็บในถุงพลาสติกธรรมดาที่อุณหภูมิ เดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามการเก็บข้าวที่อุณหภูมิห้อง (24 °C) ไม่ว่าเก็บข้าวในถุงแบบใดก็ไม่มีความแตกต่าง ดังนั้นถ้าสามารถเก็บ bulk rice ในคลังสินค้าในรูปของข้าวกล้องที่บรรจุถุง laminate และ flush

ด้วยก๊าซ CO_2 แทนที่จะเก็บในรูปของข้าวเปลือก จะทำให้สามารถประหยัดพื้นที่เก็บในโกดังอย่างน้อย 20% โดยน้ำหนักและ 30-35% โดยปริมาตร

ตารางที่ 2.1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าว (หน่วยน้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบทางเคมี	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
คาร์โบไฮเดรต (%)	88	91
โปรตีน (%)	8.0	7.6
ไขมัน (%)	2.2	0.5
เถ้า (%)	1.0	0.6
เส้นใย (%)	0.8	0.3
ซิลิเนียม (mg/100g)	50	45
แคลเซียม (mg/100g)	36	27
ฟอสฟอรัส (mg/100g)	251	106
เหล็ก (mg/100g)	1.8	0.9
โซเดียม (mg/100g)	10	6
โพแทสเซียม (mg/100g)	243	105
ไอโอดีน (mg/100g)	4	3
ไทอามีน (mg/100g)	0.4	0.08
ไรโบฟลาวิน (mg/100g)	0.05	0.03
ไนอะซิน (mg/100g)	5	2
พลังงาน (Cal/100g)	405	410

ที่มา : Bogdan และ David (2001)

2.3 ไขมัน (lipids)

ไขมันเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นต้น และชนิดมีขั้วเล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ และแอซิโตน

ไขมันในข้าวประกอบด้วยกรดไขมัน palmitic oleic และ linoleic เป็นองค์ประกอบหลัก Taira (1983) รายงานว่าชนิดของกรดไขมันในข้าวประกอบด้วยกรด palmitic (C16:0) ร้อยละ 16-

23 กรด stearic (C18:0) ร้อยละ1-3 กรด oleic (C18:1) ร้อยละ 34-43 กรด linoleic (C18:2) ร้อยละ 35-43 และ กรด linolenic (C18:3) ร้อยละ 1-3

การหืน (Rancidity)

การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน มีผลทำให้มีกลิ่นผิดปกติและสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป การหืนเกิดขึ้นได้ 3 แบบ ดังนี้

1. lipolysis เป็นปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเตอร์ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ หรือลิพิดด้วยเอนไซม์ไลเพส ความร้อน กรด ด่าง และความชื้น หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า lipolytic rancidity หรือ hydrolytic rancidity

2. การหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (oxidative rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (autoxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็น hydroperoxide ออโตออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ เป็นผลให้มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติเกิดขึ้น

การเกิดการหืนโดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (กรด linoleic และกรด linolenic) ถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันลดลง และยังทำลายวิตามินที่ละลายในไขมันอีกด้วย

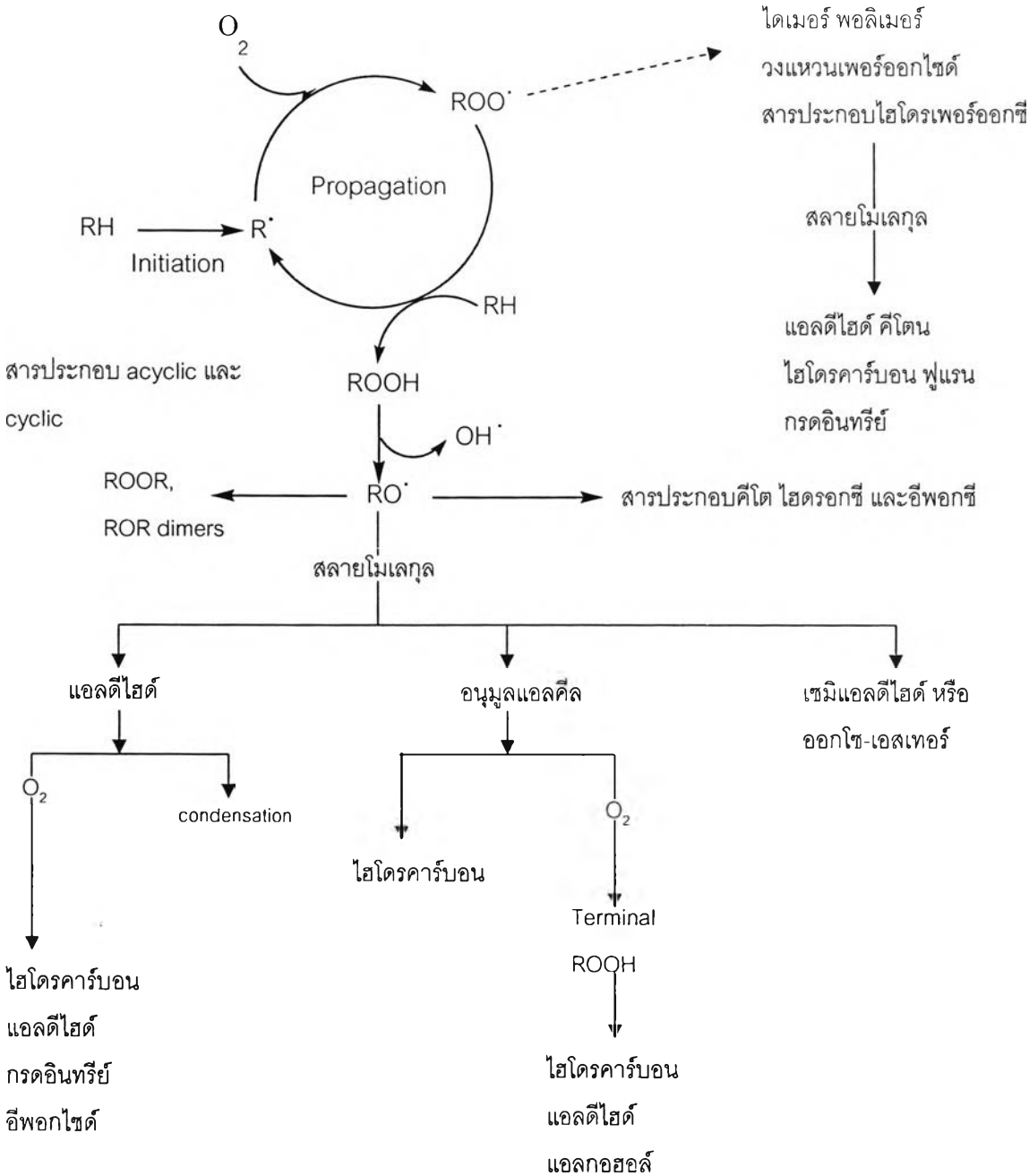
การหืนที่เกิดโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ยังอาจเกิดขึ้นได้เมื่อมีเอนไซม์ลิพอกซิเดส (lipoxydase) ช่วยเร่งปฏิกิริยา

การเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะเกิดขึ้นภายหลังการเกิด initiation แล้ว โดยการเติมออกซิเจนจะทำให้เกิดอนุมูลเพอร์ออกซี ($ROO^{\cdot}$) ซึ่งเมื่อไปดึงเอาไฮโดรเจนมาจากโมเลกุลของกรดไขมันใหม่ ก็จะได้ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ROOH) และเกิดอนุมูลอิสระขึ้นใหม่ ($R^{\cdot}$) $R^{\cdot}$ ที่เกิดขึ้นนี้จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใหม่ และปฏิกิริยาก็จะเกิดวนเวียนซ้ำๆไปเช่นนี้เรื่อยไป

ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ROOH) เป็นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของลิพิดออโตออกซิเดชัน และสารนี้จะไม่คงตัวจึงเกิด ปฏิกิริยาต่อไป เช่น โดยการสลายตัวหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่น ทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน และเป็นสารให้กลิ่น แผนภูมิสรุปการเปลี่ยนแปลงระหว่างออโตออกซิเดชันของลิพิด เป็นดังรูปที่ 2.1

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

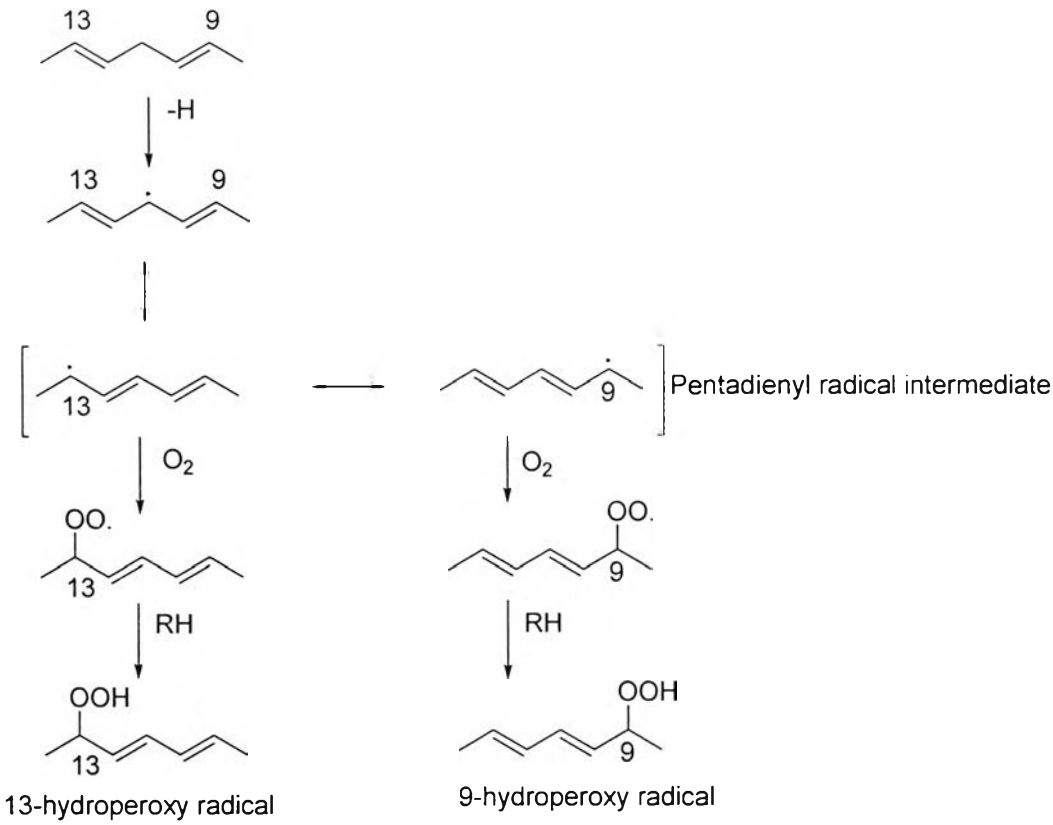


รูปที่ 2.1 แผนภูมิสรุปการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดออโตออกซิเดชันของไขมัน

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์ (2543)

การเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ของกรดไขมัน linoleic

เนื่องจากในโมเลกุลของกรด linoleic มีพันธะคู่ 2 อันระหว่างคาร์บอน 5 อะตอม ทำให้เกิดออกซิเดชันได้ง่ายกว่ากรดโอเลอิก (C18:1△ 9) ดังนั้นหมู่เมทิลีน (-CH_2-)ที่ตำแหน่ง 11 ของกรดไขมัน จะถูกกระตุ้นโดยพันธะคู่ที่อยู่ทั้งสองด้าน เมื่อกรดลิโนเลอิกเกิดเป็น pentadienyl radical intermediate จะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนทำให้เกิด 9- และ 13- ไดอีนไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 การเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ของกรดไขมัน linoleic

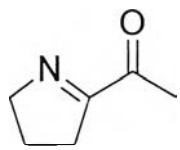
ที่มา : Fennema (1996)

n-hexanal

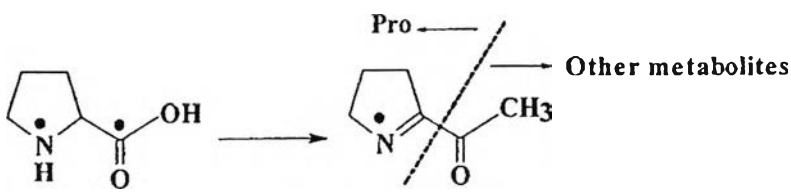
Grosch (1987) รายงานว่า n-hexanal เป็นผลผลิตทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (secondary oxidation product) ของกรด linoleic โดยมี linoleate 13-hydroperoxy radical (13-LOOH) เป็น precursor สาร n-hexanal เป็นสารที่ส่งผลให้เกิด off-flavour ในข้าวและสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดการเสื่อมเสียของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในข้าว (Wongpornchai และคณะ, 2004 และ Shin และ คณะ, 1986)

2.4 2-**อะเซติล-1-ไพร์โรลีน** (2-Acetyl-1-pyrroline; 2AP)

2AP เป็นสารที่มีบทบาทต่อกลิ่นหอมของข้าว Buttery และคณะ (1983) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารที่เป็นสารให้ความหอมในข้าว พบว่า สารระเหยสำคัญที่เป็นสารให้ความหอมในข้าว คือ 2AP ซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทที่สุดในความหอมของข้าว (Buttery, Ling และ Juliano ,1982) 2AP มีโครงสร้างดังนี้



Mahatheeranont และคณะ (2001) ได้ศึกษาสารระเหยมากกว่า 140 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบของสารสกัดที่มีกลิ่นหอมที่ได้จากการสกัดข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยวิธีการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลาย และรายงานว่าสาร 2AP เป็นสารที่มีบทบาทที่สุดในความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 Yoshihashi, Huong และ Inatomi (2002) พบว่า แหล่งของไนโตรเจนในโครงสร้างของ 2AP มาจาก L-proline ในข้าว (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิด 2-acetyl-1-pyrroline

ที่มา : Yoshihashi และ คณะ (2002)

สารหอม 2AP มีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี และเนื่องจากเป็นสารประกอบไนโตรเจนจึงทำให้สารนี้มีสมบัติเป็นเบสเล็กน้อย นอกจากนี้ยังเป็นสารหอมที่ระเหยได้ง่ายและไม่เสถียร Buttery (1983) พบว่า กลิ่นของสารหอม 2AP มีกลิ่นคล้ายกับใบเตย (*Pandanus amaryllifolius* Roxb) นอกจากจะพบ 2AP ในข้าวและใบเตย Wongpongchai และคณะ (2003) ยังพบว่ามี 2AP ในดอกชมนาดอีกด้วย

2.5 การเปลี่ยนแปลงของ n-hexanal และ 2AP ระหว่างเก็บข้าว

ในระหว่างการเก็บรักษาข้าว ไขมันในข้าวจะถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (Yasumatsu และคณะ, 1964) เมื่อกรดไขมันอิสระถูกออกซิไดซ์ทำให้เกิดสารประกอบโมเลกุลเล็กที่ให้กลิ่น off-flavour ในข้าว ได้แก่ สารประกอบคาร์บอนิล n-hexanal และ 2-pentylfuran โดยระหว่างการเก็บสารระเหยทั้งสองตัวมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ข้าวเก่ามีกลิ่นหืนมากขึ้น (Wongpornchai และคณะ, 2004; Widjaja, Craske และ Wootton ,1996)

Widjaja, Craske, และ Wootton (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารระเหยของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาวระหว่างการเก็บ โดยใช้ข้าวมีกลิ่นหอมพันธุ์ YRF6 เก็บในอุณหภูมิ 30°C และความชื้นสัมพัทธ์ 84% ภายใต้ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า การเปลี่ยนแปลงสารระเหยของข้าวในระหว่างเก็บภายใต้ความดันบรรยากาศ (ตารางที่ 2.2) ปริมาณสารคาร์บอนิล (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง n-hexanal) , n-pentanol, 2-pentylfuran, 1-octen-3-ol และ 4-vinylguaiacol มีการเพิ่มขึ้นระหว่างเก็บ การเพิ่มขึ้นของสารระเหยเหล่านี้เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการเพิ่มนี้เกิดกับข้าวขาว ›› ข้าวกล้อง › ข้าวเปลือก อาจเป็ นเพราะว่าข้าวขาวไม่มีรำและเปลือกที่ทำหน้าที่ป้องกันออกซิเจนจากภายนอก ทำให้ออกซิเจนสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันได้ง่าย อีกทั้งเซลล์ข้าวขาวยังถูกทำลายเป็นอย่างมากในระหว่างการขัดสี ทำให้เซลล์ปลดปล่อยเอนไซม์ไลเปสออกมาเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิดเร็วขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ข้าวขาวมีการเพิ่มขึ้นของสารระเหยมากที่สุด

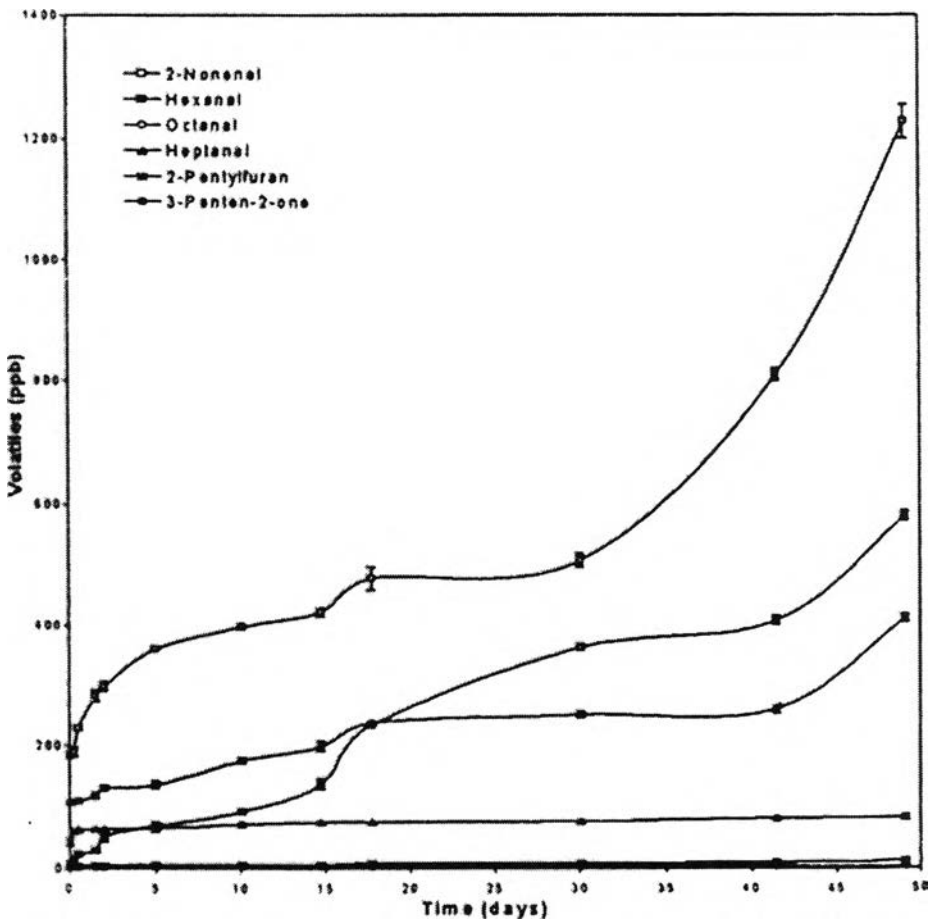
ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้น[a] ของสารระเหยหลักในข้าวใหม่และข้าวที่เก็บเป็นเวลา 3 เดือน ภายใต้ความดันบรรยากาศ

Peak Number	*Compound*	*Fresh white*	*Paddy*	*Stored browr*	*White*
14	*n*-Hexanal	1396	3194	3184	5066
15	2-Hexanone	18	21	34	31
16	Pyridine	9	5	6	16
19	*n*-Pentanol	104	206	291	391
23	2-Pentylfuran	121	196	172	434
26	*n*-Heptanal	102	78	84	158
27	2-Heptanone	92	65	67	92
30	(*E*)-2-Hexenal	233	18	20	31
32	*n*-Hexanol	60	48	156	36
33	Methyl heptanoate	21	14	5	8
36	2-Acetyl-1-pyrroline	670	344	321	326
—[b]	Collidine (TMP)				
37	*n*-Octanal	83	121	143	351
40	6-Methyl-5-hepten-2-one	34	78	107	102
41	(*E*)-2-Heptenal	97	182	233	258
42	1-Octen-3-ol	75	90	142	128
43	*n*-Heptanol	30	34	80	6
47	*n*-Nonanal	244	174	157	439
48	2-Nonanone	tr	27	6	17
53	Benzaldehyde	52	85	104	120
54	(*E*)-2-Octenal	98	153	188	316
55	*n*-Octanol	52	17	62	90
58	(*E*)-2, (*E*)-4-Heptadienal	14	21	12	23
65	*n*-Decanal	36	34	52	64
69	(*E*)-2-Nonenal	41	47	54	92
71	*n*-Nonanol	16	8	14	19
74	Acetophenone	48	38	81	20
75	Phenylacetaldehyde	23	45	38	44
76	*n*-Undecanal	6	12	15	17
77	2-Undecanone	9	ND	ND	5
82	(*E*)-2-decenal	30	26	27	182
85	(*E*)-2, (*E*)-4-Nonadienal	6	ND	ND	7
89	2-Phenylethanol	217	20	76	31
96	(*E*)-2, (*E*)-4-Decadienal	97	56	56	255
99	2-Tridecanone	tr	6	4	4
110	2-Pentadecanone	95	74	42	17
111	4-Vinylguaiacol[c]	84	181	137	146
115	4-Vinylphenol[c]	72	62	44	68
118	Indole	88	72	44	27

[a] Expressed as $\mu g\ kg^{-1}$ rice wet weight.
[b] Internal standard.
[c] Tentatively identified.

ที่มา : Widjaja, Craske และ Wootton (1996)

Lam และ Procter (2003) ศึกษาสารระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิดในข้าวกล้องพันธุ์ผสมระหว่าง Cocodrie, Wells และ Drew โดยเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 37°C และความชื้นสัมพัทธ์ 70% เป็นเวลานาน 50 วัน พบว่า สาร n-hexanal มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างการเก็บ 3 วันแรกและเพิ่มต่อเนื่องไปจนถึงวันที่ 50 (รูปที่ 2.4) โดยเสนอว่าเกิดจากทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วย lipoxygenase และปฏิกิริยา lipid auto-oxidation



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารระเหยจากข้าวกล้องที่เก็บที่ 37°C และความชื้นสัมพัทธ์ 70%

ที่มา: Lam และ Procter (2003)

Wongpornchai และคณะ (2004) ศึกษาผลของการอบแห้งและระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อปริมาณสารหืน n-hexanal และ 2-pentylfuran ของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 วิธีการที่ใช้ในการอบแห้งประกอบไปด้วย การอบแห้งด้วย modified air ที่ 30 และ 40°C การอบแห้งด้วย hot air ที่ 40 50 และ 70°C และการตากแดดจนกระทั่งข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือ 13-15 % (น้ำหนักสด) หลังจากนั้นเก็บรักษาข้าวเปลือกในถุงกระสอบ ที่อุณหภูมิ 20-35 °C และความชื้น

สัมพัทธ์ 70-85% เป็นเวลา 10 เดือน พบว่า ปริมาณ n-hexanal และ 2-pentylfuran ของข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา และการใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้งข้าวเปลือกจะเป็นการเพิ่มปริมาณ n-hexanal และ 2-pentyl furan ทำให้คุณภาพด้านกลิ่นของข้าวลดลง

นอกจากการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ยังมีสารระเหยอีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญมากในข้าว คือ 2AP เพราะเป็นสารที่มีบทบาทต่อความหอมของข้าว

Widjaja, Craske และ Wootton (1996) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารระเหยของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาวระหว่างการเก็บ โดยใช้ข้าวมีกลิ่นหอมพันธุ์ YRF6 เก็บในอุณหภูมิ 30°C และความชื้นสัมพัทธ์ 84% ภายใต้ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า ในระหว่างการเก็บ 3 เดือน ปริมาณ 2AP ลดลง 40-50% ในข้าวทุกรูปแบบ (ตารางที่ 2.2)

Wongpornchai และคณะ (2004) ศึกษาผลของการอบแห้ง และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ 2AP ในข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 10 เดือน พบว่า ปริมาณสารหอม 2AP ในตัวอย่างข้าวจะลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา และการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอุณหภูมิสูงจะทำให้ปริมาณสารหอม 2AP ของข้าวเปลือกลดลงมากกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ แสดงให้เห็นว่าความร้อนที่สูง เป็นปัจจัยที่ทำให้สารหอม 2-AP ระเหยมากขึ้น

2.6 การวิเคราะห์สารหืน n-hexanal และสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline ในข้าว

วิธีการตรวจสอบความหอมในเมล็ดข้าวได้มีการพัฒนามาเรื่อยๆ เริ่มตั้งแต่การทดสอบกลิ่นด้วยวิธีการดมโดยผู้เชี่ยวชาญและมีการให้ระดับคะแนนความหอมของข้าวเป็นระดับต่างๆ ตั้งแต่ "ไม่หอม" จ นถึง "หอม" แ ละ "หอมมาก" ต่ อมาได้มีการศึกษาถึงสารประกอบที่ให้กลิ่นในข้าวด้วยการใช้วิธีการแยกสารประกอบที่ให้กลิ่นด้วย gas chromatography และระบุว่าเป็นสารประกอบชนิดใดด้วยวิธี mass spectrometry หรือ GC-MS

Yajima และคณะ (1978) ได้ศึกษาสารประกอบที่ให้กลิ่นในข้าวหุงสุกโดยการใช้เทคนิคที่เรียกว่า "Steam Distillation Continuous Extraction" หรือ SDE ในข้าวหอมพันธุ์ Koshihikari ของญี่ปุ่น และเมื่อวิเคราะห์สารหอม ในข้าวหุงสุกด้วย GC-MS ทำให้พบสารหอมระเหยอยู่มากกว่าร้อยชนิด ซึ่งประกอบด้วย สารประกอบกลุ่ม hydrocarbons 13 ชนิด, alcohols 13 ชนิด, aldehydes 16 ชนิด, ketones 14 ชนิด, acids 14 ชนิด, esters 8 ชนิด, phenols 5 ชนิด, pyridine 3 ชนิด, pyrazines 6 ชนิด และ สารประกอบอื่นอีก 8 ชนิด

Mahatheeranont และคณะ (2001) ได้ทำการพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณสาร 2AP ในข้าวดิบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายกรด เนื่องจากสาร 2AP มีสมบัติทางเคมีเหมาะสมที่สามารถถูกสกัดออกมาจากข้าวได้โดยใช้สารละลายกรดอ่อนเช่นกรด acetic หรือ hydrochloric แต่

วิธีนี้มีข้อเสียคือใช้เวลาในการสกัดนานและใช้ตัวทำละลายปริมาณมาก จึงมีเทคนิคหนึ่งที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สาร 2AP และ n-hexanal คือ เทคนิค solid phase microextraction (SPME)-GC-MS (Wongpornchai และคณะ, 2004) เนื่องจากสารหืน n-hexanal และสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline จัดเป็นสารระเหยประเภทหนึ่ง โดยเทคนิค SPME นี้มีข้อดีตรงที่ไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ในการสกัดสารอีกทั้งสะดวกและรวดเร็ว

หลักการของเทคนิค SPME

SPME จัดเป็น dynamic headspace sampling ประเภทหนึ่ง ที่มีการสกัดสารระเหยจาก headspace ของตัวอย่างด้วยตัวดูดซับ (absorbent) หลังจากนำตัวดูดซับออกจาก headspace ของตัวอย่างแล้ว จึงทำให้สารระเหยหลุดออกจากตัวดูดซับโดยการให้ความร้อนหรือละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม ขณะเดียวกันสารระเหยนั้นถูกวิเคราะห์ต่อด้วยเทคนิค chromatography

เทคนิคและอุปกรณ์ SPME ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1990 สามารถใช้ได้ดีกับสารระเหยทั้ง volatile และ semi-volatile ทั้งที่มีสมบัติ polar และ non-polar ในตัวอย่างทั้งตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของเหลวและของแข็ง (Zhang และคณะ, 1994) เทคนิคนี้จึงได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องในการใช้สกัดสารระเหยโดยเฉพาะในอาหาร เครื่องสำอาง และตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีรูปแบบกระทัดรัด ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ และเข้ากันได้ดีกับการวิเคราะห์ด้วย GC

หลักการของเทคนิค GC-MS

เทคนิค GC นับเป็นเทคนิคที่มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้แยกและวิเคราะห์องค์ประกอบสารที่มีคุณสมบัติเป็นระเหยในสารสกัด และสารให้กลิ่นส่วนใหญ่จัดเป็นสารระเหย

GC เป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการแยกสารทางโครมาโทกราฟี โดยที่โครมาโทกราฟีทุกรูปแบบเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจาย (distribution) หรือการแบ่งส่วน (partition) ของโมเลกุลของสารประกอบใด ๆ ในวัฏภาค (phase) ที่แตกต่างกันสองวัฏภาค วัฏภาคหนึ่งเป็นวัฏภาคคงที่ (stationary phase) และอีกวัฏภาคหนึ่งเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) การแพร่กระจายหรือการแบ่งส่วนของโมเลกุลของสารประกอบใด ๆ ระหว่างวัฏภาคทั้งสองจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับแรงกระทำหรือการละลายสัมพัทธ์ (relative solubility) ของสารนั้นในแต่ละวัฏภาค เมื่อสารประกอบในของผสมที่ต้องการแยกองค์ประกอบเคลื่อนที่ผ่านวัฏภาคคงที่ โดยมีวัฏภาคเคลื่อนที่นำพาไป สารประกอบแต่ละตัวจะถูกเหนี่ยวรั้งด้วยแต่ละวัฏภาคมากน้อยแตกต่างกันไป และเนื่องจากสารประกอบแต่ละตัวนั้นมีแรงกระทำต่อวัฏภาคทั้งสองวัฏภาคแตกต่างกัน จึงทำให้สารองค์ประกอบแต่ละตัวนั้นเคลื่อนที่ไปตามวัฏภาคเคลื่อนที่ในอัตราเร็วที่ต่างกัน

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ มีองค์ประกอบพื้นฐานแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นถังบรรจุแก๊สพา (carrier gas) ที่ทำหน้าที่เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่ ส่วนที่สองเป็นห้องควบคุมอุณหภูมิ (oven) ที่มี

ช่องฉีดสาร (injection port) และคอลัมน์ติดตั้งอยู่ภายในพร้อมตัวควบคุมอุณหภูมิ และส่วนสุดท้ายเป็นระบบเก็บและประมวลผลข้อมูล (data processing and storage)

เทคนิคสำคัญอย่างหนึ่งในแก๊สโครมาโทกราฟี ก็คือการโปรแกรมอุณหภูมิ หรือที่มักจะเรียกกันโดยย่อว่า PTGC (programmed-temperature gas chromatography) เทคนิคนี้ใช้เพื่อช่วยให้การแยกดีขึ้นและลดเวลาในการวิเคราะห์ โดยเฉพาะสำหรับสารตัวอย่างที่ซับซ้อนซึ่งมีสารประกอบมากและมีช่วงจุดเดือดแตกต่างกันมาก (มงคล รายะนาคร, 2537)

เมื่อสารประกอบที่แยกด้วยเครื่อง GC แล้ว เข้าไปสู่สุญญากาศของเครื่อง mass spectrometer สารประกอบจะถูกทำให้แตกหักเป็นแฟรกเมนต์ (fragments) ย่อยๆ ในรูปของไอออน (ions) โดยกระแสของอิเล็กตรอน (stream of electrons) แล้วแยกไอออนตามขนาดมวลของมัน ได้รูปแบบที่แน่นอน (definite pattern) ของจำนวนไอออนที่มีเรียกว่า แมสสเปกตรัม (mass spectrum) มีลักษณะเฉพาะสำหรับแต่ละสารประกอบสามารถบอกเอกลักษณ์ของสารได้ (มงคล รายะนาคร, 2537)

2.7 การเคลือบข้าว

การเคลือบข้าวโดยส่วนใหญ่เป็นการเคลือบเพื่อเสริมสารอาหารในข้าว ซึ่งการเคลือบจะใช้สารเคลือบที่ไม่ละลายน้ำ แต่จะปล่อยสารอาหารอื่นเมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารจึงทำให้รักษาสารอาหารไว้ได้ระหว่างการล้างข้าวและเมล็ดข้าวที่ได้จะมีลักษณะและสีเหมือนข้าวปกติ ข้อดีของวิธีนี้คือ สารอาหารมีความคงตัว การวิเคราะห์และตรวจสอบสารอาหารที่เสริมในผลิตภัณฑ์สุดท้ายทำได้ง่าย โดยสารที่ใช้เคลือบเป็นพวกเซลลูโลส (Peil et al., 1982) หรือแป้งข้าว (ฑิติกาน เมฆจรัสกุล, 2545 และ ธนานันต์ โรจนศศิธรา, 2545)

ดังตัวอย่างงานวิจัยของ ฑิติกาน เมฆจรัสกุล(2545) ที่ทำการเสริมธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวโดยวิธีการเคลือบด้วยเจลแป้งข้าวที่ต้องการเสริมธาตุเหล็ก ให้มีปริมาณเหล็ก 3.33 mg/100g (น้ำหนักเปียก) โดยแปรพันธุ์ข้าวที่ใช้คือ ขาวดอกมะลิ105 และก่ำดอยสะเก็ด แปรชนิดของเหล็กคือ เฟอร์รัสซัลเฟต (FS) เฟอร์ริกไพโรฟอสเฟต (FP) และไอร์ออนไกลซีน (IG) ข้าวเสริมธาตุเหล็กที่ได้มีปริมาณเหล็ก 3.045-3.397 mg/100g (น้ำหนักเปียก) ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เสริมด้วย FS และ IG มีปริมาณเหล็กหลังการล้างสูงสุด และข้าวขาวดอกมะลิ 105 เสริมธาตุเหล็กมีปริมาณเหล็กเหลือหลังจากหุงมากกว่าข้าวก่ำดอยสะเก็ดเสริมธาตุเหล็ก เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของข้าวเสริมธาตุเหล็กที่เก็บไว้เป็นเวลา 9 เดือน พบว่า ปริมาณเหล็กในข้าวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ($p \leq 0.05$) ข้าวก่ำดอยสะเก็ดที่เสริมด้วยเหล็กทั้งสามชนิดมีค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ใกล้เคียงกัน (9.47-9.71 meq/kg) และมีค่า PV ไม่แตกต่างกับค่า PV ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เสริมด้วย FS อย่างมี

นัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยข้าวก่ำดอยสะเก็ดมีอัตราการเพิ่มของค่า PV น้อยกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 นอกจากนี้ FS ทำให้ข้าวมี PV เพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือ IG และ FP ตามลำดับ

2.8 บรรจุภัณฑ์

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ถุงผ้าดิบมาเป็นตัวแทนของภาวะที่มีทั้ง น้ำ อากาศ และแสงผ่านเข้าออกได้อิสระ ส่วนถุง polypropylene ใช้เป็นตัวแทนของภาวะที่มีอากาศและน้ำผ่านได้บางส่วน และแสงสามารถผ่านได้เช่นกัน และใช้ถุง laminated ชนิด oriented polypropylene (OPP) / aluminum (Al) / linear low density polyethylene (LLDPE) และทำให้อยู่ในสภาวะสุญญากาศ เพื่อเป็นตัวแทนของภาวะที่ป้องกันทั้งน้ำ อากาศและแสงได้เป็นอย่างดี เพราะฉะนั้นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้คำว่า laminated ซึ่งหมายถึงถุง OPP/Al/LLDPE

จากรายงานวิจัยในวารสารปริทัศน์ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้การเคลือบข้าวด้วยเจลแป้งข้าว (ฑิติกาน เมฆจรัสกุล, 2545 และ ธนานันต์ โรจนศศิธรา, 2545) ร่วมกับการใช้บรรจุภัณฑ์มาช่วยชะลอการลดลงของกลิ่นหอม 2AP และป้องกันการเกิดกลิ่นหืน n-hexanal จากออกซิเดชันของกรดไขมัน โดยงานวิจัยที่เคลือบข้าวส่วนใหญ่ทำเพื่อเสริมสารอาหารลงบนข้าว แต่ก็ยังไม่มีงานวิจัยใดศึกษาว่าการเคลือบนั้นมีผลอย่างไรต่อ 2AP ในข้าว และในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิค solid phase microextraction (SPME) ในการสกัดสาร 2AP และ n-hexanal ในข้าว เพราะเป็นเทคนิคที่สามารถสกัดสารหอมและสารหืนได้ในเวลาเดียวกัน อีกทั้งเป็นเทคนิคที่ไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ สะดวกและรวดเร็ว และวิเคราะห์สารทั้งสองด้วยเทคนิค GC-MS