บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 งา

งาเป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum indicum* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Pedaliaceae เป็นไม้พุ่มเนื้ออ่อน มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย ปลูกในเขตร้อนชุ่มชื้น และเขตกึ่งร้อนชุ่มชื้นเป็นส่วนใหญ่ ดอกงามีสีขาวแซมด้วยสีม่วงแดงบางๆ ลักษณะดอกมีรูปร่างเป็นหลอดและออกดอกโดยรอบลำต้นตอนบนแต่จะบิดดอกออกบานทางแนวกิ่งเดียวกันอยู่ด้านหนึ่งของลำต้น ผลงาจะมี 4 พู เมื่อผลงาแก่จัดจะแตกออกภายในบรรจุเมล็ดงาจำนวนมาก เมล็ดงาจะมีหลายสีแล้วแต่พันธุ์เช่น สีดำ สีขาว สีน้ำตาล (กรมเศรษฐกิจการทางพาณิชย์, 2521) องค์ประกอบของเมล็ดงาจะแตกต่างกันตามพันธุ์ แหล่งที่ปลูก สภาพอากาศ ดิน และปุ๋ย

รูปที่ 2.1 ฝักงา
ที่มา: อานนท์ จันทร์เที่ยง (2540)

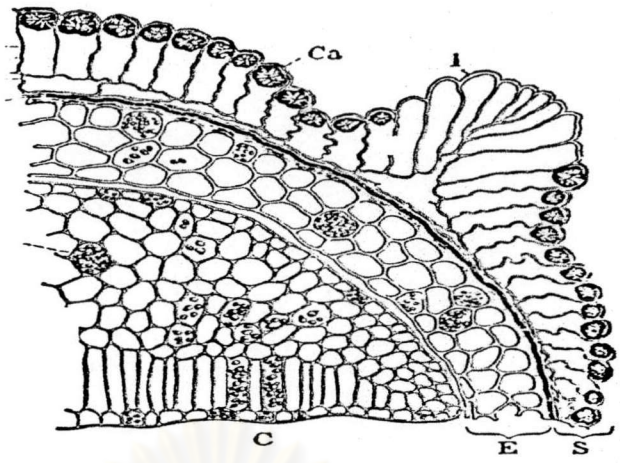
2.2 ส่วนประกอบของเมล็ดงา

เมล็ดงามีขนาดค่อนข้างเล็ก น้ำหนักของเมล็ดงา 1,000 เมล็ดจะอยู่ในช่วง 2-4 กรัม (Weiss, 1970) เมล็ดงาแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันที่สีและองค์ประกอบทางเคมี แต่จะมีลักษณะโครงสร้างของเมล็ดงาคล้ายคลึงกัน โดยเมล็ดงามีขนาดเล็ก เรียงอยู่ในแคปซูล มีลักษณะยาวรีเหมือนลูกแพร์ (pear shaped) ยาว 2-3 มิลลิเมตร (Carter และ Cirino, 1961) เมื่อตัดขวางจะพบส่วนประกอบใหญ่ๆคือ

เปลือกหุ้มเมล็ด (testa, hull, spermaderm) ในส่วนนี้จะไม่มีโปรตีนและน้ำมันอยู่เลย (Carter และ Cirino, 1961) โดยเมล็ดงาจะมีส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดประมาณร้อยละ 15-20 (Johnson, Sulaiman และ Lusas, 1979) เปลือกหุ้มเมล็ดจะมีลักษณะที่เรียบหรือขรุขระขึ้นกับพันธุ์ของต้นงา สีของเปลือกจะขึ้นกับชนิดของรงควัตถุที่สะสมอยู่ในชั้น Epidermal cell ที่เรียกว่า Integument โดยเซลล์ในชั้น Integument นี้จะเป็นเซลล์ที่มีรูปร่างยาวรีเรียงติดต่อกันตามรูปร่างของเมล็ดงา ผนังของเซลล์ในชั้นนี้จะมีลักษณะขรุขระเมื่อแห้ง แต่สามารถขยายตัวได้ทันทีเมื่อได้รับความชื้น นอกจากนี้ยังพบผลึกของแคลเซียมออกซาเลตสะสมอยู่บริเวณส่วนยอดของเซลล์ ชั้นของเซลล์ที่อยู่ถัดจากชั้นของ Integument จะมีรูปร่างแบนยาวเรียงซ้อนกัน 2-3 ชั้น ลักษณะการเรียงตัวเหมือนกับในชั้น Integument เซลล์ที่อยู่ต่อลงมาบางส่วนเรียกว่า Compress cell

เอนโดสเปอร์ม (Endosperm) เป็นชั้นของเซลล์ที่ทำหน้าที่สะสมอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อน เป็นเซลล์ที่ผนังเซลล์ประกอบจากเซลลูโลสจึงแข็งแรงมาก สารที่สะสมในเอนโดสเปอร์มคือ Aleurone และ Oil plasma

ใบเลี้ยง (Cotylydon) ประกอบด้วยเซลล์หลายชนิดเรียงซ้อนกันเป็นชั้นโดยเรียงจากด้านนอกเข้าด้านใน ดังนี้ Upper epidermis, Palisade cells, Mesophyll cells และ Lower epidermal cells เซลล์ในส่วนของใบเลี้ยงจะมีสารพวก Oil plasma และ Aleurone สะสมอยู่ (Weiss, 1970)



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของเมล็ดงา

S คือ Spermaderm (เปลือกหุ้มเมล็ด) E คือ Endosperm (เอนโดสเปิร์ม)

C คือ Cotelydon (ใบเลี้ยง)

ที่มา : Fairie และคณะ (1961)

2.3 <u>องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดงา</u>

ในเมล็ดงาหนึ่งเมล็ดจะประกอบด้วย น้ำมันร้อยละ 55 โปรตีนร้อยละ 20 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 15-20 ความชื้นร้อยละ 3-6 เถ้าร้อยละ 5-7 โดยในน้ำมันงานั้นจะประกอบด้วยไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 85 (Manley, Vallon และ Erickson, 1974) องค์การอาหารและเกษตรกรรมของประเทศสหรัฐอเมริกาและองค์การอนามัยโลกได้ให้ขอบเขตขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันงาไว้ดังนี้คือมีกรดพามิติคร้อยละ 7-12, กรดสเตียริคร้อยละ 3.5-6, กรดโอเลอิคร้อยละ 35-50 และกรดลิโนเลอิคร้อยละ 35-50 (Kamal-Edin และ Appelqvist, 1994)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของงาดำ

คุณค่าทางโภชนาการ	งาดำดิบ	งาดำคั่ว
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	553	562
ความชื้น (กรัม)	5.3	2.3
โปรตีน (กรัม)	21.9	23.3
ไขมัน (กรัม)	46.3	52.1
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	12.1	0
Crude fiber (กรัม)	9.9	16.1
Dietary fiber (กรัม)	-	15.7
เถ้า (กรัม)	4.5	7.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	110	1452
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	570	-
เหล็ก (มิลลิกรัม)	16.0	22.0
วิตามิน เอ (มิลลิกรัม)	35	60
ไทอามิน (มิลลิกรัม)	0.82	0.97
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.28	1.11
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	4.1	1.5

ที่มา : กองโภชนาการ (2535)

2.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการบริโภคงาดำ

ไขมัน

ในไขมันของเมล็ดงาประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง ซึ่งมีกรดลิโนเลอิค กรดลิโนเลนิค และกรดโอเลอิคเป็นองค์ประกอบหลัก โดย

- กรดลิโนเลอิค เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (Polyunsaturated fatty acid, PUFA) อีกทั้งเป็นกรดไขมันจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นได้จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ถ้าได้รับกรดไขมันนี้จากอาหารร้อยละ 7-10 ของพลังงานทั้งหมดจะลด

ระดับ โคเลสเตอรอลในเลือดได้ นอกจากนี้กรดลิโนเลอิคเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมันสายยาวในตระกูลโอเมกา 3 (ω 3)

- กรดลิโนเลนิค เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งและเป็นกรดไขมันที่จำเป็นเช่นเดียวกับกรดลิโนเลอิค เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมันสายยาวในตระกูลโอเมกา 6 (ω 6) (กองโภชนาการ, 2541)

กรดไขมันในตระกูลโอเมกา 3 และโอเมกา 6 จะใช้เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ที่สำคัญได้แก่ เซลล์สมองและเซลล์ประสาท ส่วนกรดไขมันที่จำเป็นร่างกายต้องการเพียงร้อยละ 1-2 ของพลังงานทั้งหมดต่อวัน หรือประมาณ 2-5 กรัมต่อวัน ถ้าร่างกายขาดจะพบอาการที่ต่างกัน คือ ถ้าขาดกรดลิโนเลอิค จะบกพร่องในการมองเห็น และกระหายน้ำ แต่ถ้าขาดกรดลิโนเลนิคจะมีความผิดปกติของผิวหนัง เป็นขุยและตุ่ม มีการเจริญเติบโตช้าและระบบสืบพันธุ์บกพร่อง (นัยนาและเรวดี, 2545)

- กรดโอเลอิค เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวตำแหน่งเดียว (Monounsaturated fatty acid, MUFA) มีคุณสมบัติลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือดลงได้เกือบเท่าเทียมกับกรดลิโนเลอิค (กองโภชนาการ, 2541)

โดยน้ำมันงาจะมีคุณสมบัติทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของน้ำมันจากเมล็ดงา

สมบัติ	ค่าที่วัดได้
Iodine number	103 – 106
Saponification number	188 – 195
Refractive index ที่ 25 °C	1.470 –1.474
Specific gravity ที่ 25/25°C	0.914 –0.919
Unsaponifiable matter	ไม่เกินร้อยละ 1.8

ที่มา : Bailey, 1951

โปรตีน

เมล็ดงาเป็นแหล่งที่สำคัญของกรดอะมิโนที่สำคัญ เช่น ไลซีนร้อยละ 2.9 เมไธโอนีนร้อยละ 3.3 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าโปรตีนจากธัญพืชและถั่วชนิดต่างๆ (วีระศักดิ์ และ วิไลศรี, 2539)

ตารางที่2.3 กรดอะมิโนชนิดต่างๆในเมล็ดงาดำ งาขาว ถั่วเหลือง และไข่ไก่

กรดอะมิโน	งาดำ	งาขาว	ถั่วเหลือง	ไข่ไก่ทั้งฟอง
Arginine	12.5	11.8	7.3	6.2
Histidine	2.1	2.4	2.9	2.1
Lysine	2.9	3.5	6.8	6.3
Phenylalanine	6.2	6.3	5.3	5.7
Methionine	3.3	3.8	1.7	3.2
Leucine	8.9	7.4	8.0	9.0
Isoleucine	3.9	3.7	6.0	6.2
Valine	3.5	3.6	5.3	7.0
Threonine	3.6	3.9	3.9	4.9

ที่มา : Block และ Weiss (1957)

วิตามินและแร่ธาตุ

งาเป็นอาหารที่มีแร่ธาตุมากคือมีอยู่ร้อยละ 4.1-6.5 ที่สำคัญคือ ธาตุเหล็ก ไอโอดีน สังกะสี แคลเซียม ฟอสฟอรัส งามีแคลเซียมมากกว่าพืชผักทั่วไป 40 เท่า มีฟอสฟอรัสมากกว่าพืชผักทั่วไป 20 เท่า ธาตุสองชนิดนี้เป็นธาตุสำคัญในการเสริมสร้างกระดูก (นิรนาม, 2533) นอกจากนี้งายังเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยวิตามินบี คือมีทั้งวิตามินบี 1 บี 2 บี 3 บี 5 บี 6 และบี 9 ไบโอติน โคลิน ไอโนสิตอล กรดพาราอะมิโนเบนโซอิค ซึ่งกลุ่มวิตามินบีนี้จะช่วยบำรุงประสาท หรืออาการไม่สบายต่างๆที่เกิดจากระบบประสาท เช่นนอนไม่หลับ อ่อนเพลีย เหน็บชา ปวดเส้นตามตัวเบื่ออาหาร ท้องผูก เมื่อยสายตา (ชนิกานต์, 2533)

เส้นใยอาหาร

ในการผลิตเนยงาดำนั้นไม่จำเป็นต้องเอาเปลือกหุ้มเมล็ดเช่นเดียวกับการผลิตเนย ถั่วลิสงทำให้ผู้บริโภคได้รับประโยชน์จากเส้นใยอาหารมากกว่า ใยอาหารนั้นเป็นสารที่ไม่ให้คุณค่าในด้านการเจริญเติบโตหรือซ่อมแซมร่างกาย เพราะเป็นองค์ประกอบของอาหารที่ไม่ได้รับการย่อยในทางเดินอาหารจึงไม่มีการดูดซึม และเป็นส่วนที่ผ่านลงไปถึงลำไส้โดยตลอด จึงทำให้ใยอาหารเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของกากอาหารที่ร่างกายขับทิ้ง นักวิทยาศาสตร์พบว่าใยอาหารมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำให้ปริมาณของอุจจาระมากขึ้นและหนักขึ้น ส่งผลให้การขับถ่ายกาก

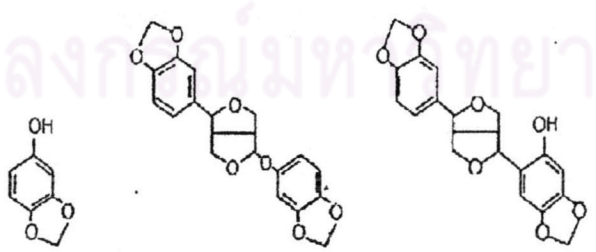
อาหารออกจากร่างกายเร็วขึ้นเพราะน้ำหนักที่มากขึ้นจะไปกระตุ้นระบบการเคลื่อนไหวของทางเดินอาหาร (peritalsis) ให้บีบตัวมากขึ้นทำให้กากอาหารถูกบีบออกจากร่างกายได้เร็ว ดังนั้นถ้ามีสารก่อมะเร็งในอาหารและมิได้ถูกดูดซึมผ่านผนังทางเดินอาหารก่อนถึงลำไส้ใหญ่ก็จะถูกขับออกจากร่างกายเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังมีความเชื่อว่าสารก่อมะเร็งที่อยู่ในรูปที่ทำลายพิษแล้วและถูกขับออกจากตับ ไต หรืออวัยวะอื่นๆสู่ลำไส้ใหญ่เพื่อขับออกจากร่างกายนั้น ถ้ามีช่วงเวลาอยู่ในลำไส้ใหญ่นานพอแบคทีเรียบางชนิดอาจขับเอนไซม์ เช่น เบตากลูคิวโรนิเดส (β-glucuronidase) ออกมาย่อยสารก่อมะเร็งที่ถูกขับออกมาในรูปกลูคิวโรไนด์ (glucuronide) ทำให้สารก่อมะเร็งหลุดออกมาและอาจถูกดูดซึมกลับเข้าทางผนังลำไส้ใหญ่สู่ระบบโลหิต หรือก่อให้เกิดมะเร็งที่ลำไส้ใหญ่ได้ การมีใยอาหารในกากอาหารจะช่วยทำให้สารก่อมะเร็งในรูปกลูคิวโรไนด์ถูกขับออกจากร่างกายก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไป นอกจากนี้อาหารที่มีใยอาหารสูงจะเพิ่มปริมาณกากอาหารส่งผลให้สารก่อมะเร็งที่อาจปนเปื้อนอยู่ถูกเจือจาง (แก้ว, 2529)

2.5 <u>สารแอนติออกซิแดนท์ในเมล็ดงา</u>

เมล็ดงามีเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสูงเนื่องจากการมีสารแอนติออกซิแดนท์อยู่ (endogenous antioxidant) โดยสารแอนติออกซิแดนท์ของเมล็ดงานั้นจะแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1. สารประกอบลิกแนน (Lignan)

เป็นสารที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นได้จึงเรียกว่าเป็น unsaponifiable matter ในเมล็ดงามีสารประกอบลิกแนนอยู่หลายชนิดด้วยกันแต่มีเพียง เซซามอล (sesamol) และ เซซามินอล (sesaminol) เท่านั้นที่มีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ ซึ่งสารทั้งสองตัวนี้เกิดจากสารตั้งต้น (precursor) ตัวเดียวกันคือ เซซาโมลิน (sesamolin) โดย เซซามอล เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ที่มีประสิทธิภาพสูง



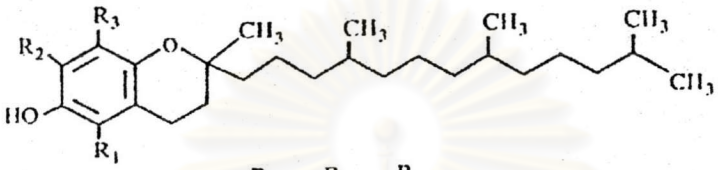
sesamol sesamolin sesaminol

รูปที่ 2.3 สารประกอบลิกแนนที่เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ในเมล็ดงา

ที่มา : Kamal-Eldin และ Appelqvist (1994)

2. โทโคเฟอรอล

โทโคเฟอรอลในงานั้นไม่ได้พบในปริมาณที่แตกต่างจากพืชอื่นๆ (Fukuda และคณะ 1986) ที่พบคือแกมมา-โทโคเฟอรอล และ เดลตา-โทโคเฟอรอล โดยจะพบ แกมมา-โทโคเฟอรอล ร้อยละ 90-99.5 ของปริมาณโทโคเฟอรอลที่มีในงา และพบ เดลตา-โทโคเฟอรอล ในปริมาณเล็กน้อย ส่วน แอลฟา-โทโคเฟอรอล และ บีตา-โทโคเฟอรอล ไม่สามารถตรวจพบได้ โดย แกมมา-โทโคเฟอรอลจะมีความสามารถในการเปลี่ยนเป็นวิตามินอีต่ำกว่าแอลฟา-โทโคเฟอรอล แต่มีประสิทธิภาพในการเป็นแอนติออกซิแดนท์ที่สูงกว่า (Burton และ Traber, 1990)



R_1	R_2	R_3	
CH_3	CH_3	CH_3	α-tocopherol
CH_3	H	CH_3	β-tocopherol
H	CH_3	CH_3	γ-tocopherol
H	H	CH_3	δ-tocopherol

รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโทโคเฟอรอล

ที่มา : Fukuda และคณะ (1986)

2.6 <u>ปฏิกิริยาออกซิเดชั่น</u>

สารแอนติออกซิแดนท์นั้นมีหน้าที่ในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นในอาหารจะมีขั้นตอนหลัก 3ขั้นตอนคือ

1. Initiation step
2. Propagation step
3. Termination step

แต่ละขั้นตอนมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

<u>Initiation</u>

เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระจากสารตั้งต้นที่ไม่ได้อยู่ในรูปของอนุมูล

$$RH \longrightarrow R^{\cdot}$$

อนุมูลอิสระเกิดขึ้นจะเข้าสู่ปฏิกิริยาในขั้น Propagation ต่อไป

Propagation

ในขั้นตอนนี้จะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่และเกิด Peroxyl Radical ($ROO^{\bullet}$) โดยมีกลไกการเกิดปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนดังนี้

1. $R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet}$

Peroxyl Radical

ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากขั้นตอน Initiation ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ แล้วเกิดเป็น peroxyl radical

2. $ROO^{\bullet} + R'H \longrightarrow ROOH + R'^{\bullet}$

(new radical)

ขั้นตอนที่สองนี้ เป็นขั้นที่ peroxyl radical ที่เกิดจากขั้นตอนแรกทำปฏิกิริยากับ ลิปิดตัวใหม่ ทำให้เกิด lipid hydroperoxide (ROOH) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร และจะแตกตัวต่อไปจนทำให้เกิดสารที่ทำให้กลิ่นรสของไขมันผิดเพี้ยนไป รวมทั้งยังทำให้เกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ด้วย

Termination

เป็นปฏิกิริยาที่อนุมูลอิสระตัวหนึ่งเกิดการรวมตัวกับอนุมูลอิสระอีกตัวกลายเป็นสารประกอบที่ไม่มีคุณสมบัติของอนุมูล

$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow R\text{-}R$

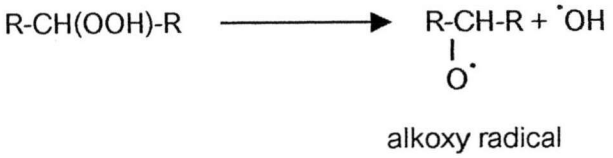
$R + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR$

$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2$

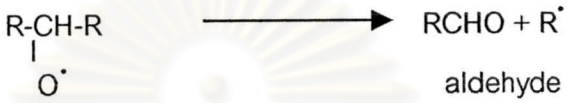
ปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระในขั้นของ Termination จะมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาใกล้เคียงกับปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระกับออกซิเจนในขั้น Propagation โดยที่ปฏิกิริยาการรวมตัวกันระหว่างอนุมูลอิสระนั้นจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาเพื่อทำให้พันธะที่สร้างขึ้นแข็งแรง ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปพลังงานความร้อน และที่สำคัญปฏิกิริยานี้จะถูกควบคุมโดยระดับความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ นั่นหมายถึงในสภาวะที่มีอนุมูลอิสระมากจะมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาในขั้นนี้ได้มากเช่นกัน

Secondary Degredation

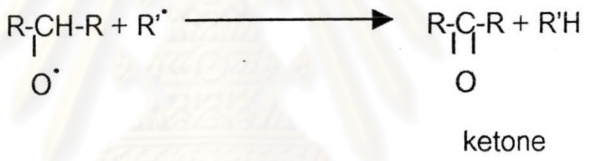
เป็นขั้นตอนที่เกิดการสลายตัวของ ROOH แล้วเกิดสารประกอบต่างๆ ที่ส่งผลต่อกลิ่นและรสชาติของไขมันดังนี้



โดย alkoxy radical ที่เกิดขึ้นจะสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก 4 ปฏิกิริยาดังนี้

1. 

2.

3. 

4.

ทั้ง aldehyde, alcohol และ ketone ที่เกิดขึ้นมานี้มีผลโดยตรงในการทำให้ไขมันมีกลิ่นและรสชาติที่ผิดปรกติไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง malonaldehyde ซึ่งเป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ ใช้เป็นดัชนีในการบอกความหืนของไขมันเนื่องจากค่า TBA (Thiobarbituric acid)

ปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

- ความร้อน (heat treatment)
- แสง (photosensitization)
- เอนไซม์ Lipoxygenase ซึ่งจำเพาะกับหมู่ 1,4 penta diene ของไขมัน
- ไอออนของโลหะ เช่น เหล็ก และ ทองแดง

สารแอนติออกซิแดนท์

เป็นที่ทราบกันดีว่าสารแอนติออกซิแดนท์เป็นสารที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นแบ่งเป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. Primary antioxidant (Chain-breaking antioxidant)
2. Secondary antioxidant (Preventive antioxdant)

Primary antioxidant (chain-breaking antioxidant)

คือสารประกอบทางเคมีที่สามารถให้ อนุมูลไฮโดรเจน หรือ อิเลคตรอน แก่อนุมูลอิสระเพื่อทำให้อนุมูลอิสระนั้นไม่มีคุณสมบัติของการเป็นอนุมูลอีกต่อไป(non-radical compound) ส่วนสารแอนติออกซิแดนท์นั้น เมื่อให้ไฮโดรเจนไปแล้วจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรจึงไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ โดยมีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

1. $AH + R^{\cdot} \longrightarrow A^{\cdot} + RH$

   (antioxidant free radical)

2. $AH + ROO^{\cdot} \longrightarrow A^{\cdot} + ROOH$
3. $AH + RO^{\cdot} \longrightarrow A^{\cdot} + ROH$

นอกจากนี้สารแอนติออกซิแดนท์ยังสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเป็นสารประกอบดังนี้

$A^{\cdot} + ROO^{\cdot} \longrightarrow ROOA$

$A^{\cdot} + RO^{\cdot} \longrightarrow ROA$

Secondary antioxidant (preventive antioxidant)

เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ที่ไม่ได้ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่ขั้นตอนต่างๆของปฏิกิริยา เพียงแต่ป้องกันไม่ให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้นโดยใช้กลไกต่างๆดังนี้

Binding metal ion

Scarvenging oxygen

Decomposing hydroperoxides

Absorbing UV radiation

Deactivating singlet oxygen

2.7 งาที่ปลูกในประเทศไทย

งาที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งตามลักษณะสีของเมล็ดได้ 3 ชนิดดังนี้

1. งาดำ แบ่งเป็น งาดำบุรีรัมย์และงาดำนครสวรรค์

งาดำบุรีรัมย์ ปลูกมากแถบอำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ อำเภอพยัฆภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ผลผลิตประมาณไร่ละ 60-90 กิโลกรัม

งาดำนครสวรรค์ ปลูกมากแถบภาคกลางตอนบนและภาคเหนือ ผลผลิตเฉลี่ยประมาณไร่ละ 100-130 กิโลกรัม

2. งาขาว แบ่งเป็น งาขาวพันธุ์พื้นเมืองชัยบาดาล งาขาวพันธุ์พื้นเมืองเลย และงาขาวพันธุ์ร้อยเอ็ด

งาขาวพันธุ์พื้นเมืองชัยบาดาล ปลูกกันมากในเขตอำเภอชัยบาดาลจังหวัดลพบุรี อำเภอหนองไผ่ อำเภอวิเชียรบุรี และอำเภอบึงสามพัน จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลผลิตเฉลี่ยไร่ละ 50-80 กิโลกรัม

งาขาวพันธุ์พื้นเมืองเลย ปลูกมากแถบอำเภอท่าลี่ อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย ผลผลิตเฉลี่ยไร่ละ 60-90 กิโลกรัม

งาขาวพันธุ์ร้อยเอ็ด เป็นงาขาวพันธุ์ใหม่ เป็นงาขาวที่นำเข้าจากต่างประเทศ ผลผลิตเฉลี่ยไร่ละ 115 กิโลกรัม

3. งาดำแดง หรือเรียกว่างาเกษตร นิยมปลูกกันมากในเขตภาคเหนือ และภาคกลางตอนบน ได้แก่ จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย นครสวรรค์ กำแพงเพชร ลพบุรี และแม่ฮ่องสอน ผลผลิตเฉลี่ยไร่ละ 50-80 กิโลกรัม (นิรนาม,2537)

2.8 การใช้ประโยชน์จากงา

การใช้ประโยชน์จากงานั้นใช้ได้ในหลายรูปแบบเช่นกันแต่จะแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 2 กลุ่ม คือ

1. การใช้เมล็ดงาเพื่อบริโภคโดยตรงนิยมนำเมล็ดงามาตกแต่งของคาวหวานเพื่อเพิ่มกลิ่นรส

2. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดงา

โดยผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันคือ กากงาที่มีปริมาณโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 28-48 ซึ่งนิยมนำไปทำเป็นอาหารสัตว์ (ถนอม, 2532)

ในการผลิตเนยงาดำได้ดัดแปลงขั้นตอนการผลิตมาจากกระบวนการผลิตเนยถั่วลิสง

2.9 <u>เนยถั่วลิสง</u>

ผลิตภัณฑ์เนยถั่วลิสงจะต้องประกอบด้วยถั่วลิสงร้อยละ 90 และจะต้องไม่มีการเติมกลิ่นสังเคราะห์ สารทดแทนความหวาน สารกันเสียต่างๆ รวมถึงสีที่ได้จากการสังเคราะห์และได้จากธรรมชาติ แต่อาจมีการเติมสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) ลงในผลิตภัณฑ์ซึ่งจะทำหน้าที่ป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำจากอนุภาคของแข็งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ (Freeman และ Singleton, 1952) สารเพิ่มความคงตัวที่ใช้นั้นจะต้องมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ซึ่งสารเพิ่มความคงตัวที่มีการใช้กันได้แก่ น้ำมันพืชที่ผ่านกรรมวิธีไฮโดรจิเนชัน ส่วนของโมโนกลีเซอร์ไรด์ , ไดกลีเซอร์ไรด์ หรือ ไตรกลีเซอร์ไรด์ของน้ำมันพืช และได้จากการนำไขมันดังที่กล่าวมาข้างต้นผสมกัน โดยสารเพิ่มความคงตัวจะถูกผสมให้เข้ากันกับส่วนผสมต่างๆในเนยถั่วลิสงที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของสารเพิ่มความคงตัวนั้น และเมื่อส่วนผสมเย็นลงสารเพิ่มความคงตัวจะเกิดผลึกทั่วทั้งผลิตภัณฑ์ซึ่งจะสามารถป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันได้ (Woodroof, 1983) ถ้าสารเพิ่มความคงตัวที่ใช้สามารถเกิดผลึกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจะยิ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ให้น้ำมันในผลิตภัณฑ์แยกตัวออกมาเนื่องจากเมื่อทำการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำๆจะเกิดผลึกจำนวนมากกว่าซึ่งสามารถป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันได้ดีกว่า นอกจากนี้ผลึกที่เกิดขึ้นยังมีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผลิตภัณฑ์เป็นผลทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีลักษณะเรียบเนียนกว่า (Freeman และคณะ,1954) ซึ่งข้อบังคับของ USDA ได้ระบุว่าผลิตภัณฑ์เนยถั่วลิสงที่ผลิตขึ้นมาใหม่หลังจากเก็บรักษาที่ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลามากกว่า 24 ชั่วโมงจะต้องมีน้ำมันแยกออกมาได้ไม่เกิน 0.5 มิลลิลิตรต่อขวดบรรจุโดยไม่มีการระบุขนาดของขวดที่บรรจุ (Hinds, Chinnan และ Beuchat, 1994)

<u>การคั่ว</u> เพื่อทำให้เมล็ดถั่วลิสงเกิดกลิ่นและเกิดสีได้ตามต้องการ ทำได้ทั้งแบบต่อเนื่อง (continuous) และแบบไม่ต่อเนื่อง (batch) (Considine และ Considine, 1983) เครื่องคั่วถั่วอาจเป็นถังทรงกระบอกหมุน มีการให้ความร้อนด้วยเปลวไฟโดยตรง หรือแพร่ความร้อนผ่านโลหะที่ใช้ทำ (Weiss, 1983) การหมุนของเครื่องจะช่วยให้ถั่วได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ การคั่วในช่วงแรกเป็นการทำให้ถั่วแห้งอย่างรวดเร็ว ถั่วจะมีความชื้นลดลงเหลือ ร้อยละ 0.5-5 และมีสีเปลี่ยนไปเนื่องมาจากผนังเซลล์และผิวของถั่วเปียกชุ่มไปด้วยน้ำมัน ถั่วจะมีสีคล้ำขึ้น การคั่วในขั้นแรกเรียกว่า white roast (Woodroof และคณะ, 1949) อุณหภูมิและเวลาของการคั่วขึ้นกับ

ขนาดและความชื้นของถั่ว ขนาดของเครื่องคั่ว ปริมาณถั่วที่คั่วในแต่ละครั้ง และความต้องการของผู้ผลิต (Woodroof, 1983) ในปี1954 Morris และ Freeman พบว่าเนยถั่วลิสงที่ผลิตจากเนยที่คั่วระดับปานกลางจะให้กลิ่นรสที่ดีกว่าและคงอยู่ได้นานกว่าเนยถั่วลิสงที่คั่วระดับต่ำไปหรือสูงไป เวลาที่ใช้ในการคั่วเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อสีและความชื้นของถั่วที่คั่วได้ โดยถั่วจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อมีความชื้นลดลง (Willich และคณะ, 1952) การคั่วถั่วไม่นิยมคั่วที่อุณหภูมิสูง เพราะจะทำให้ไขมันเกิดการสลายตัว ผิวถั่วจะเกิดไหม้และมีเขม่าจับ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่ดี ถั่วที่ทำการคั่วแล้วจะต้องมีลักษณะสม่ำเสมอ มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างสมบูรณ์จากจุดกึ่งกลางจนถึงผิวของเมล็ด ปราศจากการไหม้เกรียมหรือการสูญสลายไขมันที่ผิว (Woodroof, 1983) เมื่อคั่วเสร็จแล้วต้องใช้ลมเย็นเป่าเพื่อไม่ให้ถั่วสีเข้มเกินไป และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สม่ำเสมอ ถั่วที่คั่วแล้วควรนำมาทำผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องและรวดเร็วเพราะกลิ่นรสของถั่วระเหยได้ง่าย (Woodroof และคณะ, 1949)

<u>การทำให้เย็น</u> เป็นการดึงความร้อนออกจากถั่วที่คั่วแล้วอย่างรวดเร็วเท่าที่จะทำได้ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่นที่สม่ำเสมอและคงที่

<u>การลอกเปลือก</u> ทำได้โดยการขัดถู เมล็ดถั่วจะแตกเป็นสองซีก แล้วใช้ลมเป่าแยกส่วนเปลือกออกในขณะเดียวกันก็แยกส่วนคัพภะออก (Woodroof และคณะ, 1949) เปลือกและคัพภะของถั่วลิสงจะมีปริมาณน้ำมันต่ำและมีกรดไขมันอิสระสูงเมื่อเทียบกับส่วนเนื้อเมล็ด การแยกเปลือกและคัพภะออกจึงทำให้เนยถั่วลิสงมีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น กรดไขมันอิสระลดลงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่เนียนขึ้นและมีความเหนียวลดลง (Considine และ Considine, 1982) ขั้นต่อไปจะเป็นการคัดเลือกและแยกสิ่งเจือปนออกได้แก่ เมล็ดถั่วที่มีขนาดเล็ก หรือเหี่ยว ถั่วที่เน่าเสียหรือมีเชื้อราเป็นต้น ถ้ากำจัดเปลือกออกไปไม่หมดจะปรากฏจุดสีแดงในเนยถั่วลิสง ทำให้เกิดรสชาติขมเพราะเปลือกของถั่วลิสงนั้นจะมีรสขมเฝื่อนแต่จะประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 15 และไขมันร้อยละ 14% ในขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของเปลือกถั่วลิสงประมาณร้อยละ 5.2 และน้ำหนักของคัพภะประมาณร้อยละ 4.1 (Woodroof, 1983)

<u>การบด</u> การทำเนยถั่วลิสงนิยมบดสองขั้นตอน โดยขั้นแรกจะเป็นการบดเพื่อลดขนาดของถั่วลิสง และขั้นที่สองเป็นการบดละเอียดซึ่งการบดวิธีนี้จะทำให้อุณหภูมิของถั่วที่บดได้ (140-170 องศาฟาเรนไฮต์) ไม่สูงเท่าการใช้เครื่องบดครั้งเดียว (180 องศาฟาเรนไฮต์) (Woodroof, 1983) ขนาดอนุภาคของถั่วมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือถ้าบดถั่วให้หยาบมากขึ้นผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น เป็นผลให้ได้รับคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้าน

ความเรียบเนียน ความสามารถในการทา ความสามารถในการยึดเกาะกัน (adhesive) และคะแนนด้านความชอบลดลง (Crippen และคณะ, 1989) เนยถั่วลิสงที่ได้จากการบดถั่วละเอียดเมื่อเก็บไว้ระยะหนึ่งจะเกิดการแยกชั้นของน้ำมันสูงกว่าเนยถั่วลิสงที่ได้จากการบดถั่วอย่างหยาบๆ (Woodroof และคณะ, 1949) ในขั้นตอนการบดจะมีการเติมส่วนผสมอื่นๆลงไปคือ เกลือ น้ำตาลและสารเพิ่มความคงตัว เกลือและสารเพิ่มความคงตัวมักเติมก่อนการบดและให้ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการบดไปหลอมละลายหรือใช้สารให้ความคงตัวในลักษณะหลอมละลายหรือละลายในน้ำมันเป็นของไหล อุณหภูมิที่เหมาะในการผสมสารเพิ่มความคงตัวคือ 140-165 องศาฟาเรนไฮต์ สารให้ความหวานมีผลต่อกรรมวิธีการบด เนื่องจากสารให้ความหวานซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซ์สามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีนในถั่วลิสงได้ที่อุณหภูมิ 180 องศาฟาเรนไฮต์ดังนั้นจึงต้องทำการบดสองครั้งหรือนำมาผสมหลังการบด ส่วนน้ำตาลซูโครสไม่เกิดปัญหานี้จึงสามารถทำการบดที่อุณหภูมิสูงหรือผสมก่อนการบดได้

<u>การทำให้เย็นและการบรรจุ</u> หลังจากการบดเนยถั่วลิสงจะมีอุณหภูมิสูงและมีสภาพไหลจึงสามารถบรรจุโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกได้ (Weiss, 1983) ซึ่งจะต้องทำการลดอุณหภูมิทันทีจาก 170 องศาฟาเรนไฮต์เป็น 120 องศาฟาเรนไฮต์หรือต่ำกว่าก่อนการบรรจุ เพื่อให้ไขมันเกิดการตกผลึกอย่างเหมาะสม เนื่องจากอุณหภูมิและอัตราการทำให้เย็นมีผลต่อรูปผลึกไขมันซึ่งมีผลโดยตรงต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (Woodroof, 1983) ภาชนะที่บรรจุเนยถั่วลิสงอาจเป็นขวดแก้วหรือพลาสติกโดยเนยถั่วลิสงที่บรรจุในขวดแก้วจะมีอายุการเก็บนานกว่าการบรรจุในขวดพลาสติกซึ่งออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหืน โดยปกติเนยถั่วลิสงในขวดแก้วจะมีอายุการเก็บประมาณ 2 ปีในสภาวะปราศจากสิ่งรบกวนใดๆ (Weiss, 1983)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย