

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าที่จะเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ (Free radical chain reaction) (นิธิยา, 2544ก) ปฏิกิริยานี้จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพเสื่อมลง เนื่องจากเกิดการสลายตัวของกรดไขมันจำเป็นในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือการสลายตัวของวิตามินชนิดที่ละลายได้ในไขมัน เช่น วิตามินเอ ดี อี และเค เป็นต้น หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือสารพิษเกิดขึ้น เช่น สารก่อมะเร็ง หรืออาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสและเนื้อสัมผัส นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะสีประเภทแคโรทีนอยด์ ไมโอโกลบิน แอนโทไซยานิน และคลอโรฟิลล์ เป็นต้น (ศิวาพร, 2546) ดังนั้นจึงทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้จึงมีวิธีการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้สารป้องกันการหืนหรือสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) เดิมในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบ

#### 2.1 ความหมายของอนุมูลอิสระ (Free radical, R<sup>•</sup>)

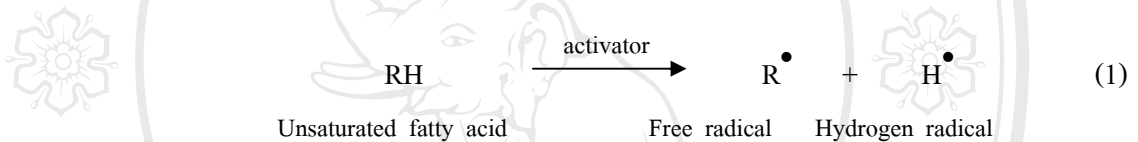
อนุมูลอิสระ หมายถึง อนุภาคใดๆ ที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวเท่ากับหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่ง อิเล็กตรอนอยู่รอบนอกและมีอายุสั้นมากประมาณ 1 หรือ  $10^{-3}$ - $10^{-10}$  วินาที จึงจัดว่าเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี (พรทิพย์, 2547) ปกติจะใช้สัญลักษณ์ R แสดงถึงอนุมูลอิสระที่ไม่เฉพาะเจาะจง โดยการใส่จุดที่ตำแหน่งบนขวาของสูตรโมเลกุลเดิมเพื่อแสดงถึงอิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่ โดยทั่วไปอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นอนุมูลประจุบวก เรียกว่า อนุมูลแคทไอออน (Cation radical) ใช้สัญลักษณ์  $(R)^+$  และอนุมูลประจุลบ เรียกว่า อนุมูลแอนไอออน (Anion radical) ใช้สัญลักษณ์  $(R)^-$  หรืออนุมูลที่มีประจุเป็นกลาง ใช้สัญลักษณ์  $R^{\bullet}$  เป็นต้น (Roberfroid and Calderon, 1995)

## 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระจะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอนดังนี้

### 2.2.1 ขั้นตอนเริ่มต้น (Initiation step)

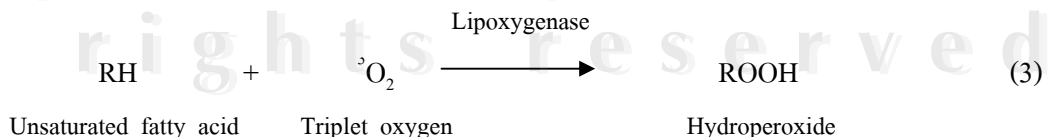
เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่าหนึ่งกระบวนการ โดยเกิดจากการดึงไฮโดรเจนอะตอมออกจาก Allylic methylene group (RH) ของโมเลกุลกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยมี แสง ความร้อน รังสีหรือโลหะไอออน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็นอนุมูลอิสระและอนุมูลไฮโดรเจน (Hudson, 1990) ดังสมการ(1)



นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวยังสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Singlet oxygen,  $^1\text{O}_2$ ) ซึ่งหมายถึงออกซิเจนในสถานะที่ถูกกระตุ้น (Excited stage)  $^1\text{O}_2$  เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัว จะทำให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hudson, 1990) ดังสมการ (2)



สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์นี้สามารถเกิดขึ้นได้ในปฏิกิริยาที่มีออกซิเจนในสถานะ Ground stage ซึ่งเรียกว่า Triplet oxygen ( $^3\text{O}_2$ ) แต่ต้องมีเอนไซม์ Lipoxygenase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ (3)



พันธะ O-O ในโมเลกุลของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นพันธะอย่างอ่อน สามารถสลายได้ง่าย ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ดังสมการ (4) และ (5)



ในปฏิกิริยาที่มีโลหะไอออน เช่น เหล็ก และทองแดง พบว่าจะช่วยเร่งการสลายโมเลกุลของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้น ดังสมการ (6) และ (7)



ปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้อาจเกิดขึ้นโดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจน เพียงแค่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แสง อุณหภูมิ และโลหะไอออน เป็นต้น ก็เพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ (Tyman, 1999)

### 2.2.2 ขั้นตอนเพิ่ม (Propagation step)

เป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลตัวอื่น ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระกับ  $^3\text{O}_2$  ทำให้เกิดอนุมูลเพอร์ออกซี (Peroxy radical,  $\text{ROO}^\bullet$ ) ดังสมการ (8)



อนุมูลเพอร์ออกซี ( $\text{ROO}^\bullet$ ) สามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อไป ได้ผลิตภัณฑ์คือสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) และอนุมูลอิสระ ( $\text{R}^\bullet$ ) ดังสมการ (9)



อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป

### 2.2.3 ขั้นตอนสุดท้าย (Termination step)

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่คงตัวหรือเสถียร ไม่ใช่เป็นอนุมูลอิสระ (Non-radical products) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระ 2 โมเลกุลของสารประกอบที่ไม่คงตัวจากขั้นตอนเพิ่ม รวมกันได้เป็นสารที่มีความคงตัว จึงเป็นการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระ ดังสมการ (10) (11) และ (12)



### 2.3 การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันและไขมันในผลิตภัณฑ์อาหาร มีดังนี้

1. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) พบมากที่สุด เป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวกับออกซิเจน ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้น ดังภาพ 2.1 มักเกิดขึ้นในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันหมู เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจัยที่มีส่วนในการทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเร็วขึ้นหรือช้าลง ได้แก่ ชนิดของกรดไขมัน แสง อุณหภูมิ ออกซิเจน โลหะ เอนไซม์ และรังสี เป็นต้น

2. การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายของน้ำมันและไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งก่อให้เกิดกรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล จะได้กลิ่นรสของสบู่เกิดขึ้น (นิธิยา, 2545) ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นถ้ามีน้ำหรือเอนไซม์อยู่ หรืออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงหรือความชื้นสูง (ศิวาพร, 2546)

3. การเกิดปฏิกิริยารีเวอร์ชัน (Reversion) เป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ไขมันบางชนิดมีกลิ่นรสเสื่อมไปก่อนที่จะเกิดการเหม็นหืน ซึ่งจะก่อให้เกิดกลิ่นคล้ายสี หรือกลิ่นคล้ายหญ้า โดยมากมักจะเกิดในน้ำมันพืช น้ำมันปลา และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอื่นๆ (ไพโรจน์, 2539ข)

4. การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดการจับตัวกันระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวโดย Cross-link ระหว่างคาร์บอน 2 อะตอมของกรดไขมันไม่อิ่มตัว 2 โมเลกุลขึ้นไป หรืออาจเกิดขึ้นโดยออกซิเจนที่ยึดพันธะระหว่างคาร์บอน 2 อะตอมดังกล่าว

ซึ่งจะได้สารประกอบที่มีโครงสร้างแบบวงจร ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานาน เช่น น้ำมันที่ใช้ในการทอด

### 2.3.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหาร มีดังนี้

#### 1. ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ

เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไขมัน และน้ำมันมีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเท่านั้นที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และอัตราเร็วของการเกิดจะแตกต่างกัน กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากจะเกิดได้เร็วกว่า

#### 2. กรดไขมันไม่อิ่มตัวอิสระ

กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในรูปอิสระจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายกว่าที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

#### 3. ความเข้มข้นของออกซิเจน

ในภาวะที่มีออกซิเจนมาก อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ในภาวะที่มีออกซิเจนน้อยอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน อย่างไรก็ตามผลของออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจน (นิธิยา, 2545)

#### 4. อุณหภูมิ

อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิจะเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนของการเพิ่ม และเร่งการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น

#### 5. พื้นที่ผิว

อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นหากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเร็วขึ้น สำหรับอาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของออกซิเจนเข้าไปยังส่วนที่เป็นน้ำมัน

## 6. ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $a_w$ )

อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับค่า  $a_w$  อาหารแห้งที่มีความชื้นต่ำมาก ( $a_w$  น้อยกว่า 0.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อ  $a_w$  เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 0.3 จะยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด เมื่อค่า  $a_w$  เพิ่มขึ้นมากซึ่งอยู่ในช่วง 0.55-0.85 อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

## 7. โลหะ

แร่ธาตุหรือโลหะบางชนิด เช่น โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และนิกเกิล มีสมบัติเป็น Prooxidant ได้ ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ppm ซึ่งจะเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ แร่ธาตุหรือโลหะเหล่านี้ได้มาจากดินที่ปลูกพืช และปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันพืชหรือมาจากสัตว์ และอุปกรณ์โลหะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา

## 8. เอนไซม์ Lipoxygenase

พบในเครื่องเทศ แป้งสาลี และผัก ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนของน้ำมันและไขมันพวกที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้ง โดยจะไปเพิ่มอัตราเร็วของการเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และการสลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ระเหยได้ (Madhavi *et al.*, 1996)

## 9. การเกิดอิมัลชัน

ในอาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water) หยดน้ำมันจะกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ ออกซิเจนจะต้องแพร่กระจายผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำเข้าไปยังหยดน้ำมันผ่านชั้นระหว่างผิวของน้ำกับน้ำมัน ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย เช่น ชนิดและความเข้มข้นของอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ ขนาดของอนุภาคหยดน้ำมัน พื้นที่ผิว ความหนืดของตัวกลางที่เป็นน้ำ ค่าความเป็นกรด - ค่า ส่วนประกอบ และขนาดรูของตัวกลาง เป็นต้น

## 10. แสงและรังสี

แสงและรังสีต่างๆ เช่น แสงที่มองเห็นได้ แสงอัลตราไวโอเล็ต และแกมมา มีผลช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเร็วขึ้น

## 11. สารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชันจะช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ซึ่งมีทั้งสารต้านออกซิเดชันในธรรมชาติ เช่น วิตามินอีในน้ำมันพืช และสารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารสังเคราะห์ และได้รับอนุญาตให้เติมลงในอาหารได้ เช่น BHA, BHT, TBHQ และ PG เป็นต้น

### 2.3.2 ผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อผลิตภัณฑ์อาหาร

#### 1. การทำลายโปรตีน

โปรตีน เปปไทด์ และกรดอะมิโน เป็นสารประกอบที่ค่อนข้างไวต่อสารเคมี และภาวะต่างๆ ได้ง่าย มีผลทำให้โครงสร้างของโปรตีนเปลี่ยนไป (นิธิยา, 2545) ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีแสง รังสี โลหะไอออน เป็นตัวเร่ง จะเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง มีผลทำให้การทำงานเปลี่ยนไปโดยส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส สี ความสามารถในการละลายน้ำของโปรตีนลดลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อการสูญเสียคุณค่าอาหาร เนื่องจากสูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็น (Madhavi *et al.*, 1996)

#### 2. การเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน ซึ่งเป็นกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์กลิ่นเหม็นหืนที่เกิดขึ้นเกิดจากสารจำพวกอัลดีไฮด์ หรือ คีโตน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ตัวอย่างเช่น ในเนื้อสัตว์มักจะเกิดกลิ่นรสผิดปกติ เช่น กลิ่นเหม็นเขียว กลิ่นหืน กลิ่นไขมัน กลิ่นฉุน และกลิ่นรสผิดปกติอื่นๆ (Johnson *et al.*, 1992)

#### 3. การสูญเสียวิตามิน

วิตามินที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันได้ เช่น วิตามินเอ เบต้าแคโรทีน วิตามินอี และซี เป็นต้น ซึ่งจะทำหน้าที่จับกับออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา ทำให้เกิดอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นเริ่มต้น และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่คงตัว ทำให้สามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้นต่อเนื่องได้ วิตามินเอ และวิตามินซี จะมีความไวต่อออกซิเจน ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงจากแสง เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการสูญเสียวิตามินด้วย (Madhavi *et al.*, 1996)

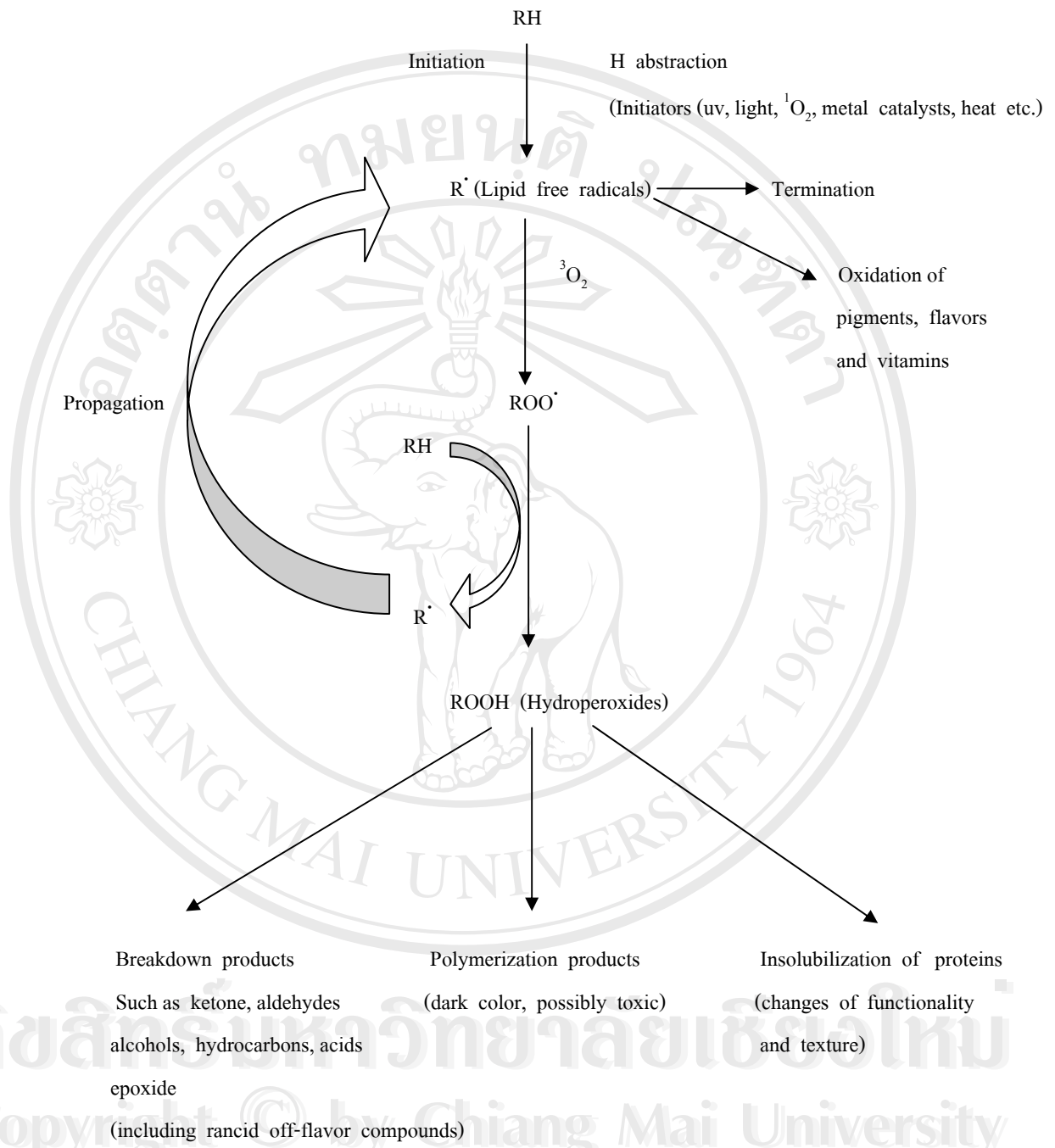
#### 4. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมคัสตี

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อาหาร จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากมาย โดยเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบในอาหาร เช่น เมคัสตี กรดอะมิโน เป็นต้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ตัวอย่างเช่น ในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพืชจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมคัสตี ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลเกิดขึ้น

#### 2.3.3 วิธีการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันหรือไขมัน

1. การใช้สารป้องกันการหืน (Antioxidant)
2. การทำ Hydrogenation หมายถึง การเติมไฮโดรเจนตรงพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันและไขมัน การใช้เอนไซม์
3. การใช้เอนไซม์
4. การกำจัดอากาศ
5. สภาพการบรรจุหีบห่อ ควรบรรจุในสภาพสุญญากาศหรือในสภาพที่มีก๊าซไนโตรเจนหรือใช้วัสดุหีบห่อที่มีสีเข้ม ส่วนมากจะใช้สีน้ำตาลเพื่อป้องกันแสงสว่างและการแผ่รังสีหรืออาจใช้วิธีการบรรจุในกระป๋อง
6. ป้องกันการปนเปื้อนจากโลหะหนักต่างๆ เนื่องจากถ้าหากมีโลหะหนักปนเปื้อนมา แม้ในปริมาณที่ต่ำมาก เพียงแค่ 0.1-1.0 ppm ก็สามารถเร่งให้มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เร็วขึ้น (ศิวาพร, 2546)





ภาพ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว  
 ที่มา : Shahidi and Naczk (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved

## 2.4 สารป้องกันการหืน (Antioxidant)

สารป้องกันการหืนหรือสารต้านออกซิเดชัน หมายถึง สารที่สามารถชะลอจุดเริ่มต้นหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือออโตออกซิเดชัน (Autoxidation) ของไขมันอย่างช้าๆ (นิธิยา, 2545) ซึ่งช่วยทำให้ไขมันหรือน้ำมัน และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันหรือน้ำมันเป็นองค์ประกอบเกิดการหืนได้ช้าลง แต่ไม่สามารถทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วดีขึ้น (มณฑาทิพย์, 2539) สารป้องกันการหืนสามารถพบได้ในอาหารโดยธรรมชาติ อีกทั้งยังสามารถเติมเข้าไปในผลิตภัณฑ์อาหารได้ หรืออาจเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตได้เช่นกัน ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีคุณภาพดีขึ้น รวมทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นอีกด้วย (Akoh and Min, 1998)

การเติมสารป้องกันการหืนลงในผลิตภัณฑ์อาหาร ควรพิจารณาถึงความสามารถในการละลายในไขมัน สารป้องกันการหืนจะต้องไม่มีผลต่อกลิ่นรสของอาหารตลอดช่วงอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และจะต้องมีประสิทธิภาพอย่างน้อย 1 ปี ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้จะต้องมีความคงตัวเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน รวมทั้งก่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (Joseph and Anthony, 1995)

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration, FDA) กำหนดให้สารป้องกันการหืนเป็นสารที่ใช้รักษาคุณภาพอาหาร โดยชะลอการเสียที่เกิดการหืนหรือการเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารป้องกันการหืนควรมีคุณสมบัติดังนี้ คือ

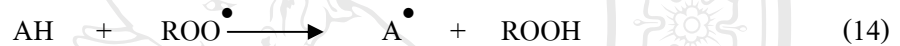
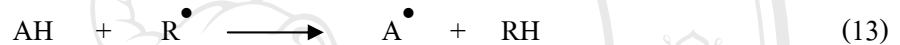
1. ต้องไม่มีโทษต่อร่างกาย
2. ไม่ทำให้ไขมัน น้ำมันหรืออาหารที่เติมสารป้องกันการหืนมีสี กลิ่น และรสชาติเปลี่ยนไป
3. ให้ผลในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความเข้มข้นต่ำ
4. ละลายได้ดีในไขมันและน้ำมัน
5. ทนต่อกระบวนการแปรรูปอาหาร
6. หาซื้อได้ทั่วไป และมีราคาถูก

### 2.4.1 ประเภทของสารป้องกันการหืน

แบ่งตามหน้าที่ ได้ 5 ประเภท ดังนี้

#### 1. สารป้องกันการหืนปฐมภูมิ (Primary antioxidant)

สารป้องกันการหืน (AH) กลุ่มนี้ ทำหน้าที่เป็นตัวให้ไฮโดรเจนอะตอมหรืออิเล็กตรอน แก่อนุมูลอิสระ ซึ่งจะยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนเริ่มต้น โดยจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ ( $R^\bullet$ ) ดังสมการ(13) หรือยับยั้งในขั้นตอนการเพิ่ม โดยจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกซี (Peroxy radical,  $ROO^\bullet$ ) หรืออนุมูลอัลคอกซี (Alkoxy radical,  $RO^\bullet$ ) ดังสมการ(14) และ (15)



อนุมูลอิสระของสารป้องกันการหืน ( $A^\bullet$ ) จะทำปฏิกิริยาต่อในขั้นตอนสุดท้าย โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลเพอร์ออกซี ( $ROO^\bullet$ ) อนุมูลอัลคอกซี ( $RO^\bullet$ ) และอนุมูลของสารป้องกันการหืน ( $A^\bullet$ ) ดังสมการ (16) (17) และ (18) ซึ่งจะช่วยให้ปฏิกิริยาหยุดลงและได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้อยู่ในรูปของอนุมูลอิสระ แสดงดังภาพ 2.2



สารป้องกันการหืนปฐมภูมิที่ใช้เดิมในอาหาร ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดสังเคราะห์ ได้แก่ Propyl gallates (PG), Butylated hydroxyanisol (BHA), Butylated hydroxytoluene (BHT) และ Tertiary butyl hydroquinone (TBHQ) นอกจากนี้ยังพบในธรรมชาติ ได้แก่ โทโคเฟอรอล และ แครโรทีนอยด์ เป็นต้น (Hudson, 1990 ; Akoh and Min, 1998) สารเหล่านี้จะต้องมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้นที่ต่ำ แต่ถ้ามีการใช้ในปริมาณสูงก็จะทำหน้าที่เป็น Prooxidants (Madhavi *et al.*, 1996)

## 2. สารจับออกซิเจน (Oxygen scavengers)

เป็นสารที่หยุดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ โดยเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจึงทำให้เกิดอนุมูลอิสระลดลง สารจับออกซิเจนนี้ทำหน้าที่เป็นสารเสริมฤทธิ์สารป้องกันการหืนคือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารป้องกันการหืน แต่ตัวสารจับออกซิเจนเองไม่มีความสามารถในการเป็นสารป้องกันการหืนหรือมีน้อย ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก กรดอิริทอร์บิก และ โซเดียมอิริทอร์เบท เป็นต้น

## 3. สารป้องกันการหืนทุติยภูมิ (Secondary antioxidant)

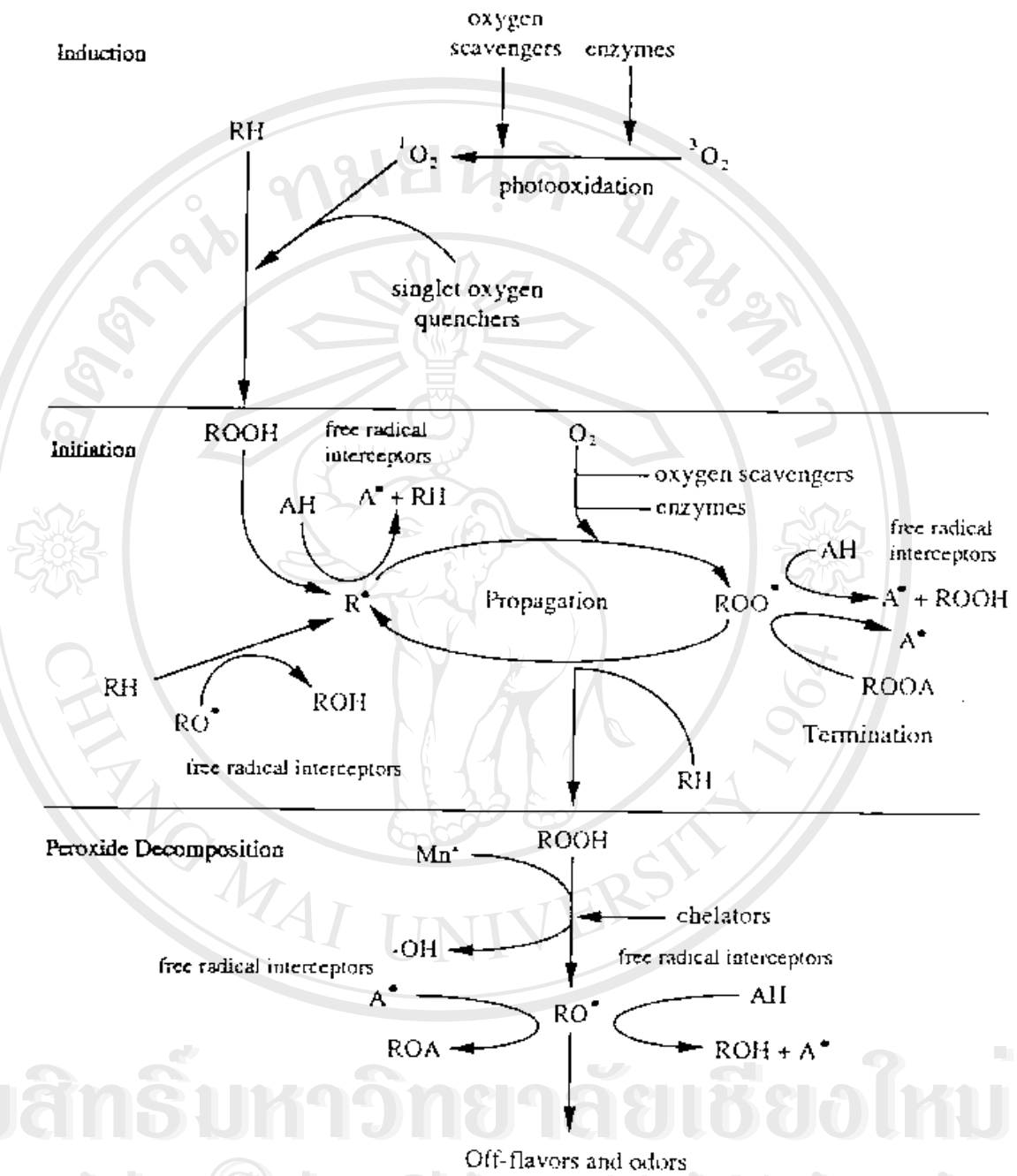
เป็นสารที่ใช้ชะลออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน สารเหล่านี้จะทำหน้าที่จับโลหะไอออน จับออกซิเจน และดูดซับสารรังสีอุลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นตัวเร่งของการเกิดปฏิกิริยา อีกทั้งยังทำหน้าที่สลายสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ไปเป็นอนุมูลที่เสถียรหรือคงตัว โดยไม่สลายเป็นอัลดีไฮด์หรือคีโตน ซึ่งเป็นสารที่หักกลิ่นหืน สารเหล่านี้ได้แก่ Dilaurylthiopropionate และ Thiodipropionic acid เป็นต้น (Hudson, 1990) แต่สารเหล่านี้ทาง FDA ยังไม่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Madhavi *et al.*, 1996)

## 4. เอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการหืน (Enzymic antioxidant)

เอนไซม์เหล่านี้ได้แก่ Glucose oxidase, Superoxide dismutase, Catalase และ Glutathione peroxidase โดยทำหน้าที่เป็นตัวกำจัดออกซิเจน เช่น เอนไซม์ Glucose oxidase หรือกำจัดสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เช่น เอนไซม์ Superoxide dismutase

## 5. ตัวจับโลหะไอออน (Chelating agents หรือ Sequester)

โลหะไอออนของเหล็ก ทองแดง แมงกานีส โครเมียม นิกเกิล และอลูมิเนียม เป็นต้น จะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Akoh and Min, 1998) ตัวจับโลหะไอออนใช้เติมลงไปเพื่อเป็นสารเสริมฤทธิ์สารป้องกันการหืน จึงไม่สามารถทำงานสมบูรณ์ด้วยตัวเอง ตัวจับโลหะไอออน ได้แก่ กรดซิตริก กรดอะมิโน กรดทาร์ทริก เลซิทิน และ Ethylenediaminetetra - acetic acid (EDTA) เป็นต้น



ภาพ 2.2 กลไกการทำงานของสารป้องกันการหืนในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน  
 ที่มา : Akoh and Min (1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved

สารป้องกันการหืนสังเคราะห์ และสารป้องกันการหืนจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นสารจำพวกสารประกอบฟีนอลิก (PPH) ซึ่งละลายได้ในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและโลหะไอออนที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ อีกด้วย ดังสมการ (19) และ(20)

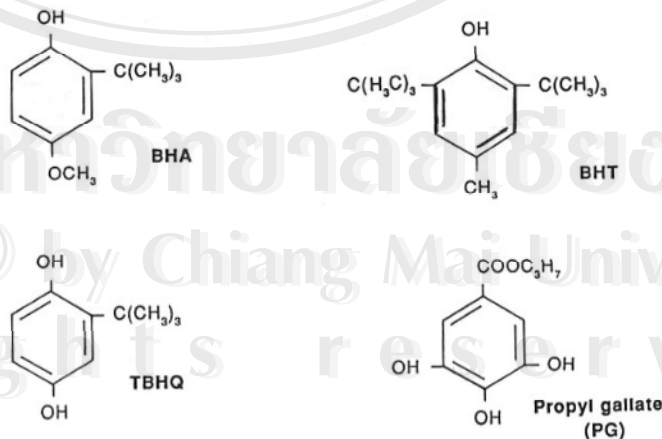


เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิก (PP<sup>•</sup>) จะค่อนข้างเสถียร ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไป และยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วย ดังภาพ 2.2 (วิวัฒน์, 2545) ดังสมการ (21) และ (22)



#### 2.4.1.1 สารป้องกันการหืนสังเคราะห์ (Synthetic antioxidant)

สารป้องกันการหืนสังเคราะห์เป็นสารจำพวกสารประกอบฟีนอลิก เช่น BHA, BHT, TBHQ และ PG เป็นต้น มีโครงสร้างทางเคมีดังภาพ 2.3 (Pokorny *et al.*, 2001) นิยมเติมลงในไขมัน น้ำมัน และผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการผลิต



ภาพ 2.3 โครงสร้างของสารป้องกันการหืนสังเคราะห์ที่นิยมใช้

ที่มา : สันติ (2535)

โดยทั่วไป BHT, BHA และ TBHQ จะใช้ในปริมาณความเข้มข้น 100-200 ppm ส่วน PG จะใช้ในปริมาณที่สูงกว่าสารข้างต้น โดยจะใช้ปริมาณความเข้มข้น 200-250 ppm (Madhavi *et al.*, 1996)

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาในสหรัฐอเมริกา (FDA) อนุญาตให้ใช้สารป้องกันการหืนเหล่านี้ชนิดเดียว หรือใช้ร่วมกันได้ในระดับความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 0.02 (200 ppm) ต่อน้ำหนักของไขมันและน้ำมัน สำหรับกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (USDA) อนุญาตให้ใช้แต่ละชนิดไม่เกินร้อยละ 0.01 (100 ppm) (สันติ, 2535) เพราะถ้าหากใช้ปริมาณที่มากเกินไป พบว่าเป็นสาเหตุให้เกิดอาการผิดปกติแก่ผู้บริโภคได้ เช่น เมื่อใช้ BHA ผสมในอาหารที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 แก่หนูทดลอง พบว่าทำให้เนื้อเยื่อเกิดการขยายตัวผิดปกติ และเมื่อใช้ BHA ผสมในอาหารเข้มข้นร้อยละ 0.5 ทำให้หนูเป็นเนื้องอกในช่องท้อง (Tamano *et al.*, 1998 ; Iverson, 1999) นอกจากนี้ Kahl and Kappus (1993) ได้ทดสอบความเป็นพิษของ BHA , BHT และวิตามินอีเมื่อใช้ปริมาณสูงซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดเนื้องอกขึ้นในหนูทดลอง จากการเปรียบเทียบอันตรายที่จะได้รับจากสารป้องกันการหืนทั้ง 3 ชนิด พบว่าการใช้วิตามินอีจะมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้ BHA และ BHT

#### 2.4.1.2 สารป้องกันการหืนจากธรรมชาติ (Natural antioxidant)

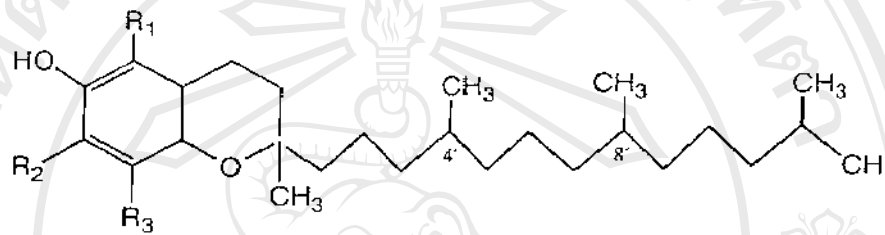
สารป้องกันการหืนจากธรรมชาติ สามารถพบได้หลายแหล่ง เช่น พืช สัตว์ รวมทั้งจุลินทรีย์ อีกทั้งยังสามารถพบในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารได้เช่นกัน ซึ่งจะพบสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Madhavi *et al.*, 1996) เช่น กรดแอสคอร์บิก โทโคเฟอร์รอล แลโรทีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ กรดอะมิโน โปรตีน ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก Maillard reaction ฟอสโฟลิปิด และเอนไซม์ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ได้จากพืช เครื่องเทศ และสารสกัดจากผักหรือเนื้อเยื่อของสัตว์ต่างๆ (ศิวาพร, 2546)

#### โทโคเฟอร์รอล

โทโคเฟอร์รอล หรือวิตามินอี มีโครงสร้างทางเคมีดังภาพ 2.4 เป็นสารป้องกันการหืนจากธรรมชาติ ซึ่งทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ ดังสมการ (23) และ (24)

แหล่งที่พบวิตามินอีมากที่สุดคือ ธัญพืช ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช น้ำมันจากเมล็ดพืช ถั่ว ผัก และแครอท เป็นต้น ซึ่งจะมีประสิทธิภาพดีมากในการป้องกันการหืนในไขมันจากสัตว์ โดยผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้โทโคเฟอร์รอล ได้แก่ เบคอน ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ไขมันเนย น้ำมันหมู

มาคารีน น้ำมันจากเมล็ดดอกทานตะวัน เป็นต้น (Buck, 1990) ปริมาณโทโคเฟอรอลที่ใช้ได้คือ ร้อยละ 0.03 (300 ppm)



ภาพ 2.4 โครงสร้างของโทโคเฟอรอล

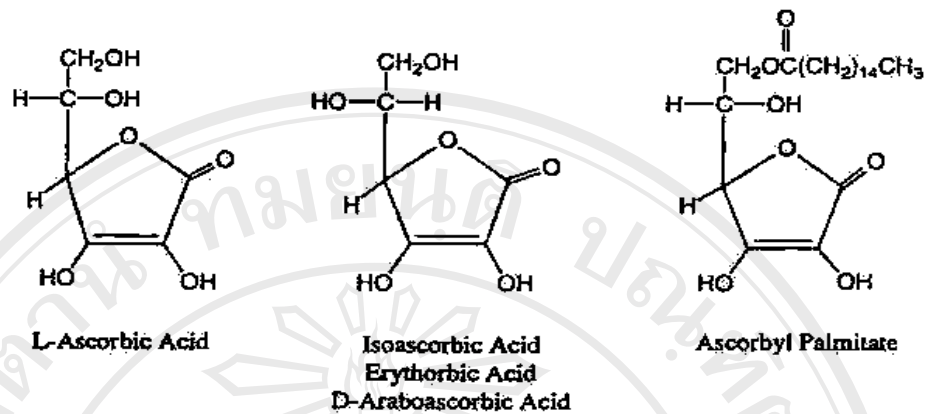
ที่มา : Akoh and Min (1998)

#### กรดแอสคอร์บิก

กรดแอสคอร์บิก เป็นเกลือของกรดแอสคอร์บิก (เช่น โซเดียมแอสคอร์เบต และ แคลเซียมแอสคอร์เบต) และไอโซเมอร์ของกรดแอสคอร์บิก จัดให้อยู่ในกลุ่มของสารที่มีความปลอดภัย (Generally recognized as safe, GRAS) จึงสามารถนำไปใช้เติมลงในอาหารได้โดย ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันซึ่งจะเป็นตัวถ่ายเทไฮโดรเจนอะตอมจากโมเลกุลไปให้กับ ออกซิเจนทำให้ออกซิเจนไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ (นิธิยา, 2545) มีโครงสร้างทางเคมีของ กรดแอสคอร์บิก ดังภาพ 2.5



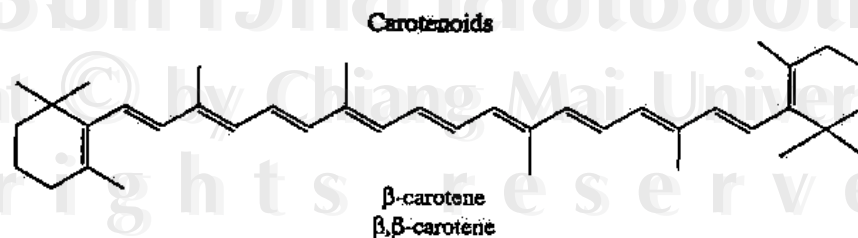
### Ascorbic Acid and Related Compounds



ภาพ 2.5 โครงสร้างของกรดแอสคอร์บิก และสารประกอบที่เกี่ยวข้อง  
ที่มา : Akoh and Min (1998)

#### แคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นกลุ่มของรงควัตถุที่พบในพืชสีเขียว ซึ่งจะอยู่ในคลอโรพลาสต์ร่วมกับคลอโรฟิลล์ และผักผลไม้สุก ให้สีเหลือง ส้ม และส้มแดง เช่น มะเขือเทศ กัญชง พริก แครอท และมันเทศ นอกจากนี้ยังพบในไข่แดงและเนื้อปลาบางชนิด มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ (นิธิยา, 2545) มีโครงสร้างทางเคมีดังภาพ 2.6 โดยทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดสี ในน้ำมันหรือไขมัน และมีคุณสมบัติเป็นสารป้องกันการหืนชนิดปฐมภูมิ โดยทำหน้าที่รวมตัวกับอนุมูลอิสระ และ Chain-breaking antioxidant และชนิดทุติยภูมิ โดยทำหน้าที่กำจัด  $^1O_2$  ซึ่งออกซิเจนนี้จะไม่คงตัวและสามารถทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้เป็นอนุมูลอิสระ (Akoh and Min, 1998)



ภาพ 2.6 โครงสร้างของแคโรทีนอยด์  
ที่มา : Akoh and Min (1998)

## 2.4.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของสารป้องกันการเหินจากธรรมชาติกับสารป้องกันการเหินสังเคราะห์

### ข้อดีของสารป้องกันการเหินจากธรรมชาติ

1. ผู้บริโภคให้การยอมรับในเรื่องความปลอดภัย
2. ไม่ต้องมีการทดสอบด้านความปลอดภัย เนื่องจากเป็นสารสกัดจากธรรมชาติ

### ข้อเสียของสารป้องกันการเหินจากธรรมชาติ

1. ถ้าอยู่ในรูปสารบริสุทธิ์ จะมีราคาแพง  
เมื่ออยู่ในรูปไม่บริสุทธิ์จะมีประสิทธิภาพต่ำ
2. สารสกัดชนิดเดียวกันถ้าอยู่ในรูปไม่บริสุทธิ์อาจมีคุณสมบัติแตกต่างกัน
3. มีผลต่อสี กลิ่น และรสชาติ ในผลิตภัณฑ์อาหาร

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาสารป้องกันการเหินจากธรรมชาติโดยมีแหล่งที่มาจากพืชสมุนไพร โดยมีรายละเอียดของพืชสมุนไพรที่นำมาศึกษาดังนี้

## 2.5 พืชสมุนไพร

สมุนไพร ตามพระราชบัญญัติยา หมายถึง “ยาที่ได้จากพืช สัตว์ หรือแร่ ซึ่งยังไม่ได้ผสมปรุง หรือเปลี่ยนแปลง” แต่ในทางการค้าสมุนไพรมักจะถูกดัดแปลงในรูปแบบต่างๆ เช่น ถูกหั่นให้เป็นชิ้นเล็กกลบ บดเป็นผงละเอียด หรืออัดเป็นแท่ง

ในอุตสาหกรรมอาหารโดยทั่วไปสมุนไพรเป็นพืชล้มลุก ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน และในการผลิตเครื่องเทศหรือเครื่องปรุงอาหาร สามารถใช้สมุนไพรเป็นวัตถุดิบได้ทั้งสดและแห้ง ในรูปสดจะมีกลิ่นแรงกว่า ส่วนการอบแห้งจะมีกลิ่นอ่อนกว่าเนื่องจากความร้อน (Heath, 1978)

### 2.5.1 ประโยชน์ของสมุนไพร (รุ่งรัตน์, 2540 และ รังสรรค์, 2548)

1. สามารถรักษาโรคบางชนิดได้
2. ใช้เป็นยาบำรุงรักษาให้ร่างกายมีสุขภาพแข็งแรง
3. ใช้เป็นอาหาร
4. ใช้ในการถนอมอาหารและดับกลิ่นอาหาร เช่น ดับกลิ่นคาว
5. ใช้ปรุงแต่ง กลิ่น สี รส ของอาหาร เนื่องจากสมุนไพรและเครื่องเทศมีกลิ่นของน้ำมันหอมระเหย และบางชนิดมีรสเผ็ด
6. ใช้ปรุงเป็นเครื่องสำอางเพื่อเสริมความงาม เช่น ผลิตน้ำหอม
7. ใช้เป็นยาฆ่าแมลง

สมุนไพรเป็นเครื่องเทศที่นิยมนำมาเติมลงในอาหารเพื่อเพิ่มกลิ่นและรส นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาที่สามารถในการป้องกันการเหี่ยว สารที่มีความสามารถในการป้องกันการเหี่ยวส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟีนอลิก ตัวอย่างเช่น สารสกัดจากโรสแมรี่ซึ่งจะพบสารประกอบฟีนอลิกที่มีความสามารถในการป้องกันการเหี่ยว ได้แก่ Carnosic acid, Carnosol และ Rosmarinic acid เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าสมุนไพรบางชนิดสามารถสกัดน้ำมันซึ่งมีกลิ่น สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า น้ำมันหอมระเหย (สนั่น, 2540) ซึ่งน้ำมันหอมระเหยนี้จะมียังประกอบของสารที่มีคุณสมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Lees and Jackson, 1973)

### 2.5.2 น้ำมันหอมระเหย (Essential oil)

น้ำมันหอมระเหยหรือน้ำมันสกัดกลิ่นระเหย เนื่องจากมีสารให้กลิ่นทั้งหอมและเหม็นเป็นองค์ประกอบ สารระเหยที่ให้กลิ่นพบใน ดอก ผล ใบ เมล็ด และราก ซึ่งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นสารพวกเทอร์ปีน (Terpene) เทอร์ปีนนอยด์ (Terpenoids) และสารประกอบพวกฟีนิลโพรเพน ซึ่งมีปริมาณน้อย (Merory, 1968)

สมุนไพรที่สำคัญที่ใช้ในการผลิตสารป้องกันการเหี่ยวมีมากมายหลายชนิด โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย เช่น Chipault *et al.* (1952) ได้ศึกษาความสามารถในการป้องกันการเหี่ยวของเครื่องเทศมากกว่า 70 ชนิด ดังตาราง 2.1 พบว่าเครื่องเทศในตระกูล Labiatae มีความสามารถในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด โดยเฉพาะโรสแมรี่ และเสจ สามารถต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุดในบรรดาสมุนไพรทั้งหลาย ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Chi-Tang *et al.* (1994), Richheimer *et al.* (1996) และสายสนม (2542) รองมาคือ

ออริกาโนและทาร์ม์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสายสนม (2542) แต่ในงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกสมุนไพร โรสแมรี่ เสา และทาร์ม์ มาทำการศึกษาเนื่องจากคัดเลือกจาก แหล่งวัตถุดิบ ราคาขายของเกษตรกร และปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างเพาะปลูก เป็นต้น (มูลนิธิโครงการหลวง, 2548)

ตาราง 2.1 คุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรตระกูลต่างๆ

ตระกูล	สมุนไพร	ส่วนของพืช	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> extract	Methanol extract	
				EtOAc sol.	H <sub>2</sub> O sol.
Labiatae	Basil	ใบ	+++	+++	+++
	Marjoram	ใบ	+++	+++	+++
	Oregano	ใบ	+++	+++	+++
	Perilla	ใบ	+++	+++	+++
	Rosemary	ใบ	+++	+++	+++
	Sage	ใบ	+++	+++	+++
	Thyme	ใบ	+++	+++	+++
Zingiberaceae	Cardamon	ผล	-	+++	-
	Dried ginger	ราก	+++	+++	-
	Fresh ginger	ราก	++	+++	+++
	Turmeric	ราก	-	+++	-
Myristicaceae	Mace	เปลือกหุ้มเมล็ด	+++	+++	+++
	Nutmeg	เมล็ด	+	+++	+++
	Bay leaf	ใบ	+	+++	-
	Cinnamon	เปลือก	-	+	+++
Lauraceae	Allspice	ผล	+++	+++	+++
	Cloves	ส่วนของดอก	++	+++	+++
Umbelliferae	Caraway	เมล็ด	-	-	-
	Coriander	เมล็ด	-	-	-
	Cumin	เมล็ด	-	++	+++
	Fennel	เมล็ด	-	++	+++
Magnoliaceae	Star-anise	ผล	-	-	++

+++ : ให้ผลดี ++ : ให้ผลปานกลาง + : ให้ผลต่ำ - : ไม่แสดงผล

ที่มา : Chipault *et al.* (1952)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Rosmarinus officinalis* L.      ตระกูล Labiatae



ภาพ 2.7 ต้นโรสแมรี่

ที่มา : [www.obs-nice.fr/adoca/romarin.jpg](http://www.obs-nice.fr/adoca/romarin.jpg)

#### ลักษณะทั่วไป

เป็นไม้พุ่มขนาดกลาง ใบยาวรี มีสีเขียวถึงอมเทา และมีกลิ่นแรง แต่เดิมปลูกแถบเมดิเตอร์เรเนียน จากนั้นมีการขยายการเพาะปลูกไปอย่างกว้างขวาง (แคลิฟอร์เนีย อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน โปรตุเกส โมร็อกโก และจีน เป็นต้น) (Keville, 1991)

โรสแมรี่ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 0.5 (Newall *et al.*, 1996) และเมื่อใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี และแมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) พบสาร 1,8-Cineole, Borneol, Camphor, Linalool, Terpinene และ Terpineol (Masada, 1976)

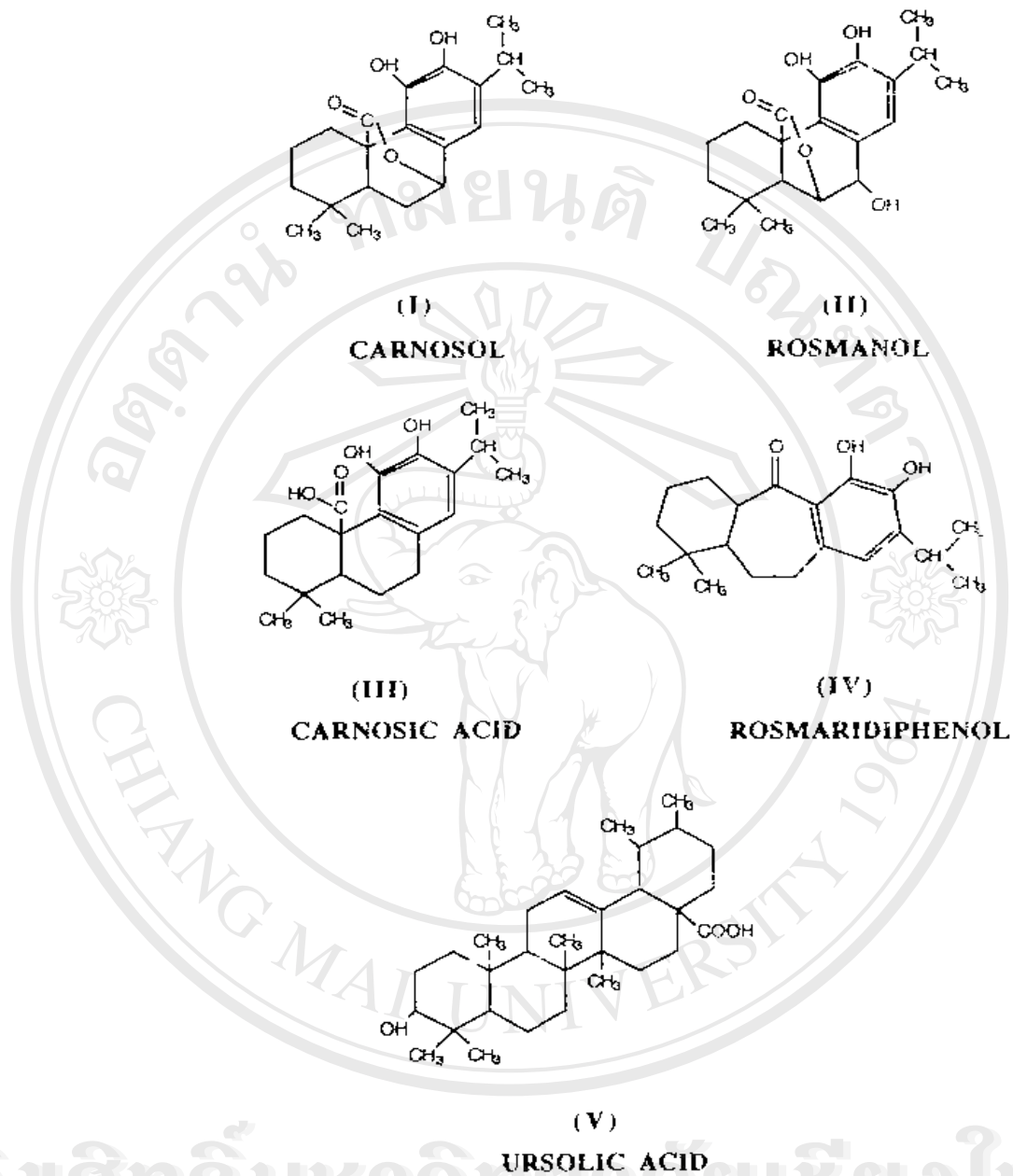
ในน้ำมันหอมระเหยของโรสแมรี่ส่วนใหญ่เป็นสาร 1, 8-Cineole และ Borneol ซึ่งจะแตกต่างกับการสกัดโรสแมรี่โดยใช้ตัวทำละลาย ซึ่งได้สารจำพวก Phenolic diterpenes ได้แก่

Carnosic acid และ Carnosol มีโครงสร้างทางเคมีดังภาพ 2.8 (Farag *et al.*, 1989b) สารเหล่านี้จะมีความสามารถในการป้องกันกรหีนสูงกว่าสาร 1,8-Cineole และ Borneol (Hopia *et al.*, 1996)

### การใช้ประโยชน์โรสแมรี่

นิยมใช้โรสแมรี่ในรูปของเครื่องเทศ โดยใช้ส่วนของใบนำไปแต่งกลิ่น และรสชาติของซอส อาหารประเภทเนื้อ สัตว์ปีก นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดโรสแมรี่ที่ยังผ่านการทำให้บริสุทธิ์ (Crude rosemary extract) มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน โดยนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อ และผลิตภัณฑ์ที่เป็นอิมัลชัน (Akoh and Min, 1998)

ใบของโรสแมรี่เป็นที่สะสมน้ำมันหอมระเหย ซึ่งสามารถนำมาสกัดด้วยวิธีการกั่นด้วยไอน้ำ จะมีลักษณะเป็นของเหลวไม่มีสีหรือมีสีเหลือง มีกลิ่นแบบโรสแมรี่ และมีรสชาติเผ็ดร้อนคล้ายการบูร (สนั่น, 2540) นิยมใช้ในเครื่องดื่มน้ำแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มที่ไม่มีแอลกอฮอล์ ขนมหวานที่ทำจากผลิตภัณฑ์นมแช่แข็ง เนื้อและผลิตภัณฑ์จากเนื้อ โดยปริมาณสูงสุดที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้ออยู่ในระดับร้อยละ 0.003 นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ (แบคทีเรียและรา) เมื่อทำการทดลองในหนูพบว่ามีความสามารถในการกระตุ้นการเคลื่อนไหว ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลมาจากสารที่ชื่อ Cineole และพบว่ามีการใช้ป้องกันโรคมะเร็งและมีความสามารถในการป้องกันกรหีน (Keville, 1991)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

ภาพ 2.8 โครงสร้างของสารที่มีความสามารถในการป้องกันการเหี่ยวในโรสแมรี่ และเสจ

ที่มา : Chen *et al.* (1992)

เสจ (Sage)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Salvia officinalis* L.  ตระกูล Labiatae



ภาพ 2.9  ต้นเสจ

ที่มา : [www.hort.purdue.edu/.../images/large/sage5.jpg](http://www.hort.purdue.edu/.../images/large/sage5.jpg)

### ลักษณะทั่วไป

เสจเป็นพืชตระกูลเดียวกับโหระพา เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ต้นมีความสูงประมาณ 40 เซนติเมตร ใบมีลักษณะเป็นรูปทรงแบบใบหอก สีเขียวอมเทา มีขนาด 2.5-6.25 เซนติเมตร ผิวใบมองเห็นเป็นตุ่มละเอียดทั่วทั้งใบยาวเรียวมีปลายแหลม ดอกมีสีม่วง-ฟ้า สีชมพู หรือสีขาว การปลูกในบริเวณที่มีอากาศแห้งจะทำให้ใบมีสีเทา และออกดอกในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน(มูลนิธิโครงการหลวง, 2542)

เสจประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 2.8 โดยเป็นสารพวก Thujone, Cineole, Borneol, Linalool, Camphor และSalvene



### การใช้ประโยชน์จากเสฉง

ใบสดหรือแห้งของเสฉงนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารประเภทเนื้อ ปลา สัตว์ปีก ชาวอเมริกันนิยมทำขนมปังโดยใช้เสฉงเป็นส่วนผสมและใช้โรยลงบนเนย เสฉงยังช่วยเพิ่มกลิ่นรสของไวน์และน้ำส้ม อีกทั้งยังนิยมใช้เป็นตัวเพิ่มกลิ่นรสให้กับไส้ขนมต่างๆ ด้วยเช่นกัน

เสฉงเป็นสมุนไพรที่มีความสามารถในการป้องกันการเหิน อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการใช้เป็นสารยับยั้งแบคทีเรียโดยใช้เติมลงในผลิตภัณฑ์เนื้อ โดยเฉพาะไส้กรอก เพราะไม่เพียงแต่จะใช้เพื่อเสริมกลิ่นรสแล้วยังช่วยในการถนอมอาหารอีกด้วย (Keville, 1991) น้ำมันหอมระเหยและแทนนินในใบมีฤทธิ์ทางยา ช่วยแก้อาการเจ็บคอ อาการอักเสบในช่องปาก และกระตุ้นการทำงานของระบบย่อยอาหาร

ท่ายม์ (Thyme)

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Thymus vulgaris* L.      ตระกูล Labiatae



ภาพ 2.10      ต้นท่ายม์

ที่มา : [www.hrt.msu.edu/course/HRT204L/VEG\\_ID/Thyme.jpg](http://www.hrt.msu.edu/course/HRT204L/VEG_ID/Thyme.jpg)

### ลักษณะทั่วไป

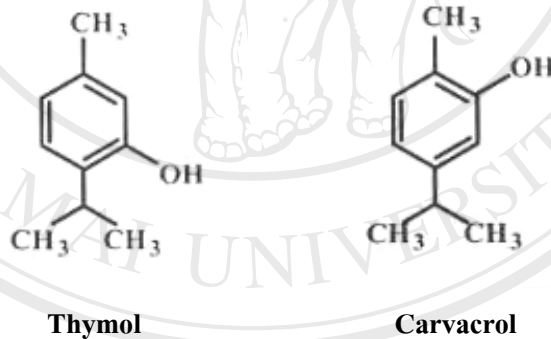
ท่ายม์เป็นไม้พุ่มลำต้นตั้งตรง ดอกและใบมีขนาดเล็ก ต้นมีความสูงประมาณ 45 เซนติเมตร เดิมปลูกแถบเมดิเตอร์เรเนียน (กรีซ อิตาลี และสเปน) ต่อมาได้มีการขยายการเพาะปลูกไปสู่แถบฝรั่งเศส สเปน โปรตุเกส และสหรัฐอเมริกา ในส่วนของใบและดอกใช้ในการผลิตน้ำมันหอมระเหยโดยวิธีการกลั่นด้วยน้ำหรือไอน้ำ (Prakash, 1990)

ท่ายม์ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 0.8-2.6 (Newall *et al.*, 1996) และเมื่อใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี และแมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) พบสาร Thymol Carvacrol,  $\alpha$ - Pinene, p-Cymene, Camphene, Anisyl alcohol, Borneol, Linalool, Geraniol และ  $\gamma$ -Terpinene (Masada, 1976) ซึ่งพบว่า Thyme และ Carvacrol เป็นองค์ประกอบหลัก ดังภาพ 2.11 และมีความสามารถในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Pokorny, 2001)

### การใช้ประโยชน์จากทายม์

ทายม์นิยมใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องเทศสำหรับใช้กับสลัด อีกทั้งยังใช้กับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ผลิตภัณฑ์เนื้อ เครื่องปรุงอาหาร เครื่องปรุงรสผัก ซุป และน้ำเกรวี่ ปริมาณสูงสุดที่นิยมใช้กันในผลิตภัณฑ์เนื้อส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 0.17

น้ำมันหอมระเหยของทายม์ใช้เป็นสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นส่วนใหญ่ เช่น เนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อ ปริมาณสูงสุดที่นิยมใช้ คือน้อยกว่าร้อยละ 0.03 (300 ppm) (Keville, 1991) นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารให้กลิ่น ใช้ทาแก้ปวดเมื่อย ซึ่งมีรายงานว่าน้ำมันหอมระเหยของทายม์มีคุณสมบัติในการขับเสมหะและขับลมในกระเพาะ รวมทั้งใช้ในการเตรียมยาเพื่อยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียและเชื้อรา เช่น กรณีการติดเชื้อที่ผิวหนัง (Wang *et al.*, 1999)



ภาพ 2.11 โครงสร้างของสารที่มีความสามารถในการป้องกันการหืนในทายม์

ที่มา : Akoh and Min (1998)

## 2.6 การประยุกต์ใช้สารสกัดป้องกันการหืนจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหาร

อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture foods) หมายถึง อาหารที่ลดค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $a_w$ ) ลงจนอยู่ในช่วง 0.65-0.85 หรือมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ร้อยละ 65-85 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 15-30 เช่น กุนเชียง เนยแข็งบ่ม แสมแห้ง แยม ผลไม้แห้ง และ ลูกกวาด และอาหารสัตว์เลี้ยง เป็นต้น

อาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่มี  $a_w$  ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นระดับที่จุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้ แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องของเชื้อรา และยีสต์ที่อาจจะเจริญได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมีส่วนใหญ่ในระหว่างการเก็บรักษา คือ การเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน และไขมัน การเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Maillard reaction) ตลอดจนอาจเกิดการสูญเสียวิตามินที่ละลายน้ำได้ (ไพโรจน์, 2539)

กุนเชียงจัดเป็นอาหารกึ่งแห้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ที่คนไทยคุ้นเคยและนิยมบริโภคกันมานาน ในแต่ละพื้นที่มีสูตรการทำกุนเชียงแตกต่างกันไป แต่กุนเชียงส่วนใหญ่จะทำด้วยเนื้อหมูปนไขมันผสมกับเครื่องปรุงรสอื่นๆ เช่น เกลือ น้ำตาล (กาญจนรัตน์ และคณะ, 2532) กุนเชียงที่ทำจากเนื้อหมูได้รับความนิยมบริโภคกันมาก เนื่องจากมีรสชาติดี มีคุณค่าทางอาหารสูง และเนื่องจากกุนเชียงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขายกันมาก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์กุนเชียงตาม มอก. 914-2532 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532)

### 2.6.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้ง

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารกึ่งแห้งก่อให้เกิดผลดังต่อไปนี้ คือ

#### 1. สูญเสียการยอมรับจากผู้บริโภค

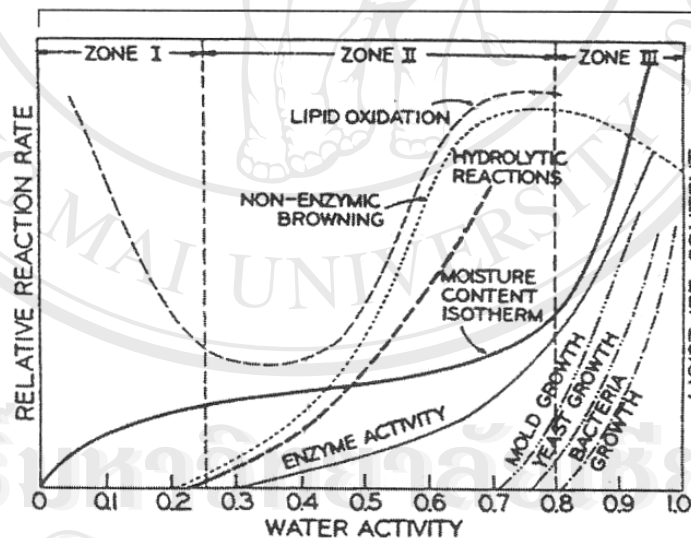
การเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Off-flavour) และทำให้เกิดสีที่ไม่ต้องการจาก Maillard reaction เช่น สีน้ำตาล ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับในผลิตภัณฑ์นั้นๆ และเกิดการเหม็นหืนโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันพวคน้ำมันและไขมัน

## 2. สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการทางอาหารและวิตามิน

ในช่วง  $a_w$  ของอาหารกึ่งแห้งก่อให้เกิด Maillard reaction ร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสารประกอบพวกกรดแอสคอร์บิกได้อย่างรวดเร็ว การเกิดสีน้ำตาลจะทำให้สูญเสียน้ำตาลและคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะมีการสูญเสียกรดอะมิโนที่จำเป็น เช่น ไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนพื้นฐานที่สำคัญ และยังมี การสูญเสียกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบด้วย

## 3. เกิดความเป็นพิษ

ได้มีการศึกษานำเอาผลิตภัณฑ์ที่เกิด Maillard reaction ไปให้หนูทดลองกิน พบว่าหนูทดลองมีน้ำหนักลดลง เกิด Organ enlargement อีกทั้ง Pregnancy ไม่ทำงาน โดยพบว่าเมื่อระบบกลูโคส/กรดอะมิโนถูกความร้อน จะทำให้ไลซีนลดลงจาก 20 กรัมต่อกิโลกรัมของ น้ำหนักหนู เป็น 4.1 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักหนู ดังนั้นในการผลิตอาหารกึ่งแห้ง การเก็บรักษาควรคำนึงอย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเกิด Maillard reaction



ภาพ 2.12 อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในอาหาร และการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผันแปรตามค่า  $a_w$  ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ที่มา : นิธิยา (2545)

## 2.6.2 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ของอาหารกึ่งแห้ง

### การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากจุลินทรีย์

การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการในอาหารกึ่งแห้งไม่เพียงแต่เป็นการลดค่า  $a_w$  จนไม่เหมาะแก่การเจริญเท่านั้น ยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง สารกันเสีย และพวก Competitive microflora ถ้าหากปรับค่าต่างๆ ไม่ให้เหมาะสมต่อการเจริญ สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้

### การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากเชื้อรา

ถ้าหากค่า  $a_w$  ของอาหารลดลงต่ำกว่าระดับ 0.9 ปัญหาการเสื่อมเสียเนื่องจากยีสต์และรา จะเกิดขึ้น เชื้อราที่ทนต่อความชื้นต่ำของอาหารกึ่งแห้งมากในระหว่างเก็บรักษา ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเจริญของเชื้อราในอาหารแห้ง คือ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา และองค์ประกอบในอาหาร

### การเปลี่ยนแปลงของอาหารกึ่งแห้งเนื่องจากยีสต์

อาหารจำพวกกึ่งแห้งมีค่า  $a_w$  ประมาณ 0.60-0.85 ในขอบเขตนี้พวกแบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ ยีสต์กับราส่วนใหญ่ก็จะถูกยับยั้งเช่นกัน แต่บางสายพันธุ์มีความทนทานต่อความเข้มข้นของสารละลายที่สูงหรือมีค่า  $a_w$  ต่ำได้ อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่ายีสต์ประเภทที่เป็นพิษจะไม่เจริญที่ค่า  $a_w$  ต่ำ ดังนั้นสิ่งที่จะเกิดขึ้นก็มีแต่การเป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเน่าเสียเท่านั้น ยีสต์ที่สามารถเจริญได้ที่ค่า  $a_w$  ต่ำ เช่น Osmophilic yeast

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีรายงานว่าในใบของสมุนไพรโรสแมรี่ เฉาก และทาชัม พบสารที่มีความสามารถในการป้องกันการเหี่ยวสูงที่สุดในบรรดาสมุนไพรทั้งหลาย (Richheimer *et al.*, 1996) โรสแมรี่และฉาก ประกอบด้วยสาร 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 Phenolic acid เช่น Rosmarinic acid กลุ่มที่ 2 Phenolic diterpenes เช่น Carnosic acid, Carnosol, Rosmanol, Rosmadiol, Methylcarnosate และ Epiisorosmanol กลุ่มที่ 3 เช่น Flavonoid ส่วนทาชัมพบสารที่มีความสามารถในการป้องกันการเหี่ยว จำพวก Monoterpene phenols คือ Thymol และ Carvacrol

สารที่มีความสามารถในการป้องกันการเหี่ยวในโรสแมรี่และฉาก ส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่ม Phenolic diterpenes ได้แก่ Carnosic acid และ Carnosol (Thorsen and Hidebrandt, 2003) และสารกลุ่ม Phenolic acid บางชนิดมีความสามารถในการป้องกันการเหี่ยวได้ เช่น Rosmarinic acid (Peterson and Simmonds, 2003) มีโครงสร้างดังภาพ 2.8

Okamura *et al.* (1994) ได้ศึกษาปริมาณและเอกลักษณ์ของสาร Carnosic acid และ Carnosol ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ Reversed - phase high performance liquid chromatography (HPLC) โดยเปรียบเทียบส่วนต่างๆ ของโรสแมรี่และฉาก เช่น ใบสด ใบแห้ง กิ่งก้านสด และรากสด พบว่าใบแห้งของโรสแมรี่พบสาร Carnosic acid และ Carnosol สูงที่สุด รองมาคือ ใบสด ส่วนกิ่งก้านสดสามารถพบสาร Carnosic acid และ Carnosol ในปริมาณน้อย และจะไม่สามารถพบสารเหล่านี้ได้ในรากสด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาร Carnosic acid และ Carnosol ส่วนใหญ่จะพบที่ใบ ส่วนฉากมีปริมาณสารเหล่านี้คล้ายกับโรสแมรี่

Carnosic acid เป็นสารที่ไม่คงตัว สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นสาร Carnosol เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Bracco *et al.*, 1981) จึงได้มีการศึกษาความคงตัวของสาร Carnosic acid โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ อุณหภูมิและแสง พบว่าแสงและอุณหภูมิมีผลต่อการสลายตัวของสาร Carnosic acid การศึกษาปริมาณและเอกลักษณ์ด้วย HPLC พบว่า การเก็บตัวอย่างในที่มืด ณ อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ทำให้สาร Carnosic acid มีการสลายตัวไปเป็นสาร Carnosol น้อยกว่าปัจจัยอื่น (Okamura *et al.*, 1994) นอกจากนี้สาร Carnosol ยังสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นสาร Phenolic diterpenes อื่นๆ ที่มีโครงสร้าง  $\gamma$ -Lactone เช่น Rosemanol, Epirosmanol และ 7-Methylepirosmanol เป็นต้น (Inatani *et al.*, 1982 ; Saenz-Lopez *et al.*,

2002) แต่สารเหล่านี้จะพบในปริมาณน้อย ดังนั้นจึงถือว่าสาร Carnosic acid เป็นสารที่สำคัญที่มีความสามารถในการป้องกันการหืน

Chipault *et al.* (1956) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการป้องกันการหืนของเครื่องเทศทั้งหมด 17 ชนิด ในสารตั้งต้น (Substrate) ที่แตกต่างกัน พบว่า มีเครื่องเทศเพียง 6 ชนิดเท่านั้นที่มีความสามารถในการป้องกันการหืน คือ Allspice กานพลู ออริกานโอ โรสแมรี่ เสดจ และทาร์รี่ พบว่าโรสแมรี่ และ เสดจ มีความสามารถป้องกันการหืนมากที่สุด เมื่อทดสอบในน้ำมันหมู

Cort (1974) ได้ศึกษาความสามารถในการป้องกันการหืนของน้ำมันดอกคำฝอยโดยใช้เครื่องเทศแห้ง และสารสกัดเครื่องเทศในเครื่องเทศ 9 ชนิด คือ Allspice ลูกจันทน์ ดอกจันทน์ โรสแมรี่ ขมิ้น เสดจ กานพลู มาร์จอแรม และทาร์รี่ พบว่า สารสกัดเครื่องเทศมีความสามารถในการป้องกันการหืนของน้ำมันดอกคำฝอยสูงกว่าเครื่องเทศแห้ง โดยเฉพาะโรสแมรี่ และ ดอกจันทน์ แสดงให้เห็นว่าลักษณะการเตรียมเครื่องเทศมีความสำคัญต่อความสามารถในการป้องกันการหืน

Wu *et al.* (1982) ได้นำสารสกัดโรสแมรี่มาเปรียบเทียบกับสารป้องกันการหืนสังเคราะห์ BHA และ BHT โดยตรวจวัดค่าสารเปอร์ออกไซด์ ( Peroxide value ) พบว่าสารสกัดโรสแมรี่มีความสามารถในการป้องกันการหืนดีกว่า BHA และ BHT และได้สกัดสาร Carnosol จากสารสกัดโรสแมรี่เพื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดโรสแมรี่ และ BHT พบว่าสารสกัดโรสแมรี่มีความสามารถดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าสารป้องกันการหืนที่อยู่ในรูปสารสกัดโรสแมรี่จะทำหน้าที่ในการป้องกันการหืนได้ดีกว่าการแยกสารที่มีความสามารถในการป้องกันการหืนออกมา เนื่องจากในสารสกัดโรสแมรี่มีสารที่มีความสามารถในการป้องกันการหืนมากกว่า 1 ชนิด จึงมีการทำงานที่เสริมฤทธิ์กันมากกว่าที่จะทำงานเพียงชนิดเดียว

นอกจากนี้ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารป้องกันการหืนมีผลต่อความสามารถในการป้องกันการหืนแตกต่างกัน จึงได้มีการศึกษาตัวทำละลายที่นำมาใช้ในการสกัดเพื่อให้ได้ปริมาณสารที่มีความสามารถในการป้องกันการหืนมากที่สุด (Chang *et al.*, 1977 ; Chi-Tang *et al.*, 1994) ตัวอย่างเช่น ศึกษาตัวทำละลายแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ เฮกเซน อะซิโตน และเมทานอล ในการสกัดสารที่มีความสามารถในการป้องกันการหืนจากโรสแมรี่ พบว่า ตัวทำละลายเมทานอลสามารถสกัดสารได้ปริมาณสูงสุด (Chang *et al.*, 1977) รองมาคือ อะซิโตน และ เฮกเซน



ตามลำดับ พร้อมทั้งศึกษาปริมาณองค์ประกอบหลักคือ Carnosic acid, Carnosol และ Ursolic acid โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี High performance liquid chromatographic-mass spectrophotometer (HPLC-MS) พบว่า เฮกเซน สามารถสกัดสาร Carnosic acid และ Carnosol ได้ปริมาณมากที่สุด ส่วนอะซิโตนสามารถสกัดได้ในระดับปานกลาง และเมทานอลน้อยที่สุด จึงสรุปว่าอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารที่มีความสามารถในการป้องกันการหืนจากโรสแมรี่ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสารป้องกันการหืนสังเคราะห์ BHT และ BHA พบว่าสารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และอะซิโตน มีความสามารถในการป้องกันการหืนสูงกว่า BHA และ BHT จากผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเตรียมเครื่องเทศที่นำมาศึกษา เพราะถ้าเตรียมสารสกัดจากเครื่องเทศด้วยตัวทำละลายแตกต่างกันอาจทำให้องค์ประกอบที่มีผลต่อความสามารถในการป้องกันการหืนแตกต่างกันด้วย (Chen *et al.*, 1992)

Gerard *et al.* (1995) ได้นำโรสแมรี่และเสจมาทำการสกัดสารประเภท Phenolic diterpenes ที่มีความสามารถในการป้องกันการหืน พบว่าสารประกอบ Phenolic diterpenes ในโรสแมรี่และเสจมีในปริมาณมากที่สุด กล่าวคือ Carnosic acid (ร้อยละ 77 ของสารประกอบ Phenolic diterpenes ทั้งหมด)

นำสารสกัดโรสแมรี่เติมลงในไขมันหมู พบว่า สารสกัดโรสแมรี่เพียง 200 ppm สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนี้้นำสารสกัดโรสแมรี่ปริมาณ 200 ppm ใช้ร่วมกับกรดแอสคอร์บิก ปริมาณ 500 ppm สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันหมู่อีกด้วย (Chang *et al.*, 1977)

Bitzane and Dalaine (2000) ได้ทำการศึกษาความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาของน้ำมันเมล็ดฝ้าย ซึ่งมีการเติมสารสกัดป้องกันการหืนจากธรรมชาติ เช่น โรสแมรี่ เสจ ทายม์ และวิตามินอี โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่มีการเติมสารป้องกันการหืนสังเคราะห์ คือ TBHQ พบว่าสารสกัดป้องกันการหืนจากธรรมชาติมีความสามารถในการป้องกันการหืนน้อยกว่าสารป้องกันการหืนสังเคราะห์ TBHQ แต่สารสกัดป้องกันการหืนจากธรรมชาติเหล่านี้มีผลทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้ช้าลง

นอกจากนี้ได้มีการศึกษานำสารสกัดโรสแมรี่มาเติมผลิตภัณฑ์เนื้อหมูปด เช่น หมูหมัก โดยศึกษาที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 0, 150 และ 300 ppm โดยเปรียบเทียบกับสารป้องกันการหืนสังเคราะห์ที่ 300 ppm เมื่อทำการวัดค่าสารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value) และค่ากรด (Acid value) พบว่า การเติมสารสกัดจากโรสแมรี่ความเข้มข้น 300 ppm ให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการหืนได้ดีที่สุด (Iriate *et al.*, 1992) นอกจากนี้มีการเติมสารสกัดโรสแมรี่ลงในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ผ่านการทำให้สุกบางส่วน พบว่า สารสกัดมีผลต่อการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าเนื้อที่ไม่เติมสารสกัดโรสแมรี่แล้วทำให้สุกบางส่วนในระยะเวลาสั้น และไม่ผ่านการทำให้สุก นอกจากนี้เนื้อที่ไม่เติมสารสกัดโรสแมรี่แล้วทำให้สุกบางส่วนในระยะเวลาสั้น มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าเนื้อที่ไม่เติมสารสกัดโรสแมรี่แล้วไม่ผ่านการทำให้สุก แสดงให้เห็นว่าการทำให้เนื้อสุกก่อนมีผลทำให้เพิ่มอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Guntensperger *et al.*, 1998) อีกทั้งพบว่าการเติมสารสกัดโรสแมรี่ลงไขมันหมู (Gerard *et al.*, 1995) ใ้สักรอกเปรี้ยวจากเนื้อแพะ (Nassu *et al.*, 2003) ลูกชิ้นเนื้อวัว (Fernandez-Lopez *et al.*, 2005) และผลิตภัณฑ์เนื้อไก่วง (Yu *et al.*, 2002) โดยสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนี้ได้ทดลองเติมโรสแมรี่บดละเอียด (ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก) หรือโรสแมรี่ผสมกับเสจ (ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก) ลงในแฮมเบอร์เกอร์เนื้อแช่แข็ง เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เติม BHT ร้อยละ 0.03 และตัวอย่างควบคุม พบว่าสมุนไพรมีความสามารถในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนื้อและยังช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้กับผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้โรสแมรี่และเสจยังช่วยปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้แก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วย (Pizzcaro *et al.*, 1994)

Abdalla and Roozen (1999) รายงานว่าสารสกัดเสจ และทายม์ มีผลยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเสจมีผลยับยั้งการเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์และการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้เนื่องจากการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันดอกทานตะวัน และ Oil - in - water emulsion ส่วนทายม์สามารถยับยั้งการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้มากกว่าการยับยั้งการเกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ทั้งในน้ำมันและ Oil - in - water emulsion

น้ำมันหอมระเหยของโรสแมรี่ เสจ และทายม์ มีความสามารถในการป้องกันการหืน โดยมีการพบที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ สาร Borneol ในโรสแมรี่ Thujone ในเสจ และ Thymol ในทายม์ และ Thymol สามารถป้องกันการหืนมากกว่า Borneol และ Thujone แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยของทายม์มีความสามารถในการป้องกันการหืนมากกว่าน้ำมันหอมระเหยจากโรสแมรี่และเสจ ตามลำดับ (Farag *et al.*, 1989a ; Lee *et al.*, 2002)

Hudaib *et al.* (2002) รายงานว่า ท้าย์มที่อายุการเพาะปลูกสั้น (2 ปี) จะให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงกว่าที่อายุการเพาะปลูกนาน (5 ปี) ให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหย ประมาณร้อยละ 1.2 เป็น Monoterpene phenols (Thymol ร้อยละ 51.2 และ Carvacrol ร้อยละ 4)

Pokorny *et al.* (2001) รายงานว่า ท้าย์มให้น้ำมันหอมระเหยที่มีความสามารถป้องกันการหืนสูงสุด โดยในน้ำมันหอมระเหยจะพบสารThymol และ Carvacrol เป็นองค์ประกอบหลัก และมีรายงานว่าสารThymol และ Carvacrol เป็นสารที่มีความสามารถในการป้องกันการหืน สามารถยับยั้งหรือต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมันได้ (Frag *et al.*, 1989a ; Dapkevicius *et al.*, 2002) จากการศึกษาการใช้ Thymol และ Carvacrol ในน้ำมันหมู (lard) และน้ำมันดอกทานตะวัน (Sunflower oil ) (Thymol-Lard, Thymol-Sunflower oil, Carvacrol-Lard, Carvacrol-Sunflower oil) พบว่า Thymol และ Carvacrol มีความสามารถในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยThymol จะมีความสามารถในการป้องกันการหืนสูงกว่า Carvacrol (Yanishlieva *et al.*, 1999) นอกจากนี้ยังพบว่า Thymol มีคุณสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ (Wang *et al.*,1999)