สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะเขือเทศเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์

นางสาว เบญจวรรณ ชูปริกร
นางสาว ปาริชาติ กัญญาบุญ
นางสาว อุษณีย์ เรืองรอง

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 67279
วัน,เดือน,ปี 22 พ.ย. 2549
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Utilization of tomato processing waste for rise nutrition in hamburger product

Miss Benjawan Chooparikorn

Miss Parichat Gunyabun

Miss Usanee Ruangrong

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Biology

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะเขือเทศเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์

โดย นางสาวเบญจวรรณ ชูปริกร รหัส 45050211

นางสาวปาริชาติ กัญญาบุญ รหัส 45050212

นางสาวอุษณีย์ เรืองรอง รหัส 45050266

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลินจง สุขลำภู

ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.สุขใจ ชูจันทร์	
กรรมการ	รศ. ดวงใจ โอชัยกุล	
กรรมการ	ผศ.ลินจง สุขลำภู	

(รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลินจง สุขลำภู อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่กรุณาให้คำปรึกษาระหว่างการค้นคว้าวิจัย และการเขียนโครงงานพิเศษฉบับนี้ รวมถึงการตรวจทานแก้ไขโครงงานพิเศษให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สุขใจ ชูจันทร์ และรองศาสตราจารย์ดวงใจ โอชัยกุล ที่เป็นคณะกรรมการในโครงงานพิเศษ และช่วยในการตรวจทานแก้ไขโครงงานพิเศษให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณพี่ๆ นักวิทยาศาสตร์ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือเพื่อใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณบริษัทไฮดิวผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบในการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ด้วยความเคารพยิ่ง และขอขอบคุณเพื่อนๆ และทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการศึกษามาตลอด รวมถึงมีส่วนช่วยให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

นางสาวเบญจวรรณ ชูปริกร
นางสาวปาริชาติ กัญญาบุญ
นางสาวอุษณีย์ เรืองรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปมะเขือเทศเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์

นักศึกษา นางสาวเบญจวรรณ ชูปริกร
นางสาวปาริชาติ กัญญาบุญ
นางสาวอุษณีย์ เรืองรอง

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์

สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ

ปีการศึกษา 2548

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ลินจง สุขลำภู

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติของใยอาหารผงจากของเหลือทิ้งในกระบวนการแปรรูปมะเขือเทศ (เปลือกและเมล็ด) และประยุกต์ใช้ใยอาหารผงที่ได้ในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ (45 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง) ต่อกระบวนการทำแห้งของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อค่าสี (a*และb*) และปริมาณความชื้นดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้ง ได้แก่ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งใยอาหารผงที่ได้มีคุณภาพทางเคมีและกายภาพได้แก่ ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.87 เส้นใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 61.03 โปรตีนร้อยละ 25.67 ไขมันร้อยละ 16.54 และเถ้าร้อยละ 3.29 และมีปริมาณไลโคปีนเท่ากับ 25.86 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักแห้ง คุณภาพทางด้านสีของใยอาหารผงพบว่าค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 59.49 ค่าสีแดง (a*) เท่ากับ +16.73 และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ +37.16 นอกจากนี้ใยอาหารผงที่ได้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเท่ากับ 6.60 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง และค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 2.34 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง จากการศึกษาการใช้ ใยอาหารผงเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ โดยใช้ใยอาหารผงทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณใยอาหารผงเพิ่มขึ้นค่าความแข็งและค่าสี (a*และb*) ของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ค่าการเกาะตัวของโครงสร้างและค่าการคืนกลับขนาดเดิมของตัวอย่างมีค่าลดลง ดังนั้นปริมาณสูงสุดของใยอาหารผงที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังได้ไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ และผลิตภัณฑ์มีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และไลโคปีนร้อยละ 8.25 8.64 และ 6.52 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ และจากการศึกษาการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยอาหารผงในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์ที่ปริมาณร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 โดยน้ำหนัก ซึ่งจากผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าค่าเฉลี่ยของความแน่นเนื้อ ความชุ่มน้ำและรสชาติของตัวอย่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามปริมาณสูงสุดของใยอาหารผงในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์ได้แก่ร้อยละ 3 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และปริมาณไลโคปีนเท่ากับร้อยละ 14.32 6.34 และ 7.07 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Utilization of tomato processing waste for rise nutrition in hamburger product
Name	Miss Benjawan Chooparikorn Miss Parichat Gunyabun Miss Usanee Ruangrong
Department	Applied Biology
Program	Biotechnology
Acadamic Year	2005
Special Project Advisor	Asst.Prof Linchong Suklampoo

Abstract

The objective of this study was to investigate the production and characteristic of fiber powder from tomato processing waste (peel and seeds), and to test their application in hamburger product. The effects of temperature (45, 50, 55, 60 ^{0}C for 6 hours) on drying process of tomato peel and seeds were studied. The results showed that, drying temperature effected the color (a* and b*) and moisture content ($p \leq 0.05$). Therefore, the appropriate temperature for drying was at 55 ^{0}C. Chemical and physical characteristics of the obtained fiber powder showed 4.87 % moisture content, 61.03% total dietary fiber, 17.12% protein, 18.44% fat and 3.29% ash, and had lycopene 25.86 mg/100g.dryweigh. The color of the fiber powder showed that brightness (L*) was 59.49 red (a*) was −16.73 and yellow (b*) was +37.16. Futhermore, the fiber had 6.60 g.water/g.dry sample water holding capacity and 2.34 g.oil/g.dry sample oil holding capacity. The application of high fiber powder for rise nutrition hamburger product was studied. The fiber powder was partially replace to wheat flour in bread product at the concentration of 1,2,3,4 and 5% by weight. The results revealed that as the fiber powder increased, the hardness and color value (a*and b*) of the products were increased significantly ($p \leq 0.05$), but the cohesiveness and springness of the samples were decreased ($p \leq 0.05$). Therefore, the highest level for replacing fiber powder to wheat flour in bread product was not more than 3% which still being accepted by panelists, and the obtained product had protein, fiber and lycopene as 8.25%, 8.64% and 6.25 mg/100 g.sample, respectively. Using fiber powder incorporated pork burgers at 1, 2, 3, 4 and 5% by weigh was also investigated. The results of sensory evaluation found that mean of firmness, juiciness and taste of the samples were not significantly different ($p>0.05$). However,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the highest concentration of fiber powder in pork burger was 3%, and the produet had protein, fiber and lycopene as 14.32%, 6.34% and 7.07 mg/100 g.sample, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....ค
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ.....2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน.....3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3
บทที่ 2 ทฤษฎีการทดลอง.....4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....52
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์.....62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....79
เอกสารอ้างอิง.....81
ภาคผนวก.....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไลโคปีนในผลไม้สด....8
ตารางที่ 2.2 ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศพันธุ์ต่างๆ....9
ตารางที่ 2.3 แคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ที่พบในมะเขือเทศ....11
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคปีน.... 12
ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ของการยับยั้ง single oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่าง ๆ....15
ตารางที่ 2.6 ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทางการค้า....23
ตารางที่ 2.7 การสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนในน้ำมะเขือเทศ....25
ตารางที่ 2.8 การสูญเสียไลโคปีนในสารละลายเฮกเซนและปิโตรเลียม....25
ตารางที่ 2.9 อิทธิพลของออกซิเจนต่ออัตราการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อน เนื้อมะเขือเทศที่ 100 องศาเซลเซียส....26
ตารางที่ 2.10 อิทธิพลของแสงสว่างร่วมกับอุณหภูมิต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศ ในสภาวะบรรยากาศปกตินาน 3 ชั่วโมง....27
ตารางที่ 2.11 ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด (total lycopene) และ cis lycopene ในมะเขือเทศทำแห้ง.... 28
ตารางที่ 2.12 ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ....29
ตารางที่ 2.13 การจำแนกองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหาร....31
ตารางที่ 2.14 แหล่งของเส้นใยอาหารชนิดต่าง ๆ ตามธรรมชาติ....34
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์....58
ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของหมูเบอร์เกอร์....60
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของส่วนผสมเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ.... 63
ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิการทำแห้งส่วนผสมของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ....64
ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีน.... 65
ตารางที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสีของใยอาหารผง....66
ตารางที่ 4.5 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และอุ้มน้ำมัน (oil holding capacity)....67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ 4.6 คุณภาพของใยอาหารผงที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส..... 69
ตารางที่ 4.7 ปริมาณไลโคปีนในขนมปังที่ร้อยละต่าง ๆของใยอาหารผงที่ทดแทนแป้งสาลี.....70
ตารางที่ 4.8 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของขนมปังที่ปริมาณร้อยละของใยอาหารผงต่างๆ ที่ใช้
ในการทดแทนแป้งสาลีบางส่วน.....71
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์.....72
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์.....74
ตารางที่ 4.11 ปริมาณไลโคปีนในหมูเบอร์เกอร์ที่ร้อยละต่าง ๆ ของใยอาหารผงที่ทดแทนเนื้อหมู.....75
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัสของหมูเบอร์เกอร์.....76
ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์เสริมใยอาหารผงร้อยละ 3.....78
ตารางที่ 1 ตัวอย่างค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดเนื้อสัมผัส..... 95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่พบในเมล็ดมะเขือเทศ..... 13
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน cis-isomer.....14
รูปที่ 2.3 แผนภาพปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของไลโคปีน.....17
รูปที่ 3.1 เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีน (Gerhardt).....53
รูปที่ 3.2 เครื่องมือชุดวิเคราะห์ใยอาหาร(VELP SCIENTIFICA).....54
รูปที่ 3.3 เตาเผา (Muffle furnace).....54
รูปที่ 3.4 เครื่องสกัดไขมัน (Soxthcrm apparatus)(BUCHI 810).....55
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyser) (LLOYD).....55
รูปที่ 3.6 การผลิตใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ.....56
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการผลิตขนมปังแฮมเบอร์เกอร์.....59
รูปที่ 4.1 ใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ.....66
รูปที่ 4.2 ลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของใยอาหารผงด้วยเครื่อง SEM.....68
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสีของขนมปังเมื่อทดแทนใยอาหารผงในปริมาณต่างๆ.....71
รูปที่ 4.4 ผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ที่เสริมใยอาหารผง.....78
รูปที่ 1 กราฟจากเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของขนมปังเสริมใยอาหารผงร้อยละ 3.....96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันความจำเป็นด้านสังคมและเศรษฐกิจทำให้คนส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่ในเมืองหันมาใช้บริการอาหารจานด่วนกันมากขึ้นเนื่องจากประหยัดเวลาและหาซื้อง่าย อาหารดังกล่าวมักเป็นอาหารที่ด้อยคุณภาพ มีองค์ประกอบของสารอาหารบางอย่างมากเกินไปและบางอย่างก็น้อยเกินไป อันเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคเส้นเลือดตีบตัน โรคโคเลสเตอรอลและน้ำตาลในเลือดสูง โรคเกี่ยวกับระบบการย่อยอาหาร และการขับถ่าย เป็นต้น แนวทางหนึ่งในการป้องกันและลดโอกาสในการก่อโรคดังกล่าวคือ การบริโภคอาหารให้ถูกสัดส่วนตามหลักโภชนาการ สำหรับอาหารที่นักโภชนาการแนะนำให้บริโภคนอกจากจะมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน เกลือแร่ และน้ำในปริมาณที่เหมาะสมแล้ว ผู้บริโภคทุกคนควรได้รับปริมาณใยอาหารหรือไฟเบอร์ 20-30 กรัมต่อวัน หรือ 10-13 กรัมต่อ 1,000 กิโลแคลอรี่ของอาหารที่บริโภค โดย 2 ใน 3 ของปริมาณใยอาหารที่บริโภคควรเป็นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ แต่จากสภาพการดำรงชีวิตในปัจจุบันการบริโภคอาหารที่เป็นแหล่งใยอาหารธรรมชาติมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นการเสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มปริมาณการบริโภคใยอาหารได้มากขึ้น โดยทั่วไปมีการใช้ใยอาหารจากธัญพืชมากกว่าจากผลไม้ แต่อย่างไรก็ตามใยอาหารจากผลไม้ถือว่ามีคุณภาพดีกว่าเนื่องจากมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดเป็นใยอาหารที่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันดี อีกทั้งถูกย่อยในลำไส้ได้ดีกว่า และยังมีแคลอรี่ต่ำอีกด้วย (Larrauri, 1999)

มะเขือเทศมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicum esculentum* Mill. เป็นพืชในวงศ์ Solanaceae มะเขือเทศเป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศเปรูและเอกวาดอร์ ต่อมาได้แพร่หลายไปรอบโลก ผลมะเขือเทศมีรสเปรี้ยวช่วยดับกระหายทำให้ร่างกายสดชื่น กระตุ้นน้ำย่อยทำให้เจริญอาหาร ช่วยบำรุงและกระตุ้นกระเพาะอาหาร ลำไส้ ไต ให้ทำงานได้ดี ช่วยขับพิษและสิ่งคั่งค้างในร่างกาย เป็นยาระบายอ่อนๆ ช่วยการขับถ่ายให้สะดวกขึ้น
(http://www.thaihealth.into/samunpai18.htm)

มะเขือเทศอุดมไปด้วยวิตามินและสารต่างๆที่มีประโยชน์มากมาย เช่น วิตามินซี วิตามินเอ วิตามินอี วิตามินเค วิตามินบี 12 วิตามินบี 6 โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส ไบโอทีน กรดโฟลิก กรดมาริก กรดซิตริก กรดอะมิโนกลูตามิก ใยอาหาร และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารสีธรรมชาติ
(http://www.gpo.or.th/rdi/html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศสามารถนำมาทำอาหารได้หลากหลายรูปแบบทั้งในแบบผัดผัก น้ำพริกอ่อง ซุปทั้งใส และข้น หรือนำมาทำน้ำมะเขือเทศดื่ม หรือทำเป็นซอสมะเขือเทศใช้ปรุงรสอาหารก็ได้ และในกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศตามโรงงานต่างๆ จะพบว่ามักจะมีส่วนของเหลือทิ้ง คือ เปลือกและเมล็ดเป็นจำนวนมาก เพราะในกระบวนการผลิตจะใช้เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อของมะเขือเทศเท่านั้น โดยปอกเปลือกมะเขือเทศและทำการบีบคั้นเนื้อมะเขือเทศเพื่อให้ได้ส่วนน้ำมะเขือเทศออกมาและนำน้ำมะเขือเทศที่ได้ไปทำการปรุงแต่งจนได้ออกมาเป็นซอสมะเขือเทศ โดยจะแยกส่วนกากของเปลือกและเมล็ดทิ้ง

จากการศึกษาพบว่าในส่วนของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศจะประกอบไปด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าหลายอย่าง และที่สำคัญคือมีปริมาณใยอาหารในปริมาณมาก นอกจากนี้ส่วนของสารแอนติออกซิแดนท์ คือ ไลโคปีนอยู่ด้วย (http://www.fascino.co.th) ดังนั้นในโครงงานพิเศษนี้มีแนวทางที่จะผลิตใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศและนำเอาใยอาหารผงที่ได้มาเสริมในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีผู้นิยมบริโภคกันมาก เนื่องจากมีรสชาติดีรับประทานได้ง่ายและสะดวกต่อการพกพาไปในที่ต่างๆ โดยทั่วไปแฮมเบอร์เกอร์จะให้พลังงานสูงแต่มีปริมาณใยอาหารอยู่ต่ำ เราจึงได้นำใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศมาใช้ในการทดแทนส่วนของแป้งที่ใช้ในการทำขนมปังและเนื้อหมูในการทำหมูเบอร์เกอร์ เพื่อเป็นแหล่งของใยอาหารตามธรรมชาติและเพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและความแปลกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการผลิตใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเนื้อมะเขือเทศเข้มข้น
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของใยอาหารผงที่ได้จากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ
3. ประยุกต์ใช้ใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศที่ได้ในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

ศึกษากระบวนการผลิตใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเนื้อมะเขือเทศเข้มข้น และนำใยอาหารผงที่ได้นี้มาทดแทนในการทำผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการวิจัย	เดือนที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
- ตรวจเอกสารเพิ่มเติม เตรียมอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่จำเป็น สำหรับใช้ในงานวิจัย	↔									
- ศึกษากระบวนการผลิตใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ		↔								
- ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของใยอาหารผงที่ได้			↔							
- การผลิตแฮมเบอร์เกอร์ โดยใช้ใยอาหารผงทดแทนแป้งในส่วนของขนมปังและเนื้อหมูบางส่วน				↔	↔	↔				
- ตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ รวมทั้งการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์-เกอร์							↔			
- วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง								↔		
- จัดทำรายงาน									↔	↔

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการลดปริมาณของเสีย ของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเนื้อมะเขือเทศเข้มข้น เนื่องจากในโรงงานที่ผลิตเนื้อมะเขือเทศเข้มข้นจะใช้แต่ส่วนเนื้อมะเขือเทศเท่านั้นเพื่อส่งไปทำซอสมะเขือเทศ และจะแยกเอาส่วนเมล็ดและเปลือกออกทิ้ง ในโครงงานพิเศษนี้จึงนำส่วนของเมล็ดและเปลือกมาแปรรูปเป็นผงเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์

2. เป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้อาหาร เนื่องจากเมล็ดและเปลือกที่นำมาแปรรูปเป็นผงนี้ประกอบไปด้วย เส้นใยอาหาร สารไลโคปีน รวมทั้งแร่ธาตุที่สำคัญ เช่น แคลเซียมและฟอสฟอรัส

3. เป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่แตกต่างจากตามท้องตลาด และมีคุณค่าทางโภชนาการสูงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 มะเขือเทศ (www.agric-prod.mju.ac.th)

มะเขือเทศเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบชายฝั่งทะเลตะวันตกทวีปอเมริกาใต้ ในประเทศเปรู และเอกวาดอร์ ต่อมาได้แพร่หลายไปรอบโลก มะเขือเทศมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicum esculentum* Mill. เป็นพืชในวงค์ Solanaceae หรือ night shade และอยู่ในกลุ่ม Solanaccous Begetable มีชื่อเรียกตามท้องถิ่นดังนี้ มะเขือ(ทั่วไป) มะเขือส้ม (ภาคเหนือ) น้ำเนอ (เชียงใหม่) ตรอบ (สุรินทร์) มะเขือเครือ (ภาคอีสาน)

มะเขือเทศจัดเป็นพืชล้มลุก สร้างลำต้นและระบบกิ่งก้านที่แตกแขนงสลับกันเป็นจำนวนมาก มีลักษณะเป็นพุ่ม ลำต้นมีขนปกคลุม ลำต้นแก่จะมีลักษณะเป็นเหลี่ยม ในระยะแรกของการเจริญลำต้นจะตั้งตรงระยะหนึ่งต่อมาเมื่อลำต้นสูงประมาณ 1-2 ฟุต จะทอดไปในแนวราบ ในบางสายพันธุ์จะมีลำต้นสั้นโดยจะเจริญทางด้านลำต้นระยะหนึ่ง ต่อจากนั้นดอกจะเจริญตรงส่วนยอด ทำให้อัตราการเจริญหยุดชะงัก เรียกว่า การเจริญแบบจำกัด หรือสายพันธุ์พุ่ม (determinate type) จัดเป็นพืชฤดูเดียว บางสายพันธุ์จะมีลำต้นทอดยาว การปลูกในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสามารถเจริญได้หลายฤดู ดอกจะเจริญทางด้านข้าง ห่างกันทุก 3 ข้อ เรียกว่าการเจริญแบบไม่จำกัดว่า สายพันธุ์ทอดยาวหรือขึ้นข้าง (indeterminate type) มะเขือเทศเป็นพืชที่มีอายุประมาณ 1 ปี ลำต้นสูงประมาณ 1-2 เมตร ลักษณะเป็นพุ่มและเจริญเติบโตรวดเร็ว มีกลิ่นเฉพาะตัว

ใบของมะเขือเทศจะเจริญสลับกันเป็นแบบ odd-pinnately compound leaves ใบเป็นใบประกอบขนาดค่อนข้างใหญ่ บางพันธุ์มีใบย่อยกว้าง บางสายพันธุ์ใบจะยาวและแคบ มีขนอ่อนขึ้นบนใบ และมีต่อมสร้างสารระเหยที่ขน เมื่อถูกรบกวนจะปลดปล่อยสารที่มีกลิ่นออกมา โดยทั่วไปใบเป็นใบเดี่ยวรูปหอกหรือรูปไข่เรียงสลับกัน ใบกว้าง 2-5 เซนติเมตร ยาว 3-10 เซนติเมตร ขอบใบหยักเป็นซี่ห่าง ๆ

ระบบรากของมะเขือเทศเป็นระบบรากแก้วเจริญเติบโตได้เร็ว แข็งแรง โดยทั่วไปรากแก้วจะขาดในระหว่างการย้ายปลูก ทำให้เกิดรากแขนง และรากพิเศษ (adventitious and fibrous roots) เป็นจำนวนมาก ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม มะเขือเทศจะสร้างรากแขนงพิเศษที่ลำต้นซึ่งจะช่วยในการดูดอาหารไปเลี้ยงลำต้นได้ รากของมะเขือเทศจะเจริญในแนวดิ่ง ลึกลงไป 2-3 ฟุต ต่อจากนั้นจะเจริญในแนวนอน 4-5 ฟุต ดอกมะเขือเทศจะอยู่สลับกันในช่อ เรียก raceme หรือ monochasialcyne ช่อดอกสามารถแตกกิ่งมากกว่าสองกิ่ง และการเจริญของกิ่งจะดำเนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปจนกระทั่งดอกช่อแรกบาน สายพันธุ์ทั่วไปจะมีจำนวนดอกประมาณ 4-5 ดอกต่อช่อ แต่บางสายพันธุ์มีมากกว่าโดยเฉพาะสายพันธุ์ที่มีผลขนาดเล็ก ดอกของมะเขือเทศเป็นดอกแบบสมบูรณ์เพศ (complete or perfect flower) ประกอบด้วย กลีบเลี้ยงมีสีเขียว กลีบดอกมีสีเหลือง จำนวน 5-6 กลีบ เกสรตัวผู้มีจำนวน 5 อัน อยู่ถัดจากกลีบรองดอก ล้อมรอบด้วยเกสรตัวเมีย ปกติก้านเกสรตัวเมียจะอยู่ต่ำกว่าถุงหรืออับละอองเกสรตัวผู้ เพื่อที่จะรองรับละอองเกสร เมื่อถุงละอองเกสรเปิด โดยปกติแล้วมีอัตราการติดผลร้อยละ 60 มะเขือเทศส่วนมากจะผสมตัวเอง (self pollination) โดยที่อับละอองเกสรจะเปิดหลังจากดอกบาน 24-48 ชั่วโมง และเกสรตัวเมียจะพร้อมผสมได้ก่อนที่อับละอองเกสรเปิด 1-2 วัน

ผลของมะเขือเทศจะเป็นแบบ berry สร้างเมล็ดใน fleshy mesoearp โดยเมล็ดจะเกิดขึ้นบน aplaeenta อยู่ในโพรง (pocket or loeule) ผลหนึ่งจะประกอบด้วยโพรงจำนวน 2-15 locules ผลภายนอกจะมีลักษณะอวบ สด ฉ่ำน้ำ มีรูปร่าง สีและขนาดแตกต่างกันตามพันธุ์ ผิวของมะเขือเทศจะไม่มีสีผิว แต่ส่วนของผลที่มีสีชมพูหรือสีเหลือง เกิดจากสีของเนื้อ ขึ้นอยู่กับเม็ดสี (pigment) 2 ชนิด คือ ไลโคปีน ทำให้ผลเกิดสีแดง และแคโรทีนทำให้ผลเกิดสีเหลือง ลักษณะรูปร่างของผลก็จะมีหลายรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น ผลกลม (globe) กลมแป้น (oblate) กลมยาว (pear shape) หรือเป็นเหลี่ยม (square or blocky shape) ผลสุกมีสีแดง ผิวบางเป็นมัน

เมล็ดมะเขือเทศมีลักษณะเป็นรูปไข่แบนกลม มีสีน้ำตาลอ่อนมีสารคล้ายเยลลี่ล้อมรอบขนขนาดเล็กปกคลุมที่เปลือกของเมล็ด มีขนาด 1-4 มิลลิเมตร จำนวนเมล็ดในหนึ่งผลมีประมาณ 150-300 เมล็ด หรือมากกว่าขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เช่นในเมล็ดหนัก 10 กรัมจะมีเมล็ดอยู่ 2,500-3,000 เมล็ด ส่วนของเมล็ดนี้จะมีน้ำมันร้อยละ 15 เมื่อสกัดน้ำมันออกมาจะมีสีเหลืองปนแดงมีกลิ่นฉุน เมื่อนำมากลั่นจะได้น้ำมันสีเหลืองสามารถนำมาประกอบอาหารได้ สามารถจำแนกสายพันธุ์มะเขือเทศตามลักษณะของผลและการใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

2.1.1 มะเขือเทศรับประทานสด (table tomato) ผลมีขนาดใหญ่ มีโพรงในผลมาก รสชาติดี แต่จะมีปัญหาหลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากเมื่อแป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ผลจะนิ่มเร็ว (3-4 วัน) ปัจจุบันจึงมีการปรับปรุงสายพันธุ์ให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

2.1.2 มะเขือเทศแปรรูป (processing tomato) ผลภายในจะมีช่องในผลน้อย ผลแข็ง กระบวนการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลจะช้า มี total soluble solid content สูง ใช้สำหรับโรงงานแปรรูป เช่น เนื้อมะเขือเทศเข้มข้น น้ำมะเขือเทศ ซอสมะเขือเทศ มะเขือเทศดองทั้งผล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ประโยชน์ของมะเขือเทศ

มะเขือเทศอุดมไปด้วยวิตามินและสารต่างๆที่มีประโยชน์มากมาย ได้แก่ มีวิตามินซี วิตามินเอ วิตามินอี วิตามินเค วิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินบี6 โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส ไบโอทีน กรดโฟลิก กรดมาลิก กรดซิตริกซึ่งทำให้เกิดรสเปรี้ยว น้ำตาล มีกรดอะมิโนที่ชื่อกลูตามิกในปริมาณสูง ซึ่งกรดอะมิโนชนิดนี้เป็นตัวเพิ่มรสชาติให้อาหารเนื่องจากเป็นกรดอะมิโนตัวเดียวกับที่อยู่ในผงชูรส ในเมล็ดมะเขือเทศยังพบไลซีนในปริมาณสูง สามารถนำไปเพิ่มปริมาณโปรตีนในอาหารพวกธัญพืชได้ซึ่งอาหารเหล่านี้จะมีไลซีนในปริมาณที่ต่ำ

(Brodowski and Geisman, 1980)

ผลมะเขือเทศมีรสเปรี้ยวช่วยดับกระหายทำให้ร่างกายสดชื่น กระตุ้นน้ำย่อยทำให้เจริญอาหาร ช่วยบำรุงและกระตุ้นกระเพาะอาหาร สำไส้ ได ให้ทำงานได้ดีด้วย ช่วยขับพิษและสิ่งคั่งค้างในร่างกาย เป็นยาระบายอ่อนๆ ช่วยการขับถ่ายให้สะดวกขึ้น ในสมัยโบราณมีการใช้มะเขือเทศเป็นยาสมุนไพร โดยมีสรรพคุณพื้นบ้านดังนี้ ผลและน้ำคั้นทำให้เกิดอาการอาเจียนในเด็กที่ได้รับสารพิษ ช่วยเป็นยารักษาโรคผิวหนังที่โดนแดดเผาโดยใช้ใบตำให้ละเอียดทาบริเวณที่เป็น ช่วยแก้อาการปวดฟัน ช่วยรักษาสิว สมานผิวหน้าให้เต่งตึง ใช้ห้ามเลือด ลดอาการข้อบวม ลดไข้ ลดอาการเส้นเลือดดำขอด และรักษานิ่วในไตหรือในถุงน้ำดี และในปัจจุบันได้มีการนำมะเขือเทศมาใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร และได้มีการศึกษาวิจัยพบว่า ผลมะเขือเทศสุกมีสารสำคัญคือ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) ชื่อไลโคปีน (lycopene) ซึ่งมีคุณสมบัติทำลายอนุมูลอิสระที่ทำให้เกิดโรคหลายชนิดโดยเฉพาะโรคมะเร็ง และได้มีการศึกษาวิจัยพบว่าในผู้ชายที่รับประทานผลมะเขือเทศสุก 10 ครั้งต่อสัปดาห์ จะช่วยลดอัตราการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมากได้ถึงร้อยละ 45 ส่วนผู้หญิงได้มีการศึกษาวิจัยพบว่าสารไลโคปีนแสดงฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งมดลูก

ได้มีการนำเอาโปรตีนในเมล็ดมะเขือเทศใช้แทนข้าวโพดและถั่วเหลืองเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารไก่ ซึ่งจะให้ปริมาณกรดอะมิโนที่เท่ากันและทำให้ไข่แดงในไข่ไก่มีสีเข้มขึ้น (Ben-Gera and Kramer, 1969) นอกจากนี้มีการใช้เมล็ดมะเขือเทศเป็นส่วนเสริมในผลิตภัณฑ์เบเกอรีเพื่อพัฒนาด้านเนื้อสัมผัส ช่วยให้ขนมปังเป็นเนื้อเดียวกันและช่วยยับยั้งการเสื่อมสภาพของขนมปังเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน (Morrison, 1976) สำหรับกากใยอาหาร และ แคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารสีธรรมชาติที่พบมากที่สุด พบในคลอโรพลาสต์ในรูป chromoproteins หากอยู่นอกคลอโรพลาสต์ จะพบเป็น acyclic carotenoids ซึ่ง แคโรทีนอยด์ที่เป็นสีของมะเขือเทศคือไลโคปีน (http://www.thaihealth.info/samunpai18.htm)

มะเขือเทศสามารถนำมาทำเป็นอาหารได้หลากหลายรูปแบบทั้งในแบบผัดผัก ข้าวผัด น้ำพริกอ่อง ซุปทั้งใสและข้น ยำต่างๆ รวมไปถึงส้มตำ หรือนำมาคั้นน้ำมะเขือเทศดื่ม หรือทำเป็นซอสมะเขือเทศใช้ปรุงรสอาหารก็ได้ และในกระบวนการผลิตซอสมะเขือเทศตามโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่ ๆ จะพบว่ามักจะมีส่วนของเหลือทิ้ง คือ เปลือก และเมล็ด เป็นจำนวนมาก เพราะในกระบวนการผลิตจะใช้เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อของมะเขือเทศเท่านั้น โดยปอกเปลือกมะเขือเทศ และทำการบีบคั้นเนื้อมะเขือเทศเพื่อให้ได้ส่วนของเนื้อมะเขือเทศเข้มข้น และนำส่วนที่ได้นี้ไปทำการปรุงแต่งจนได้ออกมาเป็นซอสมะเขือเทศ โดยจะแยกกากของเปลือกและเมล็ดทิ้ง ในบางโรงงานอาจจะนำไปทำเป็นปุ๋ย หรืออาหารสัตว์ ในต่างประเทศจะมีส่วนเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากและจะนำไปทิ้งในแม่น้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในองค์ประกอบต่างๆ ที่มีในเปลือกและเมล็ดที่ได้จากโรงงานผลิตซอสมะเขือเทศจากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate analysis) ประกอบด้วย ความชื้นร้อยละ 8.5 โปรตีนร้อยละ 25 ไขมันร้อยละ 20 เถ้าร้อยละ 3.1 เส้นใยทั้งหมดร้อยละ 35.1 แคลเซียมร้อยละ 0.12 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.58 เมทไทโอนีนร้อยละ 0.39 ซีสเตอีนร้อยละ 0.4 ไลซีนร้อยละ 1.34 และ TMEn 3,204 kcal/kg ซึ่งสารหลักที่พบในเปลือกของมะเขือเทศได้แก่ ไลโคปีน (http://www.poultryscience.org)

Morrison (1976) ใช้เมล็ดมะเขือเทศมาเสริมในผลิตภัณฑ์เบเกอรีเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมปัง และพบว่ายังสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของขนมปังเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน

Brodowski and Geisman (1980) ได้ทำการศึกษาโปรตีนในเมล็ดมะเขือเทศและพบว่ามีไลซีนในปริมาณสูง และได้นำไปเสริมคุณค่าในผลิตภัณฑ์ธัญพืชซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไลซีนต่ำ

2.3 ไลโคปีนในมะเขือเทศ

ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีมากในมะเขือเทศ นอกจากไลโคปีนแล้วมะเขือเทศยังประกอบด้วยแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ ปริมาณน้อยมาก ได้แก่ แอลฟาแคโรทีน (γ -carotene) เบต้าแคโรทีน (β -carotene) ลูเทอิน (lutein) และเบต้าคริปโตแซนทิน (β -cryptoxanthin) (Curl, 1961) ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศสดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความสุก และสภาวะแวดล้อมในการบ่มให้สุก โดยทั่วไปมะเขือเทศมีไลโคปีน 3.10 - 7.74 มิลลิกรัม / 100 กรัม น้ำหนักสด แต่ในมะเขือเทศพันธุ์ *Lycopersicon pimpinellifolium* มีไลโคปีน 40 มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักสด นอกจากนี้ยังพบไลโคปีนในผลไม้ชนิดอื่น เช่น แอปปริคอท เบอร์รี่ พีชตระกูลส้ม องุ่น เกรฟฟรุต ฝรั่ง มะม่วง มะละกอ พีช พลัม ดังแสดงปริมาณในตารางที่ 2.1 พืชหัวที่พบไลโคปีน เช่น แครอท และยังพบไลโคปีนในใบชาอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไลโคปีนในผลไม้สด

ผลไม้	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักสด)
แอปปริคอท	0.005 [a]
องุ่น	3.360 [a]
ฝรั่ง	5.400 [a]
มะละกอ	2.000 – 5.300 [b]
มะเขือเทศ	3.100 – 7.740 [c]
แตงโม	4.100 [a]

ที่มา : [a] USDA (1998)

[b] Mangels et. al (1993)

[c] Nguyen and Schwartz (1998)

Gould (1992) พบว่ามะเขือเทศที่ปลูกในฤดูร้อน (มิถุนายน–สิงหาคม) มีความเข้มข้นของไลโคปีนสูง ส่วนมะเขือเทศที่ปลูกในฤดูหนาว (ตุลาคม–มีนาคม) มีความเข้มข้นของไลโคปีนต่ำ มะเขือเทศที่ปลูกในเรือนกระจกทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาวมีปริมาณไลโคปีนต่ำกว่ามะเขือเทศที่ปลูกนอกเรือนกระจกในฤดูร้อน และพบว่ามะเขือเทศที่เก็บเกี่ยวในขณะที่ผลแก่มีสีเขียวแล้วนำมาบ่มให้สุก จะมีปริมาณไลโคปีนต่ำกว่ามะเขือเทศที่สุกบนต้น ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศต่างๆ

Al – Wandawi et al. (1985) พบว่าผิวมะเขือเทศ (skin) ประกอบด้วยไลโคปีน 12 มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักผิวสด ขณะที่มะเขือเทศทั้งผลมีไลโคปีน 3.4 มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักสด ซึ่งความเข้มข้นของไลโคปีนในผิวมะเขือเทศมากกว่ามะเขือเทศทั้งผลประมาณ 3 เท่า ผลการทดลองนี้เป็นไปทำนองเดียวกับผลการทดลองของ Shi and Le Magure (2000) ซึ่งพบว่าผิวมะเขือเทศประกอบด้วยไลโคปีน 5 เท่าของเนื้อมะเขือเทศทั้งผล ผิวมะเขือเทศมีไลโคปีน 53.9 มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักสด ส่วนเนื้อมะเขือเทศทั้งผลมีไลโคปีน 11 มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักสด ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าไลโคปีนส่วนใหญ่ในมะเขือเทศจับอยู่กับเส้นใยที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (insoluble fiber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศพันธุ์ต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณไลโคปีน(มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักสด)
น้ำมะเขือเทศจากมะเขือเทศสุก	3.17
น้ำมะเขือเทศจากมะเขือเทศสีเขียว	0.171
น้ำมะเขือเทศจากมะเขือเทศสุกบางส่วน (สีเหลืองแดง)	0.240
(ใช้มะเขือเทศที่ปลูกในอินเดีย)	
มะเขือเทศพันธุ์ VT-145-7879 (ปลูกในเมืองเดวิส อเมริกา)	
สีชมพู	12.18
สีแดงปานกลางมีจุดสีส้ม	20.71
สีแดงทั้งผล (สุกเต็มที่)	30.16
มะเขือเทศสด (ปลูกเดือนมิ.ย. - ส.ค.)	3.8 - 6.6
มะเขือเทศสด (ปลูกเดือนต.ค. - มี.ค.) ปลูกในฟินแลนด์	2.6 - 3.1
มะเขือเทศสด (ปลูกในมาเลเซีย)	0.723
มะเขือเทศสด (ปลูกในอเมริกา)	8.25 - 10.29
พันธุ์ที่มีผลสีแดง	
Cherry	3.780
Flavourtop	5.653
Tigerella	1.582
Ida F1hybrid	1.711
Shirley F1	2.347
Craig	3.907
Moneymaker	4.255
Allicanti	4.037
Beefsteak	4.833

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศพันธุ์ต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณไลโคปีน(มิลลิกรัม / 100 กรัมน้ำหนักสด)
พันธุ์ที่มีสีเหลือง	
Sungold	0.528
Gold sunrise	0.021
Ohino – 8245	9.65 – 10.21
92 – 7136	7.72 – 7.80
92 – 7075	6.23 – 6.59
H – 9035	10.16 – 10.22
CC – 164	10.64 – 10.76

ที่มา : Shi and Le Magure (2000)

2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของไลโคปีน

แคโรทีนอยด์ที่เป็นส่วนประกอบในผักและผลไม้มีมากกว่า 600 ชนิด ในทางเคมีสามารถแบ่งแคโรทีนอยด์ออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ ได้แก่

1. แคโรทีนอยด์ไม่อิ่มตัวอย่างมาก (highly unsaturated hydrocarbon carotenoid) เช่น ไลโคปีน เบต้าแคโรทีน และแกมมาแคโรทีน แคโรทีนอยด์ในกลุ่มนี้โครงสร้างทางเคมีไม่มีออกซิเจน มีสีส้มและสีแดง

2. แซนโทฟีลล์ (xanthophyll) เช่น เบต้าคริปโตแซนทิน ลูเทอิน และซีอะแซนทิน โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยอนุพันธ์ของออกซิเจน และ oxygenated group 1 หรือมากกว่า 1 กลุ่ม ที่ตำแหน่งวงแหวนที่อยู่ตรงปลายสายโซ่หลัก

ในมะเขือเทศพบสารสี (pigment) ที่อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์มากกว่า 21 ชนิด โดยพบไลโคปีนมากที่สุด นอกนั้นเป็น แอลฟาแคโรทีน ไฟโทอีน ไฟโทฟลูอีน นิวโรสปอรีน และลูเทอีน (Gould, 1992) ปริมาณเล็กน้อย (ตารางที่ 2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ที่พบในมะเขือเทศ

แคโรทีนอยด์	สัดส่วน (ร้อยละ)	จำนวนพันธะคู่ที่เชื่อมต่อกัน	ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดในสารละลายเฮกเซน (nm)
Lycopene	80 - 90	11	472 (457, 485, 519)
α – carotene	0.03	9	444 (319, 348, 366)
β – carotene	3 - 5	9	450 (427, 450, 477)
γ – carotene	1 – 1.3	7	450 (423, 461,490)
Phytoene	5.6 - 10	3	290 (275, 286, 297)
Phytofluene	2.5 – 3.0	5	350 (331, 348, 366)
Neurosporene	7 - 9	9	450 (415, 438, 486)
Lutein	0.011 – 1.1	10	442 (424, 446, 473)

ที่มา : Gross (1987)

2.3.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคปีนแสดงในตารางที่ 2.4 ไลโคปีนในมะเขือเทศสดอยู่ในรูปที่มีโครงสร้างเป็นเส้นยาว (trans form) มีลักษณะเป็นผลึกทำให้มะเขือเทศมีสีแดงสว่าง ไลโคปีนละลายในคลอโรฟอร์ม เบนซีน และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ ได้ดีกว่าน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของไลโคปีน

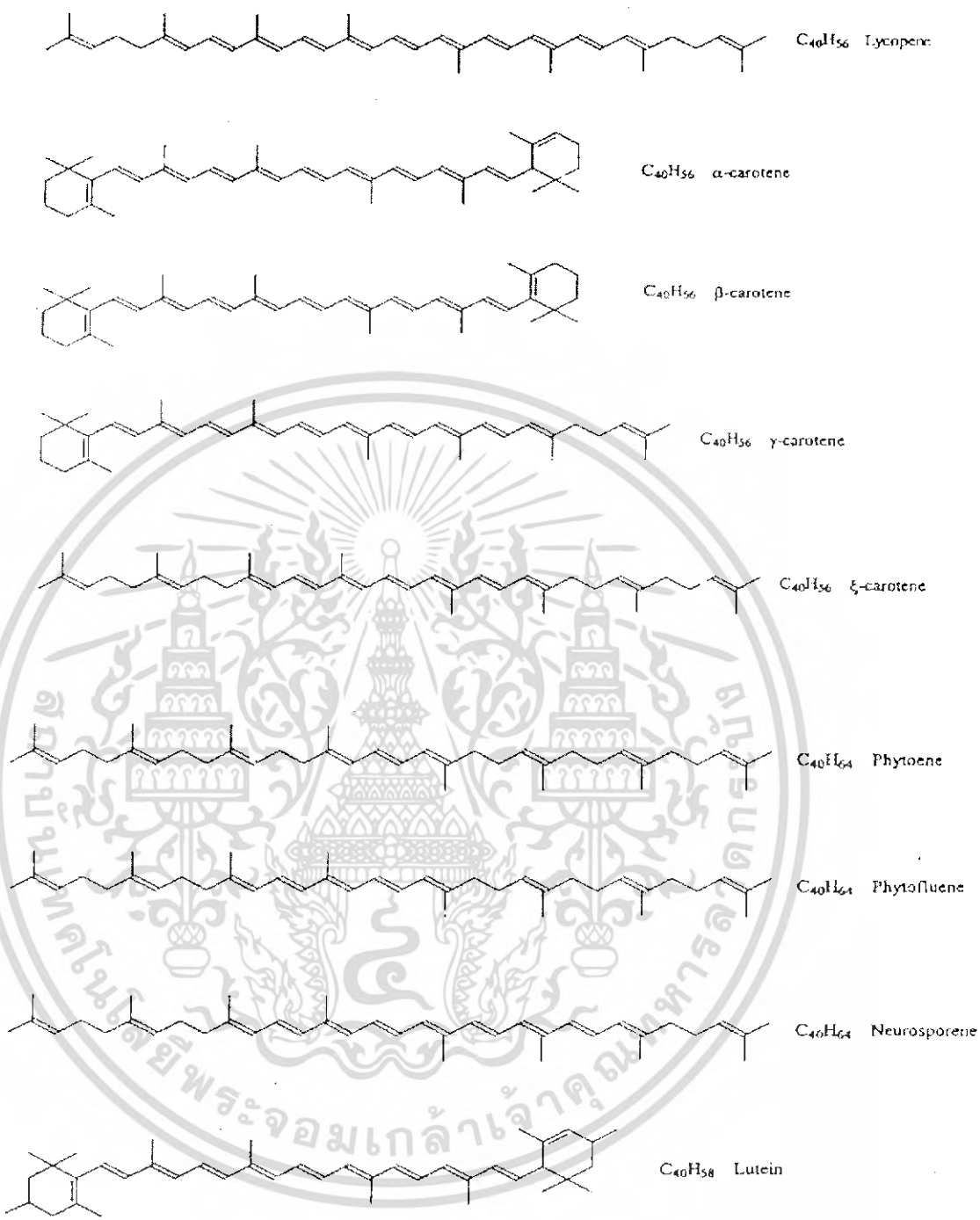
สูตรโมเลกุล	$C_{40}H_{56}$
น้ำหนักโมเลกุล	536.85 ดาลตัน
จุดหลอมเหลว	172^{o} - 175^{o} ซ
รูปร่างผลึก	ในสารละลายเอทานอลที่ประกอบด้วย คาร์บอนไดซัลไฟด์มี รูปร่างเหมือนเข็ม มีสีแดง
ลักษณะผง	สีน้ำตาลแดง
ความสามารถในการละลาย	ละลายในคลอโรฟอร์ม เฮกเซน เบนซีน คาร์บอนไดซัลไฟด์ อะซีโตน ปิโตรเลียมอีเทอร์ ไม่ละลายน้ำ เอทานอล เมทานอล
มีความไวต่อ (Sensitivity)	แสง ออกซิเจน อุณหภูมิสูง กรด

ที่มา : Shi and Magure (2000)

2.3.1.2 โครงสร้างทางเคมี

โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ที่สำคัญในมะเขือเทศแสดงในภาพที่ 1 ไลโคปีนเป็นโพลีอีนไฮโดรคาร์บอน (polyene hydrocarbon) ปลายโซ่เปิด เป็นแคโรทีนอยด์ไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่ทั้งหมด 13 พันธะ แต่มีเพียง 11 พันธะที่เชื่อมต่อรวมกันเป็นเส้นยาว ไลโคปีนมีสูตรโมเลกุล $C_{40}H_{56}$ มีลักษณะเป็นสีแดงและเป็นสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ได้ เนื่องจากมีโครงสร้างพิเศษที่แตกต่างจากแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น และมีการเชื่อมกันของพันธะคู่ ไลโคปีนไม่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ เนื่องจากโครงสร้างของไลโคปีนไม่มีวงแหวนเบต้า (β – ionone ring) ในมะเขือเทศสดไลโคปีนอยู่ในรูปออล – ทรานส์ (all – trans) และสามารถเกิดไอโซเมอร์จากทรานส์ฟอร์ม (trans form) เป็นโมโน (mono) หรือโพลีซิสฟอร์ม (poly–cis form) ได้ ภายใต้สภาวะที่มีการชักนำโดยความร้อน แสง หรือปฏิกิริยาเคมี แสง ความร้อน และกรดเป็นปัจจัยที่ทำให้ไลโคปีนเสื่อมสลาย ส่วนไอออนของโลหะ เช่น Cu^{2+} และ Fe^{3+} เป็นตัวเร่งให้ไลโคปีนเกิดออกซิเดชัน โครงสร้างของไลโคปีนบางไอโซเมอร์แสดงในภาพที่ 2.2 ไลโคปีนในรูปซิสไอโซเมอร์ (cis – isomer) มีความแตกต่างทางด้านรูปร่าง ความเสถียร และคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงจากทรานส์ไอโซเมอร์ (trans – isomer) เป็นโครงสร้างที่พบส่วนใหญ่ในธรรมชาติ โดยทรานส์ไอโซเมอร์ จะมีโครงสร้างตรง แบนราบ และมีเสถียรภาพมากที่สุด ในขณะที่ซิสไอโซเมอร์มีพลังงานสูง ว่องไวต่อปฏิกิริยา ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดลดลง ส่งผลให้มีสีแดงน้อยลง ความเข้มสีลดลง ซึ่งมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

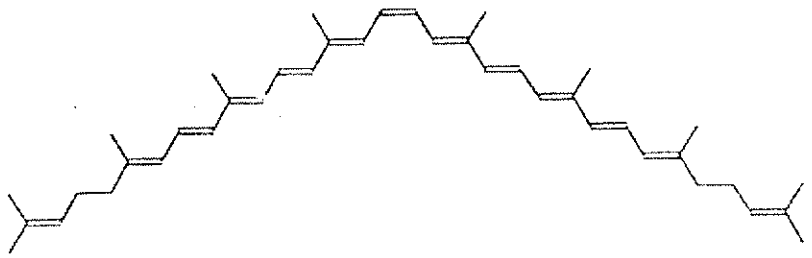
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



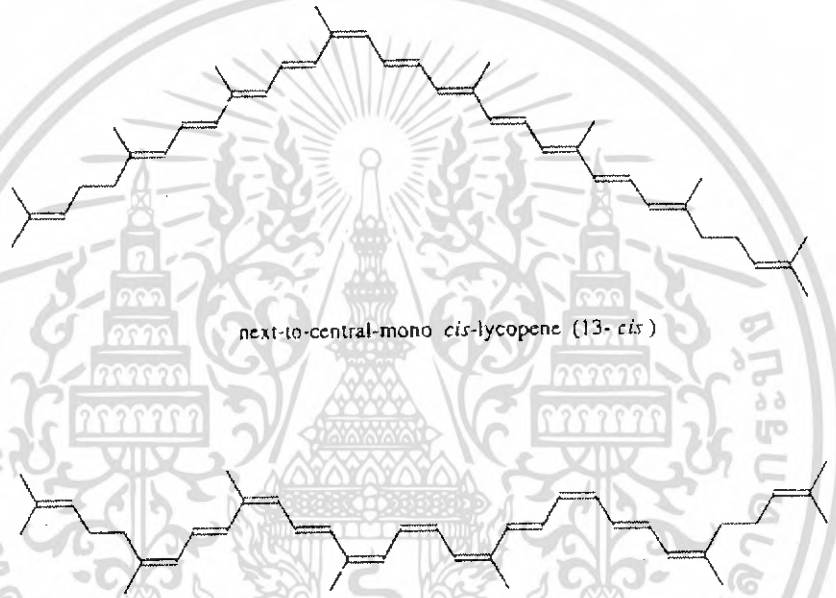
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ที่พบในเมล็ดมะเขือเทศ

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Central - mono *cis*-lycopene (15-*cis*)



next-to-central-mono *cis*-lycopene (13- *cis*)

5- *cis*-lycopene

6- *cis*-lycopene

รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน cis-isomer

ที่มา : Shi and Le Maguer (2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 คุณสมบัติทางชีวเคมี

ไลโคปีนมีโครงสร้างที่ไม่มีวงแหวน (acyclic structure) มีโครงสร้างที่โดดเด่น และมีคุณสมบัติทางชีวภาพรวมถึงการเป็นแอนติออกซิแดนท์ แตกต่างกับแคโรทีนอยด์อื่นๆ อย่างชัดเจน ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่สามารถยับยั้ง single oxygen (O^{-}_{2}) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถพิจารณาความแตกต่างของค่าคงที่ของการยับยั้ง single oxygen (Kq) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ได้ในตารางที่ 2.5 เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของไลโคปีน เบต้าแคโรทีน และแกรมมาแคโรทีน จะเห็นว่า β–ionone ring แบบเปิดเพิ่มความสามารถในการยับยั้ง single oxygen ได้ดีกว่าแบบปิด ไลโคปีนและแคโรทีนอยด์อื่นๆสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้ดี เนื่องจากมีคุณสมบัติของการยับยั้ง single oxygen และสามารถจับเปอร์ออกซิลเรดิคอล (peroxyl radical, Roo.) ได้ ความสามารถในการยับยั้ง single oxygen ของแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ที่เชื่อมต่อกัน (conjugated double bond) และ cyclic end group ที่ประกอบอยู่ในโครงสร้างของแคโรทีนอยด์ (Foote and Denny, 1968; Burton and Ingold, 1984)

ตารางที่ 2.5 ค่าคงที่ของการยับยั้ง single oxygen (K_q) ของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ

แคโรทีนอยด์	10^9 x Kq (m^{-1} s^{-1})
Lycopene	31
γ – carotene	25
α – carotene	19
β – carotene	14
Lutein	8
Astaxanthin	24
Bixin	14
Canthaxanthin	21
Zeaxanthin	10

ที่มา : Shi and Le Magure (2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไลโคปีน all-tran isomer เป็นไอโซเมอร์ที่พบในมะเขือเทศสด และเป็นไอโซเมอร์ที่เสถียรต่อการถ่ายเทความร้อน แต่ไลโคปีนก็สามารถเกิดไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) จาก trans- เป็น cis-isomer ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ อาหารที่ทำจากมะเขือเทศมีไลโคปีน all-trans isomer ร้อยละ 35-96 ของไลโคปีนทั้งหมด (Schierle et al., 1996) ในการวิเคราะห์ NMR-spectroscopy พบไลโคปีน 5 – cis 9 - cis และ 15 – cis isomer ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศและในเนื้อเยื่ออวัยวะของมนุษย์ ในซีรัมและเนื้อเยื่ออวัยวะของมนุษย์พบไลโคปีนในรูป cis-isomer มากกว่าร้อยละ 50 ของไลโคปีนทั้งหมด (Krinsky et al., 1990) โดยทั่วไปไลโคปีน cis-isomer มีขั้วมากกว่า all-trans isomer และเป็นผลึกได้น้อยกว่า all-trans isomer เนื่องจาก cis-isomer มีโครงสร้างหงิกงอ นอกจากนี้ cis-isomer ยังละลายในน้ำมันและตัวทำละลายที่เป็นไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่า all-trans isomer ดังนั้นคุณสมบัติของการทำปฏิกิริยาทางชีวภาพ (bioactivity) ของ cis-isomer เปลี่ยนไปจาก all-trans isomer เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้าง

ไลโคปีนเป็นแอนติออกซิแดนท์ที่ยับยั้ง single carbon และจับกับ peroxyl radical ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ปฏิกิริยาในการจับกันของไลโคปีนกับอนุมูลที่ประกอบด้วยออกซิเจนเรดิคอล (oxygen radical) เป็นปฏิกิริยาอันดับ 2 การขนถ่ายอิเล็กตรอนของไลโคปีนเกิดได้ทั้ง 2 แบบ คือ

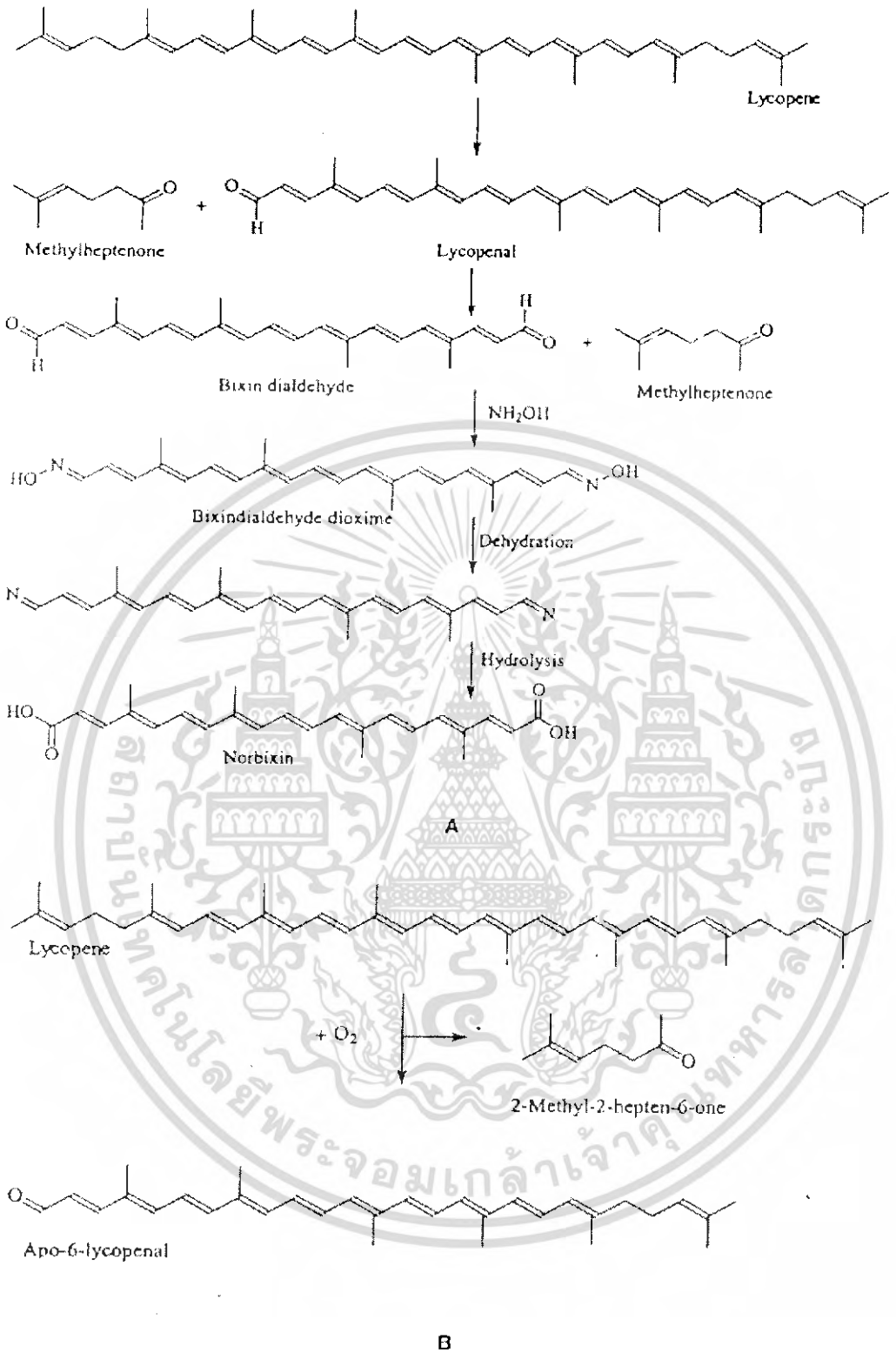
$$L - C + ROO^{\cdot} \longrightarrow L - C + ROOH$$

$$L - C + ROO^{\cdot} \longrightarrow L - ROO - C^{\cdot}$$

Peroxyl radical สามารถทำหน้าที่เป็น prooxidant และทำให้เกิดออโตออกซิเดชัน (autooxidation) ได้ แผนภาพการเสื่อมสลายของไลโคปีนแสดงในภาพที่ 2.3 และออกซิเจนมีหน้าที่หลัก 2 อย่าง คือ ทำหน้าที่แทนเมทิล (methyl) หรือหมู่เมทิลีน (methylene group) และเติมเข้าไปอยู่ในพันธะ C = C การเสื่อมสลายของไลโคปีนสามารถเกิดได้ที่ปลายโซ่ของ C_{40} ทั้ง 2 ปลาย โดยเกิดการตัดโมเลกุลที่พันธะคู่ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.3 แผนภาพปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของไลโคปีน (A) คือ แผนภาพการเสื่อมสลายของไลโคปีน (B) คือ แผนภาพการเกิด apo-6-lycopenal และ 2-methyl-2-hepten-6-one ในระหว่างที่ไลโคปีนโดนแสง

ที่มา : Shi and Le Magure (2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
67279

2.3.2 ความสำคัญของไลโคปีนต่อโภชนาการของมนุษย์

2.3.2.1 ประโยชน์ต่อสุขภาพ

ระหว่าง 30 ปีที่ผ่านมา มีการตื่นตัวในการศึกษาเกี่ยวกับโภชนาการและโรคมะเร็ง กระบวนการออกซิเดชันทำให้เกิดไฮดรอกซีเรดิคอล (hydroxyl radical) และสารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคมะเร็ง ผักและผลไม้มีวิตามินที่เป็นแอนติออกซิแดนท์และสารโพลีฟีนอล (polyphenol) บางตัวสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งพบว่าสารแอนติออกซิแดนท์ที่ว่องไว (active) มาก คือ ไลโคปีน

ปัจจุบันมีผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนในอาหารที่บริโภคกันทั่วไป ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้ผู้บริโภคมีความสนใจบริโภคอาหารที่มีไลโคปีนสูง เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคต่างๆ ข้อมูลทางด้านการแพทย์เกี่ยวกับหน้าที่ของไลโคปีนซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่ในอาหารปริมาณน้อย (micronutrient) มีมากขึ้น เนื่องจากไลโคปีนสามารถป้องกันโรคมะเร็งหลายชนิด ดังนั้นการบริโภคอาหารที่ประกอบด้วยไลโคปีน มีส่วนช่วยในการลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งที่อวัยวะต่างๆ เช่น บริเวณระบบย่อยอาหาร ตับอ่อน และกระเพาะปัสสาวะ งานวิจัยของ University of Milan พบว่า ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์มะเขือเทศอย่างน้อย 1 มื้อ/วัน สามารถลดการเติบโตของมะเร็งระบบย่อยอาหารลงได้ร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ไม่บริโภคมะเขือเทศ (Franceschi et al., 1994) งานวิจัยของ Harvard University พบว่า ผู้สูงอายุชาวอเมริกันที่บริโภคมะเขือเทศเป็นประจำมีโอกาสน้อยที่จะเสียชีวิตจากการเป็นโรคมะเร็ง (Colditz et. al., 1985)

Peng et al. (1998) ศึกษาระดับแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ รวมถึงไลโคปีน วิตามินเอ และวิตามินอี ในพลาสมาและเนื้อเยื่อคอมดลูก (cervical tissue) ในผู้หญิง 87 คน (ใน 87 คนนี้ มีคนเป็นโรคมะเร็ง 27 คน อยู่ในภาวะที่จะกลายเป็นมะเร็ง (precancerous) 33 คน และไม่เป็นมะเร็ง 27 คน) พบว่าผู้หญิงที่เป็นโรคมะเร็งมีไลโคปีน แคโรทีนอยด์อื่น ๆ วิตามินเอ และวิตามินอีในพลาสมาต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผู้หญิงที่อยู่ในภาวะจะเป็นมะเร็งและผู้หญิงที่ไม่เป็นมะเร็ง ผลการศึกษานี้พบว่าผู้หญิงที่มีระดับไลโคปีนในพลาสมาสูงมีโอกาสเป็นมะเร็งคอมดลูกต่ำกว่าผู้หญิงที่มีระดับไลโคปีนในพลาสมาต่ำ

Wang et al. (1989) ศึกษาโมเดลของเซลล์เนื้องอกไกลโอมา (glioma) ที่นำไปใส่ในหนู พบว่าไลโคปีนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเติบโตของเซลล์ไกลโอมาเท่ากับเบต้าแคโรทีน

Dorgan et al. (1998) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแคโรทีนอยด์ (รวมไลโคปีนด้วย) ซีลิเนียม (selenium) และเรตินอลกับมะเร็งเต้านม (breast cancer) โดยได้รับตัวอย่างเนื้อเยื่อจาก Breast Cancer Serum Bank in Columbia พบว่ามีเพียงไลโคปีนเท่านั้นที่ลดความเสี่ยงต่อการเติบโตของมะเร็งเต้านม ในขณะที่แคโรทีนอยด์ชนิดอื่นไม่สามารถลดความเสี่ยงของมะเร็งเต้านมได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Levy et al. (1995) ได้ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อศึกษาความสามารถในการยับยั้งก้อนเนื้อมะเร็งเต้านม (breast cancer tumor) ของไลโคปีนเปรียบเทียบกับแอลฟาและเบต้าแคโรทีน พบว่าเซลล์ที่ได้รับไลโคปีนมีการยับยั้งการเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมได้ และพบว่าแอลฟาและเบต้าแคโรทีนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านมต่ำกว่าไลโคปีนมาก

จากการศึกษาเหล่านี้สามารถกล่าวได้ว่าไลโคปีนมีหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นตัวยับยั้ง single oxygen ที่มีประสิทธิภาพ จากการทดลองในหลอดแก้วพบว่าสารแอนติออกซิแดนท์มีหน้าที่ในการลดการทำลายดีเอ็นเอ (DNA) ลดการเปลี่ยนรูปไปเป็นสารที่มีอันตราย และลดการทำลายโปรตีน ลิปิด และองค์ประกอบอื่นๆ ของเซลล์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน หน้าที่ของไลโคปีนอีกอย่างหนึ่ง คือ เพิ่มการเชื่อมต่อกันของช่องว่าง (gap–junctional communication) ระหว่างเซลล์ และชักนำให้เกิดการสังเคราะห์คอนนิซิน–43 (connexin – 43) (Zhang et al., 1992) การสูญเสียการเชื่อมต่อกันของช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นสารที่มีอันตราย ทำให้เกิดกระบวนการที่มีอันตราย ซึ่งต้องมีการศึกษาต่อไปเพื่ออธิบายให้เข้าใจถึงหน้าที่ของไลโคปีนในร่างกายมนุษย์

2.3.2.2 การดูดซึมไลโคปีนจากอาหาร

ร่างกายสามารถดูดซึมไลโคปีนจากอาหารชนิดต่างๆ ได้ต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย เช่น การเชื่อมกันของโมเลกุลไลโคปีนกับสารอื่น ปริมาณไลโคปีนที่บริโภคในแต่ละมื้อ โครงสร้างร่างแหของอาหาร (food matrix) ซึ่งมีไลโคปีนรวมอยู่ด้วย การย่อยไลโคปีนรวมกับเส้นใยอาหารปริมาณมาก การย่อยไลโคปีนรวมกับไขมัน ปฏิกิริยาของไลโคปีนกับแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นและสารอาหารอื่นๆ ปริมาณโปรตีน ปริมาณแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) และคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ขนาดอนุภาคของสารอาหารแต่ละชนิดและปัจจัยทางพันธุกรรม ตำแหน่งของไลโคปีนในโครงสร้างร่างแหของอาหาร (food matrix)

1. อิทธิพลของ trans และ cis - isomer

ไลโคปีนเป็นแคโรทีนอยด์ที่พบมากในพลาสมาของมนุษย์ และมีค่าครึ่งชีวิต (half life) ในร่างกายมนุษย์ประมาณ 2 – 3 วัน ไลโคปีนในพลาสมามนุษย์อยู่ในรูป cis–isomer ร้อยละ 50 ของไลโคปีนทั้งหมด (total lycopene) เป็นสิ่งที่แสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนไอโซเมอร์จาก trans เป็น cis–isomer ในร่างกาย (Sakamoto et al., 1994)

Boileau et al. (1999) กล่าวว่าสิ่งมีชีวิตสามารถใช้ประโยชน์จากไลโคปีนในรูป cis – isomer ได้มากกว่า trans – isomer เพราะ cis – isomer เกิดผลึกได้น้อยจึงละลายในสารคอลลอยด์ของกรดน้ำดี (bile acid micelle) ได้ดีกว่าและรวมกันเป็นไคโลไมครอน (chylomicron) ได้ดีกว่า trans–isomer กล่าวได้ว่าร่างกายสามารถดูดซึมไลโคปีน cis–isomer ได้ดีกว่า trans–isomer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อิทธิพลของโครงสร้างร่างแหอาหาร (food matrix)

Giovannucci et al. (1995) ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของการดูดซึมไลโคปีนจากมะเขือเทศสดกับผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ พบว่าการบริโภคผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปมีผลให้ความเข้มข้นของไลโคปีนในซีรัมเพิ่มขึ้นมากกว่าการบริโภคมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการแปรรูป ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากไลโคปีนในมะเขือเทศสดจับอยู่แน่นใน matrix ซึ่งกระบวนการที่ใช้ความร้อน เช่น การทำให้สุก การบดอาหารให้ละเอียด ช่วยให้โครงสร้างผนังเซลล์ถูกทำลาย เยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ (chloroplast membrane) แตกออก และทำให้โครงสร้างของไลโคปีนที่จับอยู่กับโปรตีน (lycopene–protein) ที่ซับซ้อนแตกออก ทำให้สามารถนำไลโคปีนไปใช้ได้

Food matrix ช่วยให้ไลโคปีน all–trans isomer ในมะเขือเทศสดเสถียรอยู่ได้ ดังเห็นได้จากผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ผ่านความร้อน เช่น ซอสมะเขือเทศ มะเขือเทศเข้มข้น มีไลโคปีน cis–isomer มากขึ้น ขณะที่ไลโคปีนในมะเขือเทศสดเป็น all–trans isomer ทั้งหมด กล่าวได้ว่า food matrix ที่ล้อมรอบไลโคปีนในผลมะเขือเทศช่วยป้องกันการเกิดไอโซเมอไรเซชัน

3. อิทธิพลของน้ำมัน (oil medium)

การดูดซึมไลโคปีนจากผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ผ่านการแปรรูปสูงกว่ามะเขือเทศสดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อไลโคปีนถูกย่อยรวมกับน้ำมัน การย่อยน้ำมะเขือเทศที่ผ่านความร้อนในตัวกลางที่เป็นน้ำมัน ส่งผลให้ความเข้มข้นของไลโคปีนในซีรัมสูงขึ้น 2 – 3 เท่า หลังจากถูกย่อย 1 วัน แต่การบริโภคน้ำมะเขือเทศที่ไม่ผ่านความร้อนในปริมาณเท่ากัน ความเข้มข้นของไลโคปีนในพลาสมาไม่เพิ่มขึ้น แสดงว่าการใช้ความร้อนและตัวกลางที่เป็นน้ำมันจำเป็นสำหรับการสกัดไลโคปีนในส่วนที่ละลายในไขมัน (lipophilic phase) สันนิษฐานว่าการให้ความร้อนน้ำมะเขือเทศในน้ำมันข้าวโพด 1 ชั่วโมง เปลี่ยนไลโคปีนจาก trans form เป็น cis form จึงเพิ่มการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (Stahl and Sies, 1992)

4. อิทธิพลของเส้นใยอาหาร (dietary fiber)

เส้นใยอาหารหลายชนิดลดการดูดซึมแคโรทีนอยด์จากอาหาร Rock and Swendseid (1992) พบว่าแพคตินมีผลในการยับยั้งการดูดซึมแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะเพคตินที่มีหมู่เมทิลสูง (high methoxyl pectin) รวมกับโคเลสเตอรอล (cholesterol) มีผลให้การดูดซึมไลโคปีนลดลงเนื่องจากเป็นสภาวะที่มีความหนืดสูง

5. ปฏิกิริยาระหว่างแคโรทีนอยด์ (carotenoid interaction)

โดยปกติปฏิกิริยาระหว่างแคโรทีนอยด์เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการดูดซึมแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะในสภาวะที่มีแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูง สำหรับการดูดซึมไลโคปีน พบว่า การดูดซึมไลโคปีนมีประสิทธิภาพมากเมื่อได้รับไลโคปีนในปริมาณน้อย และการย่อยไลโคปีนร่วมกับเบต้าแคโรทีนสามารถดูดซึมไลโคปีนได้มากกว่าการย่อยไลโคปีนเพียงอย่างเดียว แต่หากบริโภคเบต้าแคโรทีนปริมาณมากร่วมกับไลโคปีน มีผลให้ระดับไลโคปีนในซีรัมลดลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่การบริโภคอาหารเสริมชนิดอื่นไม่มีผลต่อระดับไลโคปีนที่จับอยู่กับไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (LDL lycopene) (Prince et al., 1991)

6. ความสามารถในการดูดซึมไลโคปีน

ระดับไลโคปีนในพลาสมามนุษย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อบริโภคน้ำมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการแปรรูป (การให้ความร้อน) เมื่อเปรียบเทียบกับการบริโภคน้ำมะเขือเทศที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน นอกจากนี้การต้มน้ำมะเขือเทศที่ประกอบด้วยน้ำมันข้าวโพดร้อยละ 1 นาน 1 ชั่วโมง ช่วยให้การดูดซึมไลโคปีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปได้ว่าสามารถเพิ่มการดูดซึมไลโคปีนได้ 2 วิธี คือ

1. การสกัดไลโคปีนจาก food matrix ให้ไปอยู่ใน lipophilic phase

2. กระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนและทำให้เซลล์เนื้อเยื่อมะเขือเทศแตกออก

การทำให้มะเขือเทศสุก และการลดขนาดของอนุภาคโดยการบดหรือการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ protein carotenoid complex แยกออกจากกัน หรือแรงพันธะที่เชื่อมกันอ่อนตัวลง ผลึกแคโรทีนอยด์เกิดการละลายอยู่ในสารละลายที่ละลายในไขมัน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการทำลายโครงสร้าง matrix ได้สูงสุด โดยที่สูญเสียไลโคปีนต่ำสุด

2.2.3.3 วิธีการวิเคราะห์ไลโคปีน

Variya and Bandyopadhyay (1990) ได้ศึกษาสารสีในพริกด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ 480 nm พบว่าพริกมีแคโรทีนอยด์ 4.53 มิลลิกรัม/พริกแห้ง 100 กรัม หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์ชนิดของแคโรทีนอยด์ด้วยวิธี Thin layer chromatography (TLC) สามารถแยกได้ 4 แบนด์ แบนด์ที่ 1 3 และ 4 คือ เบต้าแคโรทีน ไลโคปีนและลูเทอิน ตามลำดับ ซึ่งมีค่า R_f เท่ากับ 0.42 0.90 และ 0.00 ตามลำดับ แบนด์ที่ 2 มีค่า R_f 0.20 ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นสารอะไร จึงอาจกล่าวได้ว่าแคโรทีนอยด์ในพริกประกอบด้วยเบต้าแคโรทีน ไลโคปีนและลูเทอิน

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ไลโคปีนสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และวิธี HPLC นอกจาก 2 วิธีนี้ยังสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างในเชิงคุณภาพได้โดยวิธี TLC ดังกล่าวข้างต้น

1. วิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี

แคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ ดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่นต่างกัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากมีโครงสร้างแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ความแตกต่างของความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดของไฟโทอีน ไฟโทฟลูอีน นิวโรสปอร์น และไลโคปีน มีสาเหตุมาจากการเพิ่มการเชื่อมกันด้วยพันธะคู่มากกว่า 2 พันธะในโครโมเฟียร์ (chromophere) ที่เป็นโซ่เปิด แคโรทีนอยด์ที่มีปลายโซ่เปิดเพียงด้านเดียว เช่น แกรมมาแคโรทีน ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ 461 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคโรทีนอยด์ที่มีปลายโซ่ปิดทั้ง 2 ข้าง เช่น เบต้าแคโรทีน ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ 450 nm สำหรับไลโคปีนมีปลายโซ่เปิดทั้ง 2 ด้าน มีความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด คือ 472 nm

การเกิด cis–isomer ทำให้ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดเปลี่ยนไป 3–5 nm ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดของไอโซเมอร์เดิม ดังนั้นการวิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี ไม่สามารถวิเคราะห์การเกิดไอโซเมอร์ได้

Beerh and Siddappa (1959) ได้ทดลองวัดปริมาณไลโคปีนในสารละลายตัวอย่างที่ประกอบด้วยไลโคปีน และเบต้าแคโรทีน อัตราส่วนต่างกันโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 473 และ 503 nm ของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของไลโคปีนต่อเบต้าแคโรทีน อยู่ในช่วง 1 : 15.5 ถึง 1 : 140 nm พบว่าการวัดปริมาณไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 503 nm ให้ค่าที่ถูกต้องกว่าการวัดที่ 473 nm เนื่องจากการวัดที่ความยาวคลื่น 473 nm ใกล้เคียงกับความยาวคลื่นสูงสุดของเบต้าแคโรทีน ดังนั้นเมื่อสารตัวอย่างมีเบต้าแคโรทีนอยู่มาก ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จึงมากกว่าค่าจริง แต่ในกรณีของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ซึ่งมีอัตราส่วนของไลโคปีนต่อเบต้าแคโรทีน อยู่ในช่วง 1 : 3.8 ถึง 1 : 10.4 การวัดไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 473 nm มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวัดที่ความยาวคลื่น 503 nm

2. วิธี HPLC

การสกัดไลโคปีนเพื่อการวิเคราะห์โดยวิธี HPLC ต้องทำภายใต้การควบคุมด้วยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม โดยควบคุมให้เกิดการเสื่อมสลายเนื่องจากออกซิเดชันน้อยที่สุด ดังนั้นในการสกัดควรหลีกเลี่ยงแสง อาจมีการใช้สารแอนติออกซิแดนท์ เช่น butylated hydroxyl toluene (BHT) ในสารสกัดเพื่อควบคุมการเกิดออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเกิดไอโซเมอร์ของไลโคปีน (Nguyen and Schwartz, 1999) นอกจากนี้การใช้ไนโตรเจนหรืออาร์กอนแทนที่บรรยากาศบริเวณ head space ช่วยให้แน่ใจได้ว่าบรรยากาศในการเก็บตัวอย่างมีออกซิเจนอยู่น้อยที่สุด

วิธี HPLC เป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ไลโคปีน มีการใช้คอลัมน์ Suplex pkb–100 ในการวิเคราะห์ไอโซเมอร์ของไลโคปีนในพลาสมามนุษย์ ได้พีกของไลโคปีนที่ตรงกับ all–trans 15–cis 13–cis และ 9–cis (Stahl and Sies, 1992) ต่อมามีการพัฒนาคอลัมน์ C_{18} ซึ่งมี packing material เป็นซิลิกาซึ่งมีคุณสมบัติหลากหลายในด้านขนาดของอนุภาค รูพรุน (porosity) carbon load end–capping และ polymerization ซึ่งมีผลต่อความไว (sensitivity) และการแยกส่วน (selectivity) ของการวิเคราะห์ไลโคปีนและยังมีการใช้คอลัมน์ C_{30} ซึ่งได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์แคโรทีนอยด์ โดยสามารถแยกไอโซเมอร์ของไลปีนได้ดีกว่าคอลัมน์ C_{18}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rao et al. (1998) ได้วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่บริโภคกันโดยทั่วไปด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 502 nm และวิธี HPLC แบบ reverse phase ใช้คอลัมน์ C_{18} พบว่าปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ที่วัดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี และ HPLC ให้ผลต่างกันร้อยละ 11 และยังพบว่าปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเข้มข้น ซอสมะเขือเทศ และน้ำมะเขือเทศยี่ห้อต่างๆ อยู่ในช่วง 195–365 ppm 130–178 ppm และ 101–109 ppm (วิเคราะห์โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี)

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงไลโคปีนระหว่างการแปรรูป

กระบวนการแปรรูปมะเขือเทศประกอบด้วยขั้นตอนที่ต้องใช้ความร้อนและแรงกล ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดงคล้ำ สาเหตุสำคัญของการเสื่อมสลายของไลโคปีนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ คือ เกิดไอโซเมอไรเซชัน และออกซิเดชัน โดยทั่วไปเชื่อกันว่ากระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงทำให้ไลโคปีนเกิดไอโซเมอไรเซชันจาก trans- เป็น cis-isomer ทำให้คุณสมบัติทางชีวภาพของไลโคปีนเปลี่ยนไป

การเกิดออกซิเดชันในกระบวนการผลิตผลิตกัณฑ์มะเขือเทศขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาวะในกระบวนการผลิต ความชื้น อุณหภูมิ ลิปิด และแอนติออกซิแดนท์ในส่วนผสม ตัวอย่างเช่น การสกัดน้ำมะเขือเทศที่ใช้ตะแกรงขนาดละเอียดทำให้ไลโคปีนเกิดออกซิเดชันได้มากกว่าการใช้ตะแกรงหยาบ เนื่องจากมีการสัมผัสกับพื้นผิวของโลหะ และสัมผัสอากาศมากขึ้น การใช้ตะแกรงที่หยาบขึ้นจะช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศให้ดีขึ้นได้ ส่วนประกอบจำพวกน้ำตาล กรด และกรดอะมิโน มีอิทธิพลต่อสีของผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ โดยทำให้เกิดสารสีสีน้ำตาลซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ (Gould, 1992) ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทางการค้า

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม / 100 กรัม น้ำหนักสด)
Tomato juice (ยี่ห้อของอิสราเอล)	5.8–9.0
Tomato ketchup (ยี่ห้อของฟินแลนด์)	9.9
Tomato puree	8.93–19.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทางการค้า

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม / 100 กรัม น้ำหนักสด)
Tomato paste	6.07–18.27
Tomato ketchup	10.29–41.4
Tomato juice (ยี่ห้อของบราซิล)	61.6
Tomato soup	8.0–13.84
Tomato juice	9.70–11.84
Tomato paste	51.12–59.78
Tomato puree	16.67
Tomato sauce (ยี่ห้อของอเมริกา)	6.51–19.45
Tomato	12.09–12.83
Pulp thick fraction	41.91–42.82
Pulp thin fraction (ยี่ห้อของแคนาดา)	3.98–4.08

ที่มา : Shi and Maguer (2000)

2.3.4 การเสื่อมสลายของไลโคปีน

2.3.4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

ตารางที่ 2.7 แสดงการสูญเสียไลโคปีนเป็นร้อยละของน้ำมะเขือเทศที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ จากข้อมูลในตารางพบว่าการให้ความร้อนน้ำมะเขือเทศเป็นเวลานาน 7 นาที ที่อุณหภูมิ 90 °ซ และ 100 °ซ ไลโคปีนลดลงร้อยละ 1.1 และ 1.7 ตามลำดับ แสดงว่าการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณไลโคปีนลดลงมากขึ้น ดังเห็นได้จากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 130°ซ นาน 7 นาที ไลโคปีนลดลงมากสุดคือร้อยละ 17 การให้ความร้อนไลโคปีนที่ละลายอยู่ในสารตัวทำละลายอินทรีย์ (สภาวะที่ไม่มีคอปเปอร์สเตียเรต) เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65 °ซ และ 100 °ซ สูญเสียไลโคปีนร้อยละ 26.1 และ 35 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.8) การให้ความร้อนในสภาวะที่มีคอปเปอร์สเตียเรต (copper stearate) เป็นตัวเร่งการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิเดียวกันสูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 และ 90 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 การสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนในน้ำมะเขือเทศ

อุณหภูมิ (°ซ)	การสูญเสียไลโคปีน (ร้อยละ)		
	1 นาที	3 นาที	7 นาที
90	0.6	0.9	1.1
100	0.9	1.4	1.7
110	2.2	3.2	4.4
115	2.7	4.5	7.0
118	3.7	6.0	9.1
121	4.6	7.3	10.6
124	5.5	8.5	12.5
127	6.5	9.9	14.6
130	7.4	11.5	17.1

ที่มา : Miki and Akatsu (1970)

ตารางที่ 2.8 การสูญเสียไลโคปีนในสารละลายเฮกเซนและปิโตรเลียม

อุณหภูมิ (°ซ)	เวลา (ชม.)	การสูญเสียไลโคปีน (ร้อยละ) (ไม่มี copper sterrate)	การสูญเสียไลโคปีน (ร้อยละ) (มี copper sterrate)
65	0	0	0
	1	15.0	25
	2	20.0	45
	3	26.1	60
100	0	0	0
	1	20.0	40
	2	28.5	75
	3	35.0	90

ที่มา : Cole and Kapur (1957a)

จากข้อมูลข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าการให้ความร้อนเป็นเวลานานเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ไลโคปีนเสื่อมสลาย การให้ความร้อนในสภาวะที่มีการไล่อากาศและการใช้อุณหภูมิสูง เวลาสั้น สามารถรักษาคุณภาพของน้ำมะเขือเทศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 อิทธิพลของออกซิเจนต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

Monselise and Berk (1954) กล่าวว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้ไลโคปีนเกิดการเสื่อมสลายในระหว่างกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น (tomato puree) เนื่องจากเกิดออกซิเดชัน คือ ออกซิเจน โดยพบว่าไลโคปีนมากกว่าร้อยละ 30 เสื่อมสลายไปเมื่อให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศที่ 100 °ซ 3 ชั่วโมงในสภาวะที่มีออกซิเจน การให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันในสภาวะบรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์สูญเสียไลโคปีนเพียงร้อยละ 5.1 (ตารางที่ 2.9)

ตารางที่ 2.9 อิทธิพลของออกซิเจนต่ออัตราการสูญเสียไลโคปีนในระหว่างการให้ความร้อนเนื้อมะเขือเทศที่ 100 °ซ

สภาวะในการให้ความร้อน	เวลา (ชม.)	การสูญเสียไลโคปีน (ร้อยละ)
มืด และ CO_2	0	0
	0.5	4.6
	1	4.9
	2	5.0
	3	5.1
มืด และ O_2	0	0
	1	14.0
	2	23.7
	3	30.1
แสงตอนกลางวัน และ CO_2	0	0
	1	5.4
	2	8.6
	3	11.3
แสงตอนกลางวัน และ O_2	0	0
	1	15.1
	2	25.9
	3	33.1

ที่มา : Cole and Kapur (1957a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.3 อิทธิพลของความเข้มแสงต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

การให้แสงสว่างร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อน มีผลให้สูญเสียไลโคปีนเพิ่มขึ้นแต่แสงสว่างมีอิทธิพลต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีนน้อยกว่าอุณหภูมิ (ตารางที่ 2.10)

ตารางที่ 2.10 อิทธิพลของแสงสว่างร่วมกับอุณหภูมิต่อการสูญเสียไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศ ในสภาวะบรรยากาศปกตินาน 3 ชั่วโมง

สภาวะ	การสูญเสียไลปีน (ร้อยละ)
แรงเทียน 100 ฟุต อุณหภูมิ 60 °ซ	18.9
แรงเทียน 150 ฟุต อุณหภูมิ 60 °ซ	23.3
แรงเทียน 50 ฟุต อุณหภูมิ 100 °ซ	31.3
แรงเทียน 100 ฟุต อุณหภูมิ 100 °ซ	34.9
แรงเทียน 150 ฟุต อุณหภูมิ 100 °ซ	38.6
แรงเทียน 50 ฟุต อุณหภูมิ 110 °ซ	50.0
แรงเทียน 100 ฟุต อุณหภูมิ 110 °ซ	53.9
แรงเทียน 150 ฟุต อุณหภูมิ 110 °ซ	58.3

ที่มา : Cole and Kapur (1957a)

2.3.4.4 อิทธิพลของวิธีการทำให้แห้งต่อการเสื่อมสลายของไลโคปีน

Shi et al. (1999) ได้ศึกษาการรักษาไลโคปีนให้คงอยู่ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทำแห้ง โดยศึกษาการเกิด cis–isomer ของไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีต่างกัน และศึกษากระบวนการทำแห้งที่เหมาะสมเพื่อให้ไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทำแห้งยังคงมี bioactivity ด้วยการปรุผิวมะเขือเทศให้เป็นรู 20 รู / ตร.ซม. และแช่มะเขือเทศด้วยวิธีออสโมติกในสารละลายซูโครส 65° บริกซ์ ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำให้แห้งในสุญญากาศที่ 55 °ซ 4–8 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนเปรียบเทียบกับมะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีลมร้อนที่ 95 °ซ 6–10 ชั่วโมง พบว่าการทำให้แห้งในสุญญากาศร่วมกับวิธีออสโมติกสูญเสียไลโคปีนร้อยละ 2.4 และเกิด cis–isomer ร้อยละ 6.5 ขณะที่วิธีสุญญากาศและวิธีลมร้อนโดยปราศจากวิธีออสโมติกสูญเสียไลโคปีนร้อยละ 3.2 และ 3.9 และเกิด cis–isomer ร้อยละ 10.1 และ 16.6 ตามลำดับ (ตารางที่ 2.11) มะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีออสโมติกร่วมกับวิธีสุญญากาศมีไลโคปีนมากกว่ามะเขือเทศที่ทำแห้งด้วยวิธีสุญญากาศเพียงอย่างเดียว (ไม่ใช้ออสโมติก) อธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่าวิธีออสโมติกที่อุณหภูมิต่ำ น้ำเชื่อมที่เคลือบผิวหน้ามะเขือเทศป้องกันออกซิเจนแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อมะเขือเทศและลดการเกิดออกซิเดชันของไลโคปีนในเนื้อมะเขือเทศ การทำแห้งด้วยวิธีทางการค้าซึ่งทำแห้งภายใต้บรรยากาศปกติจะสูญเสียไลโคปีนมาก เนื่องจากความร้อนทำให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศแตกออก ทำให้เนื้อเยื่อมะเขือเทศโดนแสงและออกซิเจนมากขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างไลโคปีนแตกสลาย

ตารางที่ 2.11 ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด (total lycopene) และ cis–lycopene ในมะเขือเทศทำแห้ง

ตัวอย่าง	ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด (μg / g น้ำหนักแห้ง)	การสูญเสียไลโคปีน (ร้อยละ)	All–trans isomer (ร้อยละ)	Cisisomer (ร้อยละ)
มะเขือเทศสด	755[a]	0	100	0
มะเขือเทศที่ผ่านวิธีออสโมติก	755[a]	0	100	0
มะเขือเทศทำแห้งที่ใช้วิธีออสโมติกร่วมกับสุญญากาศ	737[b]	2.4	93.5	6.5
มะเขือเทศทำแห้งวิธีสุญญากาศ	731[c]	3.2	89.9	10.1
มะเขือเทศทำแห้งวิธีลมร้อน	726[d]	3.9	84.4	16.6

[a,b,c,...] คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ที่มา : Shi et al. (1999)

2.3.5 การเกิดไอโซเมอไรเซชันของไลโคปีนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ

โดยทั่วไปสันนิษฐานว่า ไลโคปีนเกิดไอโซเมอไรเซชันหลังจากผ่านกระบวนการที่ใช้ความร้อน Nguyen and Schwartz (1998) กล่าวว่าความร้อน แสง กรดและปัจจัยอื่นๆ เป็นสาเหตุให้ไลโคปีนเกิดไอโซเมอไรเซชัน ผลิตภัณฑ์มะเขือเทศจะมีคุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์ต่อสุขภาพหรือไม่นั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณไลโคปีนทั้งหมดเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับไอโซเมอร์ของไลโคปีนด้วย

2.3.5.1 อิทธิพลของกระบวนการที่ใช้ความร้อนต่อการเกิดไอโซเมอไรเซชันของไลโคปีน

ตารางที่ 2.12 แสดงไอโซเมอร์ของไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ ที่กระบวนการผลิตมีการใช้ความร้อน กระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดไอโซเมอไรเซชันของไลโคปีน การให้ความร้อนมะเขือเทศในน้ำมันมีอิทธิพลต่อการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอโซเมอไรเซชันของไลโคปีนมากกว่าการให้ความร้อนในน้ำ ดังนั้นการเกิดไอโซเมอไรเซชันของไลโคปีนไม่ได้มีสาเหตุจากอุณหภูมิในการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่องค์ประกอบของ food matrix เช่น น้ำมันหรือไขมัน ก็มีอิทธิพลต่อการเกิดไอโซเมอไรเซชันด้วย

ตารางที่ 2.12 ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศชนิดต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณไลโคปีนทั้งหมด (mg/100 g dry basis)	Cis-isomer (ร้อยละ)
Peeled tomato	149.89	5.37
Tomato juice (hot-break)	161.23	5.98
Tomato juice (retorted)	180.10	3.56
Tomato (whole, retorted)	183.49	3.67
Tomato paste (concentrated)	174.79	5.07
Tomato paste (retorted)	189.26	4.07
Tomato soup (retorted)	136.76	4.43
Tomato sauce (retorted)	73.33	5.13

ที่มา : Nguyen and Schwartz (1998)

2.3.5.2 อิทธิพลของวิธีการทำแห้งต่อการเกิดไอโซเมอไรเซชันของไลโคปีน

Shi et al. (1999) พบว่าการใช้วิธีออสโมติกร่วมกับการทำแห้งมะเขือเทศ มีผลต่อการเกิด cis-isomer ของไลโคปีนน้อยกว่าการทำแห้งวิธีลมร้อน และวิธีสุญญากาศเพียงอย่างเดียว การทำแห้งด้วยวิธีลมร้อนไลโคปีนเกิด cis-isomer สูงสุด (ตารางที่ 2.12) ไลโคปีน cis-isomer ในผลิตภัณฑ์มะเขือเทศทำแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการทำแห้ง

Beerh and Siddappa (1959) ได้ศึกษาการสูญเสียไลโคปีนระหว่างการทำซอสมะเขือเทศ และระหว่างการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่าระหว่างการทำซอสมะเขือเทศสูญเสียไลโคปีนร้อยละ 19.9 เนื่องจากการเสื่อมสลายระหว่างการต้ม การเก็บซอสมะเขือเทศที่ 37 °ซ เป็นเวลา 2 เดือน ไลโคปีนเพิ่มขึ้นจาก 70.23 ไมโครกรัม / ตัวอย่าง 1 กรัม เป็น 77.66 ไมโครกรัม / ตัวอย่าง 1 กรัม ส่วนเบต้าแคโรทีนลดลงเล็กน้อยจาก 12.15 ไมโครกรัม / ตัวอย่าง 1 กรัม เป็น 11.48 ไมโครกรัม / ตัวอย่าง 1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เส้นใยอาหาร (Dietary fiber)

เส้นใยอาหารเป็นส่วนหนึ่งของพืชที่เอนไซม์ในร่างกายไม่สามารถย่อยได้ เส้นใยอาหารไม่มีสารอาหารและไม่ให้พลังงาน แต่มีบทบาทสำคัญต่อภาวะโภชนาการและสุขภาพของมนุษย์ (ดวงจันทร์, 2545) เส้นใยอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง เป็นส่วนประกอบของพืชผักและผลไม้ที่รับประทานได้ แต่ไม่ถูกย่อยโดยน้ำย่อยในระบบย่อยอาหาร เมื่อผ่านลำไส้ใหญ่จะมีบางส่วนถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ ทำให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไฮโดรเจน น้ำ และกรดไขมันสายสั้น เพื่อกระตุ้นให้แบคทีเรียมีการเจริญ ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซึมและขับออกทางลมหายใจหรือทางทวารหนัก กรดไขมันสายสั้นคือ อะซิเตท (acetate) โปรปิโอเนต (propionate) และบิวทิวเรต (butyrate) กรดอะซิเตทจะถูกนำไปใช้โดยตับ กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่ออื่นๆ กรดโปรปิโอเนตถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสเพื่อนำไปใช้ต่อไป และกรดบิวทิวเรตถูกนำไปใช้เพื่อควบคุมการเจริญเติบโตของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการตายของเซลล์ จึงสามารถป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ได้

2.4.1 ส่วนประกอบของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารประกอบด้วยสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นโพลีแซกคาไรด์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน กัม มิวซิเลจ และสารประกอบที่ไม่มีโครงสร้างเป็นโพลีแซกคาไรด์ เช่น ลิกนิน ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 การจำแนกองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร	องค์ประกอบทางเคมี	
	สายโซ่หลัก	สายโซ่ข้าง
Polysaccharides		
Cellulose	Glucose	None
Nonecellulose		
Hemicellulose	Xylose	
Pectin substances	Mannose	Arabinose
	Galactose	Galactose
	Glucose	Glucoronic acid
	Galacturonic acid	
		Rhamose
		Arabinose
		Xylose
Mucilage	Galactose-mannose	Fucose
	Glucose-mannose	Galactose
	Arabinose-xylose	
	Galacturonic acid-mannose	
Gums	Galactose	Xylose
	Glucoronic acid-mannose	Fucose
	Galactose	Galactose
	Galacturonic acid-rhamnose	Galactose
Algal Polysaccharides	Mannose	
	Xylose	
	Guluronic acid	
	Glucose	
Nonpolysaccharide		
Lignin	Sinapyl alcohol	
	Coniferyl alcohol	
	p-Coniferyl alcohol	

ที่มา : Schneeman (1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประเภทของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารถูกแบ่งออกเป็น 2 พวก ตามคุณลักษณะของเส้นใยอาหาร คือ

2.4.2.1 เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (water-soluble dietary fiber)

เป็นเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้และสามารถดูดซับสารที่ละลายน้ำได้ไว้กับตัว มีความนิ่มสามารถที่จะอุ้มน้ำและดูดซับน้ำได้ดีมาก สามารถขยายตัวและสามารถพองตัวได้ถึง 10-25 เท่าของน้ำหนักเส้นใย นอกจากนี้ยังมีลักษณะเป็นเมือกลื่นเหมือนเจลทำให้สามารถจับไขมัน น้ำตาล และโคเลสเตอรอล ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการสร้างกรดน้ำดีได้ดี จึงช่วยขัดขวางการดูดซึมของน้ำตาลและไขมันซึ่งมีประโยชน์ต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด รวมทั้งยังช่วยให้การขับถ่ายเป็นไปอย่างสะดวกและป้องกันการเกิดโรคริดสีดวงทวาร ใยอาหารกลุ่มนี้จะเกิดการหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่บางชนิด แต่จะไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว พบได้ในถั่วบางชนิด ผลไม้ และธัญพืช เช่น ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ใยอาหารชนิดนี้ ได้แก่

1. กัม (gum) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลเป็นจำนวนมาก ในหมู่โมเลกุลของน้ำตาลบางหมู่จะมีกลุ่มของกรดยูโรนิค ไม่มีโครงสร้างทางเคมีที่แน่นอน บางชนิดก็ไม่ละลายน้ำ กัมเป็นเส้นใยที่คนเรามักจะรับประทานเข้าไปโดยที่ไม่รู้ตัวเพราะใช้เป็นตัวทำให้ซอสข้นเหนียว เช่น ซอสมะเขือเทศ นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้กล่าวไว้ว่าเส้นใยอาหารประเภทกัมนอกจากช่วยทำให้อาหารข้นเหนียวแล้ว ยังมีส่วนในการลดปริมาณโคเลสเตอรอลในร่างกายและลดปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน กัมในที่นี้หมายรวมถึง อะการ์ (agar) กัมอะราบิก (gum arabic) กัมคารายา (gum karaya) แซนแทนกัม (xanthan gum) และคาราจีแนน (carageenan) เป็นต้น

2. เพคติ (pectin) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลของน้ำตาลจำนวนมากและในหมู่โมเลกุลของน้ำตาลบางกลุ่มที่มีกลุ่มเมทิลและกลุ่มกรดยูโรนิค บางชนิดไม่ละลายน้ำ ถ้ากลุ่มไฮดรอกซีในกรดถูกแทนที่ด้วยกลุ่มเมทิลสารประกอบเพคตินนั้นก็จะละลายได้ในสารละลายด่าง เพคตินพบมากในผนังเซลล์พืช ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้เชื่อมติดต่อกัน เพคตินมีลักษณะคล้ายวุ้นพบมากในแอปเปิ้ล ส้ม องุ่น กล้วย ผลไม้พวกสตอเบอรี่ มัน และแครอท จากการศึกษาวิจัยพบว่าเพคตินมีส่วนช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลในร่างกายมนุษย์ แต่ไม่สามารถช่วยป้องกันโรคท้องผูก

3. มิวซิเลจ (mucilage) ถูกหลั่งในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ของเซลล์พืชเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียน้ำ (dehydration) มากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (water-insoluble dietary fiber)

เป็นเส้นใยอาหารที่ไม่สามารถละลายน้ำได้แต่จะอุ้มน้ำไว้ ทำให้เกิดการพองตัวในลักษณะคล้ายฟองน้ำเป็นผลให้มีการเพิ่มปริมาตรของกระเพาะอาหารจึงทำให้รู้สึกอิ่ม รวมทั้งช่วยเพิ่มปริมาตรของอุจจาระซึ่งส่งผลให้เกิดการกระตุ้นลำไส้ให้เกิดการขับถ่าย ดังนั้นจึงมีประโยชน์ในการป้องกันโรคท้องผูกและโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ขณะเดียวกันก็เป็นการลดการเกิดสารพิษที่เกิดจากการย่อยสลายของแบคทีเรีย อันเนื่องมาจากการตกค้างของกากอาหารเป็นเวลานาน ใยอาหารกลุ่มนี้เป็นสารเส้นใยชนิดหยาบซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการย่อยอาหารมาแล้วเนื่องจากไม่ถูกย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ใยอาหารชนิดนี้ ได้แก่

1. เซลลูโลส (cellulose) เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์พืชที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสเป็นจำนวน 1,000 โมเลกุล คล้ายกับแป้งแต่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว เป็นสารแบบเดียวกับที่พบในเปลือกไม้ในพืชและผลไม้หลายชนิด พบมากในถั่วและเมล็ดพืช จากผลการศึกษาเชื่อว่าเซลลูโลสจะช่วยดูดซึมสารก่อมะเร็ง ซึ่งอาจเกิดขึ้นในทางเดินลำไส้ อันเนื่องมาจากการกินอาหารที่มีสารไนเตรทและช่วยป้องกันการดูดซึมของน้ำตาลเข้าสู่ร่างกายดังนั้นจึงมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน

2. เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยว (monosaccharide) ชนิดต่างๆ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเป็นจำนวน 100 โมเลกุล ที่มีคุณสมบัติในการละลายเหมือนกัน คือ ละลายได้ในสารละลายด่าง น้ำตาลเชิงเดี่ยวนี้แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เพนโทแซน (pantoxan) และเฮกโซแซน (hexoxan) น้ำตาลเชิงเดี่ยวที่พบมากในเฮมิเซลลูโลสคือ ดี-ไซแลน (D-xylan) และ ดี-กลูโค-ดี-แมนแนน (D-gluco-D-mannans) และมีโซ่ข้างเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดอื่นๆ เช่น แอล-อะราบิโนส (L-arabinoses) เฮมิเซลลูโลสเป็นสารซึ่งมีลักษณะของโมเลกุลคล้ายคลึงกับเซลลูโลสและมักเกิดอยู่รวมกับเซลลูโลสป้องกันโรคท้องผูกได้เช่นเดียวกัน

3. ลิกนิน (lignin) เป็นสารประกอบของแอลกอฮอล์ที่พืชผลิตขึ้นเมื่อแก่ขึ้น ทำให้ส่วนต่างๆ ของพืชมีโครงสร้างที่แข็งแรง เช่น เปลือกนอกของธัญพืชที่ถูกทำลายในกระบวนการขัดสี ส่วนประกอบของใยอาหารในพืชจะขึ้นกับอายุ พันธุ์พืช และส่วนต่างๆ ของพืช ลิกนินเป็นสารที่มีในเนื้อไม้ เชื่อกันว่ามีส่วนช่วยป้องกันการเกิดนิ่วในถุงน้ำดี พบมากในข้าว เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต รำ แป้งที่ไม่ได้ผ่านกรรมวิธีขัดและฟอกสี ผลไม้พวกเบอรี่ ได้แก่ สตอเบอรี่ ราสเบอรี่ ในผัก เช่น ถั่วงอก กะหล่ำปลี มะเขือเทศ พืชผักยิ่งแก่ก็ยิ่งมีปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 แหล่งของเส้นใยอาหารชนิดต่างๆตามธรรมชาติ

ลักษณะเส้นใย	แหล่งธรรมชาติ
เส้นใยไม่ละลายน้ำ	ถั่วเมล็ดแห้ง ถั่ว บีทรูท เมล็ดข้าว รำข้าว ผักต่างๆ
เส้นใยละลายน้ำ	รำข้าว ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ผลไม้พวกเบอรี่ ส้ม แอปเปิ้ล องุ่น บุก เมล็ดแมงลัก
เส้นใยจากเปลือกสัตว์	เปลือกกุ้ง เปลือกปู

ที่มา : ประภาศรีและคณะ (2533)

2.4.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างทั้งหลายนี้จะส่งผลต่อสุขภาพทั้งสิ้น กล่าวคือ

2.4.3.1 คุณสมบัติในการอุ้มน้ำ

มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการละลายน้ำของน้ำตาลโมเลกุลเชิงซ้อน เช่น เซลลูโลสและลิกนินจะมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำต่ำ จึงไม่สามารถละลายน้ำได้ แต่เพคติน กัม และมิวซิเลจ จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพ (degrade) ได้ง่าย

2.4.3.2 คุณสมบัติการดูดซับสารอินทรีย์

เช่น กรดน้ำดี โคเลสเตอรอล และสารพิษบางชนิด จากการศึกษาพบว่าลิกนินจะดูดซับกรดน้ำดีได้มากกว่าเพคตินและน้ำตาลเชิงซ้อนที่มีฤทธิ์เป็นกรด ในขณะที่เซลลูโลสจะดูดซับกรดน้ำดีได้น้อย ซึ่งคุณสมบัติในการดูดซับกรดน้ำดีนี้จะสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการลดระดับโคเลสเตอรอลในพลาสมาของเส้นใยบางชนิด เช่น รำข้าวโอ๊ต เพคติน และกัวกัม (guar gum) เป็นต้น

2.4.3.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแบคทีเรีย

เส้นใยอาหารเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ได้ แต่แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่สามารถใช้เส้นใยอาหารโดยการหมักได้ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างของเส้นใยรวมถึงชนิดของแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.4 คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ

ความสามารถในการใช้และการดูดซับแร่ธาตุของร่างกายจะลดลงหากบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูงเนื่องจากแร่ธาตุต่างๆ และสาร electrolyte จะถูกเส้นใยอาหารจับไว้และขับออกมาในรูปของเสีย

2.4.3.5 ขนาดของอนุภาค

ใยอาหารที่มีความหยาบหรือมีอนุภาคใหญ่จะช่วยเพิ่มน้ำหนักของเสียของร่างกายและช่วยลดความดันภายในลำไส้ใหญ่ได้ดีกว่าชนิดที่มีอนุภาคเล็กหรือละเอียด เนื่องจากพวกที่มีอนุภาคละเอียดจะเพิ่มพื้นที่ในการเข้าทำปฏิกิริยาของแบคทีเรียได้มากขึ้น อีกทั้งยังลดความสามารถในการอุ้มน้ำเพราะโครงสร้างถูกทำลาย

2.4.4 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อร่างกาย

ในปัจจุบันมีการนำเส้นใยอาหารมาแปรรูปเพื่อจำหน่ายในท้องตลาดหลายรูปแบบ เช่น ในรูปอัดเม็ด ใส่แคปซูล ใยอาหารธัญพืช เครื่องดื่มร้อน ใยอาหารละลายน้ำอาหารวุ้น แต่ไม่ว่าจะเป็นแบบใดหลักการก็ยังคงเดิม คือ เข้าไปพองตัวให้เต็มเนื้อที่ในกระเพาะอาหาร ในท้องตลาดเรียกอาหารพวกนี้ว่าเป็นอาหารเสริมเพื่อลดน้ำหนัก อาจใช้เส้นใยจากพืชชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น เม็ดแมงลัก สาหร่าย บุก ข้าวบาร์เลย์ หรือหลายอย่างรวมกัน คือ มีทั้งเส้นใยที่ละลายน้ำและที่ไม่ละลายน้ำ อาหารเสริมบางชนิดอาจรวมเส้นใยจากเปลือกสัตว์เข้าไปด้วย ทำให้ได้รับประโยชน์จากอาหารครบถ้วนทุกหมู่ คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน เกลือแร่ และไขมัน

Thamthanaruk (1996) ได้ทำการศึกษาแหล่งใยอาหารจากวัตถุดิบประเภทผักและผลไม้ โดยนำมาสกัดเส้นใยและทำให้บริสุทธิ์ แล้วนำไปเติมในผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป 3 ชนิด คือ เครื่องดื่มช็อกโกแลต ซุป และโจ๊กชนิดต่างๆ พบว่าใยอาหารจากแกนสับประรด หน่อไม้ฝรั่ง ผักกาดขาว และจาวมะพร้าว มีคุณภาพดีเพียงพอที่จะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งใยอาหารเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเพิ่มขึ้น

Aleson-Carbonell et al. (2005) ได้ทำการทดลองใช้อัลบิโด (albedo) ผงจากเปลือกมะนาวเป็นส่วนผสมในการเพิ่มคุณค่าของเนื้อที่ใช้ในการทำแฮมเบอร์เกอร์ และพบว่าการสูญเสียน้ำของเนื้อลดลงในระหว่างการประกอบอาหาร นอกจากนี้ยังไปเพิ่มปริมาณใยอาหารและคุณค่าทางโภชนาการแก่ผู้บริโภค

นิธิมา และปราณี (2546) ได้ทำการทดลองใช้ใยอาหารผงจากเปลือกส้มเขียวหวานมาเสริมในผลิตภัณฑ์เค้กถ้วยโดยใช้ทดแทนส่วนของแป้งเค้ก เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหารให้กับผลิตภัณฑ์ และยังให้สีและกลิ่นส้มซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์

สิขรินทร์ และปราณี (2546) ได้ทดลองใช้ใยอาหารจากหัวกระเทียมเสริมในผลิตภัณฑ์ขนมปังปอนด์ชนิดจืด โดยปริมาณใยอาหารที่เติมลงในสูตรเป็น 5 ระดับคือร้อยละ 0 5 10 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 20 เพื่อเป็นการเสริมปริมาณใยอาหารในผลิตภัณฑ์ และพบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ได้สูงสุดที่ระดับร้อยละ 10

ใยอาหารมีผลต่อระบบสรีระวิทยาของร่างกายหลายด้าน เช่น ลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด มีผลต่อระดับน้ำตาล ลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ ลดความอ้วน ป้องกันโรคมะเร็ง และปรับปรุงหน้าที่ของลำไส้ใหญ่

King et al. (1984) ได้ทำการศึกษาพบว่าความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีทั้งชนิดและปริมาณที่มีอยู่ในเส้นใยอาหาร จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเส้นใยอาหารซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการส่งเสริมสุขภาพ โรคที่เกิดขึ้นในยุคปัจจุบัน เช่น โรคไส้ตั่งอักเสบ โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคมะเร็งลำไส้ โรคหัวใจขาดเลือด จากการศึกษาพบว่าโรคเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการบริโภคเส้นใยอาหาร

ทวีทอง (2546) รายงานว่างานวิจัยทางด้านระบาดวิทยาชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคเส้นใยอาหารกับการลดลงของโรคต่างๆ

2.4.4.1 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อโรคเบาหวาน

เส้นใยแบบละลายน้ำ เมื่อย่อยเป็นเมือกจะไปห่อหุ้มอาหารอื่นๆในลำไส้เล็ก ทำให้การย่อยและการดูดซึมน้ำตาลช้าลง กลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ การเปลี่ยนเป็นพลังงานในร่างกายดำเนินไปอย่างมีเสถียรภาพ ทำให้สามารถปรับระดับไขมันในเลือดได้อย่างพอดี ต่างกับอาหารที่มีเส้นใยน้อยมักย่อยเร็ว ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ก็อาจตกลงอย่างรวดเร็วได้ เพราะร่างกายหลั่งอินซูลินออกมากระตุ้นเซลล์ให้ดูดซึมน้ำตาลเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ก็คือระดับน้ำตาลในเลือดผันผวนรวดเร็ว และอินซูลินในเลือดมีมากเกินไป กลายเป็นสาเหตุของความเจ็บป่วยมากมาย โดยเฉพาะเบาหวาน ถ้ากระแสโลหิตมีอินซูลินมากเกิน นานๆไปอาจทำให้เกิดภาวะด้านอินซูลิน คือ เซลล์ตอบสนองกับอินซูลินไม่ดี ดูดซึมน้ำตาลน้อยลงหรือไม่ดูดซึมเลยทำให้น้ำตาลในเลือดสูงจนเป็นเบาหวานประเภท 2 (แบบไม่พึ่งอินซูลิน) หรือ ตับอาจจะหลั่งอินซูลินเพิ่มเข้ามามากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อบังคับให้เซลล์เปิดรับน้ำตาลส่วนเกิน นานเข้าตับจะทำงานหนักมากเกินไปจนเสื่อมประสิทธิภาพในการหลั่งอินซูลิน กลายเป็นปัญหาเบาหวานประเภทที่1 ได้

2.4.4.2 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อโรคท้องผูก

เส้นใยอาหารแบบไม่ละลายน้ำ มีความสำคัญมากกับระบบการขับถ่ายอุจจาระของร่างกายซึ่งหากมีปัญหาจะเกิดโรคตามมาหลายอย่าง เช่น ท้องผูก ริดสีดวงทวาร มะเร็งลำไส้ใหญ่ เป็นต้น ระบบทุกอย่างที่ใช้พลังงานรวมทั้งร่างกายของเรา ต้องมีการกำจัดของเสีย หากระบบนี้ดำเนินไปไม่ดี ปัญหาหลายอย่างย่อมตามมา ในกรณีของคนเราการถ่ายอุจจาระมีความสำคัญมาก เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำทำให้อุจจาระมีเนื้อและจับตัวมากขึ้น เส้นใยไปกระตุ้นการทำงานของผนังลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดการยืดหดตัวมีแรงขับถ่ายอุจจาระออกมาจากร่างกาย ในทางตรงกันข้ามหากอุจจาระหมักหมมในลำไส้ใหญ่ ก็อาจทำให้เกิดพิษ ทำลายระบบภูมิคุ้มกันโรคเกิดมะเร็งลำไส้ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาท้องไส้ไม่สบายหลายอย่าง เช่น ท้องผูก นิ่ว ไส้ติ่ง ริดสีดวงทวาร และปวดท้องเนื่องจากถุงที่ผนังด้านนอกลำไส้ ใหญ่เกิดอักเสบ

โดยส่วนใหญ่อาการท้องผูกมีสาเหตุจากอาหารที่เรากินเข้าไปขาดเส้นใย แต่ท้องผูกก็อาจเกิดจากความเจ็บป่วยอื่นๆได้ อาการท้องผูกเนื่องจากอาหารเกิดขึ้นเมื่อลำไส้ใหญ่มีกากและน้ำน้อยเกินไป อาหารที่มีเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้เกิดกากอาหารที่ดูดและอุ้มน้ำไว้อุจจาระจึงมีเนื้อมากและนุ่มพอที่จะเคลื่อนตัวขับถ่ายออกมาได้ง่าย เส้นใยไม่ละลายน้ำยังกระตุ้นผนังลำไส้ให้เคลื่อนตัวมีแรงขับถ่ายอีกด้วย

2.4.4.3 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อโรคมะเร็ง

เป็นที่ยอมรับแล้วว่าอาหารเส้นใยสูงช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่หรืออาจชะลอการเติบโตของเนื้อร้ายได้หากอยู่ในระยะเริ่มต้น นอกจากนั้น เส้นใยยังมีบทบาทในการป้องกันมะเร็งเต้านม ผู้หญิงเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่มากเป็นที่สองรองจากมะเร็งเต้านม ส่วนผู้ชายมะเร็งลำไส้ใหญ่เป็นที่สามรองจากมะเร็งปอดและมะเร็งต่อมลูกหมาก

มะเร็งลำไส้ใหญ่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์ผนังด้านในของลำไส้ใหญ่เติบโตผิดปกติเนื่องจากมีสารก่อมะเร็งมาทำปฏิกิริยา ระยะแรกเป็นเซลล์ที่ยังไม่เป็นเนื้อร้าย แต่เมื่อเจริญเติบโตต่อไปจะเป็นเนื้อร้ายและกระจายไปสู่ส่วนอื่นของร่างกาย เนื่องจากเส้นใยอาหารช่วยขับถ่ายของเสียออกจากลำไส้ใหญ่จึงป้องกันมะเร็งได้ โดยการกำจัดสารก่อมะเร็งออกจากร่างกายไปพร้อมกับของเสีย และเส้นใยแบบไม่ละลายน้ำในลำไส้ใหญ่ช่วยเพิ่มแบคทีเรียย่อยอาหารในลำไส้ใหญ่ ทำให้ผนังลำไส้ใหญ่แข็งแรง ควบคุมการเติบโตของเซลล์ให้เป็นไปอย่างปกติ ไม่เกิดการสร้างเซลล์อย่างผิดเพี้ยน

อาหารที่มีเส้นใยอาหารสูงจึงสามารถป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่อย่างได้ผล การวิจัยในสหรัฐอเมริกาพบว่าหากคนอเมริกันกินอาหารเส้นใยสูงขึ้นจาก 12 กรัมเป็น 25 กรัมต่อวัน อัตราการป่วยเป็นมะเร็งลำไส้จะลดลงร้อยละ 31

นอกจากมะเร็งลำไส้ใหญ่ การวิจัยยังพบว่าอาหารเส้นใยสูงช่วยป้องกันมะเร็งเต้านมได้ มะเร็งเต้านมเกิดจากฮอร์โมนเอสโตรเจนในร่างกายมีมากเกินไปเป็นเวลานาน เนื่องมาจากมีไขมันมากหรือเพราะการรักษาด้วยฮอร์โมนทดแทน (hormone replacement thery) เส้นใยอาหารช่วยจับตัวเอสโตรเจนส่วนเกินที่ตับส่งไปยังลำไส้เล็กพาออกจากร่างกายไปแทนที่จะปล่อยให้ถูกดูดซึมเข้าไปในเลือดใหม่

2.4.4.4 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อโรคหัวใจ

ข้าวโอ๊ต ถั่วฝัก และถั่วเมล็ดแห้งต่างๆช่วยลดโคเลสเตอรอล และต้านโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ เพราะมีเส้นใยที่ละลายน้ำ เส้นใยนี้ถูกย่อยเป็นเมือกพร้อมถูกดูดซึมที่ผนังลำไส้เล็กซึ่งมีโคเลสเตอรอลไปรอการดูดซึมเข้าเลือดเหมือนกัน แต่ว่าเมือกเส้นใยจะจับตัวกับกรดไขมันบางส่วนทำให้ดูดซึมไม่ได้ ถูกขับถ่ายออกไปจากร่างกายพร้อมของเสียอื่นๆ ส่งผลให้ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคเลสเตอรอลในเลือดลดต่ำลง โคเลสเตอรอลร้าย (LDL) ต่ำลง โคเลสเตอรอลดี (HDL) สูงขึ้น ผลการวิจัยยืนยันว่าเส้นใยละลายน้ำจากรำข้าวโอ๊ตช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในกลุ่มผู้มีปัญหาโคเลสเตอรอลสูง (230 ขึ้นไป) อย่างได้ผล

2.4.4.5 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อโรคอ้วน

อาหารเส้นใยสูง นอกจากช่วยต้านโรคสำคัญ เช่น เบาหวาน ท้องผูกและอาการป่วยอื่นๆ ของท้องไส้ ตลอดจนมะเร็งลำไส้ใหญ่และมะเร็งเต้านมแล้ว ยังช่วยบำรุงร่างกายให้ไม่แก่เร็วกว่าวัยอันควร อีกทั้งยังช่วยลดน้ำหนักตัวด้วย เส้นใยอาหารช่วยการขับถ่ายให้ร่างกายขจัดสิ่งมีพิษออกไปได้เร็ว ระบบภูมิคุ้มกันโรคไม่ต้องทำงานหนักในการต่อสู้กับเชื้อโรคและพิษต่างๆ ทำให้ร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์และไม่แก่เร็ว นอกจากนั้นอาหารเส้นใยสูงทำให้รู้สึกอิ่มไม่หิวง่าย เนื่องจากมีมวลอาหารในลำไส้มากและอยู่นานเพราะดูดซึมช้า จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก ที่รัฐเคนตักกี้ สหรัฐอเมริกา โครงการลดน้ำหนักโดยให้กินอาหารเส้นใยสูงให้ได้เส้นใยวันละ 25 ถึง 40 กรัม สามารถลดแคลอรีจากไขมันและโปรตีนลงได้ถึงร้อยละ 25 และ 20 ตามลำดับ

2.4.4.6 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อสุขภาพ

เพื่อสุขภาพและป้องกันโรค เราควรกินอาหารให้ได้ปริมาณเส้นใย 20-25 กรัมต่อวันกระทรวงสาธารณสุขไทยกำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่คนไทยต้องการวันละ 25 กรัม แต่เป็นการไม่สะดวกที่เราต้องมานับว่าเรากินเส้นใยอาหารได้มากแค่ไหน ครบหรือไม่ ในทางปฏิบัติเราเพียงต้องตระหนักว่าอาหารใดให้เส้นใยสูง แล้วมุ่งกินอาหารเหล่านั้นให้มากเข้าไว้ ซึ่งส่วนใหญ่มักได้แก่ ธัญพืชเต็มรูป ถั่ว และเมล็ดพืช ผักและผลไม้ อย่างไรก็ตามเราอาจสรุปเป็นแนวการกินให้ได้อาหารเส้นใยสูงดังนี้

1. กินอาหารคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะธัญพืชเต็มรูปหรือผลิตภัณฑ์อาหารจากธัญพืชเต็มรูปให้ได้มากในทุกมื้ออาหาร หากกินซีเรียลก็ควรเป็นแบบโฮลเกรน กินข้าวกล้องเท่านั้น เลิกกินข้าวขาวโดยเด็ดขาด ขนมปังก็ควรเลือกแบบโฮลเกรน เส้นก๋วยเตี๋ยวหรือพาสต้า หากเลือกได้ก็ควรเป็นแบบโฮลเกรนเป็นหลัก

2. รำข้าวทุกชนิด ทั้งรำข้าวสาลี รำข้าวโอ๊ต และรำข้าวสาร มีเส้นใยสูงมาก หากฝึกนิสัยโรยรำข้าวกินกับอาหารไว้ จะช่วยให้ได้เส้นใยพิเศษเป็นโบนัสสุขภาพ

3. สร้างนิสัยรักผลไม้ กินผลไม้ทุกมื้อและควรกินทั้งเปลือก

4. กินผักและถั่วมากๆ แต่ละมื้ออาหารควรมีกับข้าวเป็นผักอย่างน้อย 1-2 อย่าง

5. เมื่อบริโภคเส้นใยอาหารมากก็ควรดื่มน้ำมากด้วยเพราะอาหารเส้นใยสูงมักดูดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม สำหรับผู้ที่กระเพาะและลำไส้ยังไม่คุ้นเคยกับเส้นใยมากๆ การปรับเปลี่ยนแผนการกินควรค่อยเป็นค่อยไป การเปลี่ยนมากินอาหารเส้นใยสูงทันทีอาจทำให้ไม่สบายท้อง และมีแก๊สในลำไส้มาก

2.4.4.7 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด

โรคไขมันอุดตันเป็นโรคที่อันตรายมากที่สุดที่พบในระบบทางเดินโลหิต สาเหตุของโรคนี้เกิดจากการที่มีสารอาหารไปเกาะผนังด้านในของเส้นเลือดและสารอาหารที่ไปเกาะนั้นได้แก่ สารอาหารพวกไขมัน โปรตีน และโคเลสเตอรอล โดยเฉพาะโคเลสเตอรอลนั้นเป็นตัวหลักที่ก่อให้เกิดปัญหา ทั้งนี้เพราะโคเลสเตอรอลไม่เพียงแต่ได้รับจากการบริโภคเท่านั้น แต่ยังถูกสร้างขึ้นมาได้ในปริมาณที่มากพอสมควรในร่างกายโดยเฉพาะในตับ โคเลสเตอรอลที่มีในร่างกายจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดน้ำดี ซึ่งจะถูกขับออกมาทางลำไส้เล็กเพื่อช่วยในการย่อย รวมทั้งการดูดซึมกลับของไขมันและโคเลสเตอรอลในอาหาร

ได้มีการทดลองใช้อาหารที่มีเส้นใยอาหารสูงให้ผู้ที่มีระดับโคเลสเตอรอลในเลือดสูงบริโภคระยะเวลาหนึ่งพบว่า ระดับโคเลสเตอรอลในเลือดลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลอันนี้เกี่ยวเนื่องจากการที่เส้นใยอาหารจะทำการแยกกรดน้ำดี โคเลสเตอรอล และกรดไขมัน โดยป้องกันการดูดซึมกลับเข้าไปในทางเดินโลหิตของสารเหล่านี้ จึงทำให้โคเลสเตอรอลที่ถูกสร้างขึ้นมาถูกขับออกจากเลือดเป็นส่วนใหญ่

2.4.4.8 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อโรคความดันโลหิตสูง

อาหารประเภทที่มีเส้นใยสูงมีผลต่อแรงดันเลือดในกลุ่มมังสวิรัติ ซึ่งบริโภคเส้นใยอาหารมากกว่าคนทั่วไปถึง 2 เท่า มีความดันโลหิตโดยเฉลี่ยต่ำกว่าคนในกลุ่มอื่น ในกลุ่มประเทศอุตสาหกรรม ประชาชนมีความดันโลหิดเพิ่มขึ้นตามอายุซึ่งแตกต่างจากประเทศในกลุ่มที่ด้อยพัฒนาที่มีการบริโภคอาหารเส้นใยมากกว่า พบว่าประชากรสามารถรักษาความดันโลหิตค่อนข้างต่ำไว้ได้ตลอดชีวิต

ข้อมูลเหล่านี้จูงใจให้มีผู้ทำการศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณเส้นใยในอาหาร ปรากฏว่าทั้งผู้ที่มีความดันโลหิตอยู่ในเกณฑ์ปกติและผู้ที่มีความดันโลหิตสูงเมื่อกินอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มมากขึ้นความดันโลหิตจะลดลงทั้งระยะสั้นและระยะยาว

2.4.4.9 บทบาทของเส้นใยอาหารต่อโรคไส้ตึ่งอักเสบ

สันทนา (2537) รายงานว่าจากการวิจัยของแพทย์แห่งมหาวิทยาลัยวอชิงตันพบว่าการบริโภคเส้นใยอาหารจะลดการเป็นไส้ตึ่งอักเสบได้ถึงครึ่ง เส้นใยอาหารจะช่วยได้ คือ ทำให้อุจจาระนุ่ม หากกินอาหารที่มีเส้นใยอาหารน้อยจะทำให้อุจจาระแข็ง ซึ่งอาจจะเข้าไปติดอยู่ในไส้ตึ่งและเกิดการอักเสบขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 แหล่งของเส้นใยอาหาร

2.4.5.1 ผักและผลไม้

เส้นใยอาหารจากผักและผลไม้ไม่ได้ประกอบด้วยเซลลูโลสอย่างเดียว เส้นใยอาหารในพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน แม้แต่ในส่วนต่างๆของพืชเองก็จะมีเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน ปริมาณของเส้นใยอาหารส่วนใหญ่จะมีมากเมื่อพืชแก่

2.4.5.2 พืชตระกูลถั่ว

ถั่วเมล็ดทั้งหลายรวมทั้งถั่วเหลือง เป็นอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าผักและผลไม้ เส้นใยอาหารที่ได้จากพืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่จะละลายน้ำ เชื่อกันว่าเส้นใยอาหารจากถั่วมีส่วนช่วยในการลดปริมาณโคเลสเตอรอล แต่ไม่ช่วยลดอาการท้องผูก

2.4.5.3 รำ

เป็นแหล่งของเส้นใยอาหารหลายชนิด เชื่อกันว่ารำที่มาจากข้าวสาลีและข้าวโพดช่วยป้องกันโรคท้องผูก รำที่ได้จากข้าวสาลีช่วยควบคุมปริมาณกลูโคสในผู้ป่วยโรคเบาหวานและพบว่ารำจากข้าวโพดมีประโยชน์มากกว่ารำประเภทอื่นๆ คือ ช่วยลดอาการท้องผูก ลดปริมาณโคเลสเตอรอล ลดปริมาณไขมันธรรมดาในเลือด และช่วยกำจัดน้ำตาลในเลือด ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

2.5 ประวัติความเป็นมาของผลิตภัณฑ์ขนมอบ (จินตนา และ อรอนงค์, 2527)

ขนมปังได้ชื่อว่าเป็นผลิตผลเพื่อยังชีวิต เป็นสัญลักษณ์ของความดีงาม ความอบอุ่นและความปลอดภัยมานานตั้งแต่สมัยคัมภีร์ไบเบิ้ล (Biblical Times) แต่ยังไม่มีใครกล้ายืนยันว่าผู้ใดที่ทำขนมปังเป็นคนแรก

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเบเกอรี ใช่แต่จะเป็นที่นิยมเฉพาะผู้ผลิตที่ต้องการลงทุนทำธุรกิจประเภทนี้เท่านั้น สำหรับแม่บ้านก็ได้มีการตื่นตัวในการที่จะศึกษาหาความรู้ทางด้านนี้เป็นอย่างมาก เพราะความรู้ทางด้านนี้ไม่เฉพาะแต่จะช่วยให้แม่บ้านรู้จักทำผลิตภัณฑ์เพื่อเศรษฐกิจในครอบครัวเท่านั้น ยังช่วยให้เกิดความเพลิดเพลินและให้ผลประโยชน์ทางอ้อมต่อครอบครัวอีกด้วย จะเห็นได้ว่าปัจจุบันมีโรงเรียนสอนทำขนมอบเกิดขึ้นหลายแห่ง แต่ละแห่งก็มีผู้สนใจสมัครเข้าเรียนเป็นจำนวนมาก

2.5.1 ส่วนผสมหลักในการทำขนมปัง

2.5.1.1 แป้งสาลี

เป็นแป้งที่ใช้ในการทำขนมปัง มีสีครีม มีความหยาบกว่าแป้งเค้กเมื่อกดนิ้วลงบนแป้ง แป้งจะไม่เกาะตัวกัน มีโปรตีน 2 ชนิดที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กลูเดนิน และไกลอะดิน เมื่อโปรตีนในแป้งสาลีรวมตัวกับน้ำและผ่านการนวดแล้วจะเกิดกลูเต็น ซึ่งเป็นยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียวยืดหยุ่นได้ กลูเต็นที่ดีต้องทนต่อการรีด การหมัก อุณหภูมิห้องและการผสมนานๆ ได้โดยไม่ฉีกขาด มีคุณสมบัติในการอุ้มก๊าซที่ดี ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาตรดีด้วย มีรูและเนื้อสัมผัสที่ดี ก้อนโดที่ทำจากส่วนผสมของแป้งสาลีชนิดแข็งจะมีคุณสมบัติในการดูดน้ำที่ดี การที่แป้งขนมปังจะดูดซึมน้ำได้ดีมากน้อยแค่ไหน และทำให้เกิดกลูเต็นที่มีโครงสร้างแข็งแรงดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณ และคุณภาพของโปรตีนในแป้ง

2.5.1.2 ยีสต์

มีหน้าที่เพิ่มปริมาณของขนมปัง ทำให้เนื้อสัมผัสและมีโครงสร้างที่ดี เอนไซม์ในยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ขนมปังขึ้นฟูและมีกลิ่นรสที่เกิดจากการหมัก ยีสต์แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. ยีสต์สด

เป็นก้อนสี่เหลี่ยมห่อด้วยกระดาษตะกั่ว หรือพลาสติกที่กันน้ำได้ ต้องเก็บไว้ในตู้เย็น มีอายุการเก็บรักษาสั้นเก็บได้ประมาณ 2 สัปดาห์ นำมาใช้โดยผสมไปพร้อมกับแป้งให้กลิ่นหมักที่ดีแต่หาซื้อได้ยากไม่นิยม

2. ยีสต์แห้ง มี 2 แบบ คือ

ยีสต์แห้งชนิดเม็ด เป็นเม็ดเล็กๆ ท่อนสั้นๆ ใช้โดยละลายในน้ำอุ่นก่อนที่จะนำไปรวมกับส่วนผสมอื่น

ยีสต์แห้งชนิดผง เป็นท่อนสั้นๆ ละเอียด ผสมลงไปพร้อมกับแป้ง ยีสต์แห้งชนิดนี้เก็บไว้ได้นาน โดยเก็บไว้ที่แห้งและเย็น

การทดสอบว่ายีสต์เสื่อมคุณภาพหรือไม่ทำได้โดยละลายน้ำตาลทราย 1 ช้อนโต๊ะ ลงในน้ำอุ่น 1 ถ้วย เติมยีสต์ลงไป 1 ช้อนโต๊ะ ทิ้งไว้ประมาณ 5-8 นาที ถ้ายีสต์ลอยบนผิวหน้าและเกิดก๊าซแสดงว่ายังใช้ได้

2.5.1.3 ของเหลว

1. น้ำ

นอกจากแป้งที่เป็นส่วนผสมหลักในการทำขนมปังแล้ว วัตถุดิบที่สำคัญรองลงมาก็คือน้ำ ซึ่งถ้าปราศจากน้ำการผลิตขนมปังหรือการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรีอีกหลายๆชนิดจะเกิดขึ้นไม่ได้ น้ำที่เหมาะสำหรับการทำขนมปังคือ น้ำประปาซึ่งมีความกระด้างอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้โดเหนียวติดมือหรือแข็งเกินไป น้ำที่กระด้างเกินไปจะทำให้ยีสต์ขึ้นช้าลง โดมีลักษณะแข็งและยืดหยุ่นน้อย

2. น้ำผลไม้

ถ้ามีความเข้มข้นที่พอเหมาะก็จะทำให้กลูเต็น มีโครงสร้างดีและให้ขนมปังที่มีขนาดใหญ่ได้ เช่น น้ำส้ม น้ำมะเขือเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นม

ช่วยทำให้ขนมปังมีสีสวยเพิ่มรสชาติและให้คุณค่าทางอาหารด้านโปรตีน นมที่มีขายในท้องตลาดได้แก่ นมสด นมข้นจืด นมผง นมข้นหวาน และนมเปรี้ยว นมที่นิยมใช้ในการทำขนมปังมักใช้นมผงและนมสด

2.5.1.4 เกลือ

เกลือที่ใช้ในการทำเบเกอรีนั้นเป็นเกลือป่นละเอียดที่ใช้ประกอบอาหารทั่วๆไป ในการทำขนมปัง เกลือที่ใส่ลงไปในสูตรจะช่วยให้ขนมปังมีรสชาติเป็นส่วนใหญ่ เกลือจะช่วยเน้นรสชาติของส่วนผสมอื่นให้เด่นขึ้น และจะช่วยให้ขนมปังมีกลิ่นรสและคุณลักษณะที่ดีขึ้น เกลือนั้นเป็นตัวที่ทำให้โดแข็งตัว เพราะฉะนั้นเกลือจึงช่วยให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสและมีรูเซลล์ที่ดี จากการที่โดมีกำลังในการอุ้มก๊าซ เกลือจะทำให้การหมักคงตัวไม่ทำลายยีสต์ มันจะดึงเอาน้ำออกจากยีสต์แต่ไม่ทำให้ยีสต์ตาย เกลือทำให้การทำงานของเอนไซม์ไซเมสช้าลงในการใช้น้ำตาล และการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอลล์

2.5.1.5 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นอาหารของยีสต์ ช่วยควบคุมปฏิกิริยาการทำงานของยีสต์ ทำให้ขนมปังนุ่มมีสีสวยและมีรสชาติดี น้ำตาลที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรีทั่วๆไปมี 3 ชนิดคือ

1. น้ำตาลทรายขาว

นิยมใช้กันมาก น้ำตาลทรายขาวมีขนาดความละเอียดต่างๆกัน มีตั้งแต่ผงละเอียดมาก ธรรมดา และหยาบ น้ำตาลทรายที่ใช้ได้ผลดีควรมีความละเอียดและขาว เพราะจะผสมเข้ากับส่วนผสมอื่นๆ ได้ดี ถ้าน้ำตาลที่ใช้มีขนาดผลึกใหญ่และหยาบจะผสมกับเนยได้ไม่ดี เพราะผลึกที่ใหญ่ของมันจะไม่ละลายหมดและมักจะคงอยู่ในรูปเมล็ด ผลึกของน้ำตาลจะไม่ละลายโดยความร้อนจากตู้อบและน้ำตาลที่อยู่ใกล้ๆ ผิวขนมจะเป็นจุดขึ้น นอกจากนั้นผลึกน้ำตาลที่หยาบจะไปขูดเอาดีบุกที่เคลือบเครื่องผสมหรือชามผสม ทำให้เกิดสีเทาขึ้นในผลิตภัณฑ์ และจะยิ่งเป็นมากขึ้นถ้าเนยหรือไขมันที่นำมาตีกับน้ำตาลเม็ดหยาบมีความเย็นมาก

2. น้ำตาลไอซิ่ง

น้ำตาลชนิดนี้เป็นผงละเอียดที่มีแป้งข้าวโพดปนอยู่ด้วยประมาณร้อยละ 3 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการจับตัวกันเป็นก้อน หรือป้องกันการเป็นผลึกของน้ำตาล ส่วนมากใช้ในการทำไอซิ่งและผสมกับแป้งทำแป้งเค้กสำเร็จรูป ความละเอียดของน้ำตาลชนิดนี้ช่วยให้ผสมง่ายขึ้น

3. น้ำตาลทรายแดง

น้ำตาลชนิดนี้จะมีพวก คาราเมล แร่ธาตุ และความชื้นปนอยู่ด้วย และยังเป็นน้ำตาลที่ไม่บริสุทธิ์หรือเรียกว่าน้ำตาลดิบ น้ำตาลชนิดนี้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการกลิ่นรสและสีของน้ำตาลทรายแดงส่วนใหญ่ใช้ในการทำคุกกี้และเค้กบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.6 ไขมัน

จะช่วยหล่อลื่นในขณะผสมทำให้ได้ขนมปังที่นุ่มและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ไขมันและน้ำมันที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรีได้มาจากทั้งพืชและสัตว์ สำหรับไขมันที่ได้จากสัตว์ได้แก่ เนยสด (บัตเตอร์) ได้จากน้ำนมวัว มันหมูแข็งได้จากสุกร ส่วนไขมันที่ได้จากพืชก็ได้มาจากพืชชนิดต่างๆ เช่น เมล็ดฝ้าย ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ข้าว งา มะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น ไขมันและน้ำมันแต่ละอย่างนั้นมีองค์ประกอบและคุณสมบัติที่ต่างกันไปตามชนิดของไขมันและน้ำมัน ซึ่งที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรม เบเกอรี ได้แก่

1. มันหมูแข็ง (Lard)

เป็นไขมันที่ได้จากสุกร มีสีขาว มีกลิ่นรสอ่อนๆ เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีปริมาณไขมันอยู่ร้อยละ 98 ใช้ในการทำขนมปัง บิสกิต เปลือกพาย เค้กบางชนิด และคุกกี้ มันหมูแข็งที่ดีควรตัดจากส่วนด้านข้างและด้านหลังของสุกร

2. เนยสด (Butter)

ทำจากส่วนที่เป็นไขมันของน้ำนมวัว ประกอบด้วยไขมันร้อยละ 80 มีสีเหลือง มีกลิ่นรสหวาน มีลักษณะแข็งที่อุณหภูมิห้อง เนยสดนั้นใช้ได้ดีที่สุดในการให้กลิ่นรสแต่จะมีคุณสมบัติด้อยในการเป็นครีมคือ เนยสดจะตีเป็นครีมไม่ดีและขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน

3. ไขพืช (hydrogenated vegetable oil)

ทำจากไขมันพืชบริสุทธิ์ที่ปราศจากกลิ่น เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง โดยนำไปผ่านก๊าซไฮโดรเจนภายใต้ความดันซึ่งมีนิกเกิลเป็นคะตะลิส ไขพืชส่วนใหญ่มีสีขาวเราเรียกว่า เนยขาว จะไม่มีกลิ่นรส เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องและมีปริมาณถึงร้อยละ 100

4. น้ำมันพืช (Vegetable oils)

เป็นน้ำมันที่ได้จากเมล็ดแห้งของพืชที่ให้น้ำมัน นำมาผ่านกระบวนการต่างๆ โดยทำให้บริสุทธิ์ ขจัดสีและสิ่งแปลกปลอมออกไป แต่สีของน้ำมันจะต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ เช่น น้ำมันที่ได้จากถั่วลิสงและจากเมล็ดฝ้ายจะไม่มีสี ในขณะที่น้ำมันจากข้าวโพดและถั่วเหลืองจะมีสีเหลืองอ่อนๆ มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีปริมาณไขมันร้อยละ 100 ส่วนใหญ่ใช้ในการทำขนมปัง โรล และผลิตภัณฑ์ยีสต์ชนิดแข็ง เค้กบางชนิด

5. ไขผสมหรือมาการีน (Compound lard)

ทำจากไขของพืชหรือสัตว์ที่นำมาผสมกับนมหรือครีม หรืออาจจะไม่ใส่นม และไขสัตว์ก็ได้ เพื่อให้เหมาะแก่ความต้องการในด้านการลดไขมันของผู้บริโภค มาการีนนั้นมีทั้งสีขาวและสีเหลือง ผลิตขึ้นมาใช้แทนเนยสดซึ่งสมัยหนึ่งเกิดขาดแคลนขึ้น โดยมีการปรุงแต่งให้มีรูปร่างลักษณะและกลิ่นรสใกล้เคียงกับเนยสดมากที่สุด จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เนยเทียม มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีปริมาณไขมันร้อยละ 80-85 ใช้ทำขนมปัง เค้ก และบางชนิดที่มีจุดละลายสูงก็ใช้ในการทำพัฟเพสตรีซึ่งเรียกว่า เพสตรีมาการีน

2.5.1.7 ไข่

ไข่ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรีนิยมใช้ไข่ไก่เป็นวัตถุดิบ มีราคาแพงและมีความสำคัญมาก ช่วยเพิ่มรสชาติและคุณค่าของขนมปัง ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู

2.5.1.8 กลิ่นรสและเครื่องเทศ

กลิ่นรสและเครื่องเทศเป็นวัตถุดิบที่ช่วยเติมกลิ่นรสและให้สีแก่ผลิตภัณฑ์ กลิ่นหอมของขนมปังที่อบใหม่ๆ เป็นกลิ่นที่กระตุ้นและชวนให้รับประทาน และกลิ่นแรงของกลิ่นรสบางอย่างจะไม่เป็นที่ต้องการ

กลิ่นรสได้มาจากการสกัดน้ำมันของผลไม้หรือผัก หรือเป็นการทำเทียมขึ้นมา กลิ่นรสที่ได้จากผลไม้ส่วนมากได้มาจากน้ำมันธรรมชาติที่อยู่ตามผิวของผลไม้ เช่น ส่วนนอกของเปลือกส้มหรือมะนาว บางอย่างได้จากการสกัดจากเนื้อผลไม้ กลิ่นรสที่เป็นของเหลวควรเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาลและปิดขวดให้สนิทเมื่อไม่ใช้แล้วเพื่อป้องกันการระเหยของกลิ่น กลิ่นรสนั้นไวต่อแสง และส่วนใหญ่จะหายไปเมื่อนำไปอบ ดังนั้นควรเติมกลิ่นรสไปกับไขมันกับการตีครีม

เครื่องเทศนั้นเป็นผักให้กลิ่น โดยปกติจะอยู่ในรูปของการบดละเอียดอาจได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เปลือกต้นไม้ เมล็ดผัก หรือผลไม้ หรือจากรากของพืชชนิดต่างๆ เครื่องเทศช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสตามต้องการและช่วยทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น เครื่องเทศที่นิยมใช้กันมาก เช่น อบเชย คาราเวย์ ลูกจันทน์ ผิวมะนาว ผิวส้ม กลิ่นเนย กลิ่นวานิลา เป็นต้น

2.5.2 ขั้นตอนหลักในการทำขนมปัง

2.5.2.1 การผสมแป้ง

เป็นการคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้เกิดกลูเต็นอันเนื่องมาจากโปรตีนในแป้งรวมกับน้ำ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับแป้งทำให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมอีกด้วย แป้งที่นวดผสมจนได้ที่แล้วจะเรียบเนียนไม่ติดมือ แป้งนุ่ม มีความยืดหยุ่น สามารถดึงเป็นแผ่นบางๆ ได้ โดยไม่ฉีกขาดเรียกก้อนแป้งนี้ว่า โด (Dongh)

การนวดผสมโดนั้น หลังจากได้โดที่เหมาะสมแล้วควรหยุดการผสม เพราะถ้าทำต่อไปโดจะเริ่มแฉะและร้อน กลูเต็นในโดจะฉีกขาดทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดี การผสมแป้งแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1. การผสมแบบขั้นตอนเดียว

วิธีนี้ใช้กันทั่วไปเพราะมีความสะดวกในการทำ โดยการผสมส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในสูตรพร้อมกัน และผสมให้ส่วนผสมเข้ากันหมดในครั้งเดียว จนได้โดที่มีความเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนียนและเมื่อผสมได้โดแล้วก็นำไปหมักในครั้งเดียว สำหรับการผสมแบบนี้จำเป็นต้องมีการไล่ลมหรือทำการลดปริมาณของก้อนโด

2. การผสมแบบสองครั้ง

การผสมสองครั้ง หรือการผสมแบบสปันจ์-โดนี้ มีขั้นตอนของการผสมและการหมัก 2 ครั้ง การผสมครั้งแรกเป็นการผสมแป้งส่วนหนึ่งจากแป้งทั้งหมดที่ใช้ในสูตรกับยีสต์ และอาหารของยีสต์ (ถ้ามี) ผสมพอให้แป้งเข้ากันกับยีสต์และน้ำ ไม่จำเป็นต้องผสมจนโดเรียบเนียน ผสมเพียงเพื่อให้กลูเต็นมากพอที่จะอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักได้เพียงพอ โดที่ได้จากการผสมครั้งแรกนี้เรียก สปันจ์ นำสปันจ์ไปหมักประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนส่วนบนของสปันจ์เริ่มยุบตัวลงมาประมาณ 1 นิ้ว การยุบตัวลงของสปันจ์นั้นเกิดจากการยืดตัวเต็มที่ของโครงสร้างของสปันจ์ตามแรงดันของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมัก สปันจ์ที่หมักได้ดีนั้นโครงสร้างข้างในจะเป็นร่างแหละเอียดและแห้ง เมื่อหมัก สปันจ์ได้ที่แล้ว นำมาเข้าเครื่องผสมอีกครั้งเป็นการผสมครั้งที่ 2 โดยผสมส่วนผสมที่เหลือทั้งหมดในสูตรลงไปในสปันจ์ ผสมจนเข้ากันดี ได้โดที่มีลักษณะเรียบเนียน เมื่อดึงออกมายืดโดจะแผ่เป็นแผ่นบางใส แสงผ่านได้ไม่ขาดออกจากกัน ขั้นตอนนี้เรียกขั้นตอนการเป็นโดและส่วนผสมที่ได้เรียก สปันจ์-โด หลังจากผสมจนได้โดแล้วต้องพักโดไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้โดพักตัวและยืดหยุ่นพอที่จะไปม้วนเป็นรูปใส่ในพิมพ์

3. การผสมแบบทุ่นเวลา

ใช้วิธีการนวดเหมือนการผสมขั้นตอนเดียว แต่มีการเติมสารคุณภาพลงไปในแป้งเพื่อช่วยลดขั้นตอนการหมักในช่วงแรก

2.5.2.2 การหมักโด

เมื่อแป้งหรือโดได้ที่เหมาะสมแล้วต้องหมักไว้ระยะเวลาหนึ่ง สถานที่ที่จะใช้ในการหมักควรจะสะอาด ไม่มีกลิ่นรบกวน ห้องที่จะหมักควรมีอุณหภูมิประมาณ 80 °ฟ (36 °ซ) และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70-78 เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวโดแห้งหรือเปียกเกินไป ถ้าไม่สามารถจัดหาห้องดังกล่าวได้อาจใช้วิธีอื่นแทนคือ

- ใช้ผ้าขาวบางชุบน้ำบิดหมาดๆปิดคลุมไว้
- ใช้พลาสติกคลุม
- ใช้ภาชนะหรือฝาครอบ

เมื่อหมักโดจนขึ้นเป็น 2 เท่าจะต้องทุบโดไล่อากาศออก เพื่อให้ได้โดที่มีอุณหภูมิเท่ากันทั้งก้อน เป็นการไล่คาร์บอนไดออกไซด์ออกไปทำให้ยีสต์ทำงานได้ดีขึ้น

การทดสอบว่าโดได้ที่หรือไม่ ทดสอบได้โดยกดนิ้วลงในก้อนโดลึก 2-3 นิ้ว แล้วสังเกตดูสิ่งเหล่านี้

- ถ้ารอยนิ้วถูกดันขึ้นมาจนไม่เห็นรอยที่กดลงไป แสดงว่ายังไม่พร้อมต้องหมักต่อไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้ารอยนิ้วถูกดันขึ้นมาจนเหลือรอยจางๆ บนผิวโด แสดงว่าโดพร้อมที่จะไล่ลมแล้ว

- ถ้ารอยนิ้วบุ๋มอยู่อย่างเดิมไม่ถูกดันขึ้นมา แสดงว่าหมักนานเกินไป

2.5.2.3 การเตรียมโดหลังการหมัก

หลังจากโดที่ผ่านการไล่ลมและการหมักต่อจนได้ที่แล้ว จะต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ 4 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

1. การตัดแบ่งโดให้เป็นชิ้น น้ำหนักเท่าๆกันและมีขนาดพอเหมาะกับความต้องการ เพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างดี เพราะถ้าแบ่งน้ำหนักเท่ากันแล้วจะทำให้การอบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอโดยใช้เวลาเท่าๆ กัน ปกติแล้วน้ำหนักของก้อนโดที่อบเสร็จแล้วจะน้อยกว่าก่อนอบประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำภายในโด ขณะที่อบในตู้อบ

2. การปั้นคลึงก้อนโดให้กลม เมื่อตัดแบ่งโดให้เป็นก้อนมีน้ำหนักและขนาดตามต้องการแล้ว ต้องนำมาคลึงให้เป็นก้อนกลม ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็น เพราะทำให้ก้อนโดที่ถูกแบ่งออกมามีผิวเรียบทั้งก้อน ป้องกันมิให้ก๊าซหนีออกไปได้ ทางผิวที่ถูกตัดเป็นผลให้โดสามารถอุ้มก๊าซไว้ได้ดียิ่งขึ้น อีกประการหนึ่งเมื่อตัดแบ่งโดออกมานั้นโครงสร้างของกลูเต็นเรียงอยู่ไม่เป็นระเบียบ ไม่เหมาะสมที่จะนำมาปั้นเป็นรูป จึงต้องคลึงให้เป็นก้อนกลมมีผิวเรียบ ตึงและเนียน

3. การพักโดหลังจากคลึงเป็นก้อนกลม หลังจากคลึงโดให้เป็นก้อนกลมเรียบเนียนแล้ว ควรตั้งทิ้งไว้ให้โดพักตัวระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้โดคลายตัวจากการถูกตัดและถูกคลึงโดยทั่วไปใช้เวลาพักประมาณ 8-15 นาที ขึ้นกับสภาพของโดและสภาพของห้องทำงาน

4. การม้วนโดและการนำใส่พิมพ์ หลังจากพักโดได้ที่แล้วก็นำมารีดเป็นครั้งสุดท้าย โดยอาจรีดด้วยลูกกลิ้งหรือใช้เครื่องรีดให้ก้อนโดเป็นแผ่นหนา บาง ตามต้องการ การรีดโดเป็นการไล่ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการพักตัวออกไป และเพื่อให้ลักษณะและขนาดของก๊าซภายในก้อนโดมีขนาดเท่าๆ กัน เสร็จแล้วจึงม้วนให้เป็นรูปตามต้องการ

2.5.2.4 การพักตัวของโดก่อนอบ

หลังจากปั้นเป็นรูปใส่ในพิมพ์หรือในถาดแล้ว ควรทิ้งไว้ในห้องหรือในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้น โดยมีอุณหภูมิประมาณ 95-98 °ฟ และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80-83 การพักโดครั้งนี้เป็นการพักตัวของโดครั้งสุดท้าย เพื่อที่จะให้โดมีปริมาตรเพิ่มขึ้นหลังจากที่ได้ไล่ก๊าซออกไปแล้วตอนรีดโดก่อนปั้นเป็นรูปใส่ในพิมพ์ ในขณะที่พักโดในพิมพ์ ยีสต์ยังคงทำปฏิกิริยาอยู่และจะเร็วขึ้น เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการพักตัวของโดครั้งสุดท้ายนี้สูงขึ้นกว่าครั้งแรก ทำให้กลูเต็นมีความเหมาะสมและยืดตัวดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.5 การอบ

อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 375-500 °ฟ โดยใช้เวลาอบประมาณ 25-60 นาที ขึ้นกับชนิดของตู้อบ และขนาดของผลิตภัณฑ์ที่อบ ความร้อนขนาดนี้พอที่จะทำให้โดสุกได้ที่ ในขณะที่โดถูกนำเข้าอบโดก็มีการหมักตัวอยู่ และอัตราการหมักนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นจากตู้อบ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโดขยายตัวเต็มที่เป็นผลให้ปริมาตรของโดในตู้อบเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยระเหยน้ำออกจากผิวนอกของโด และทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของเปลือกนอกเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาของความร้อนกับน้ำตาล แป้ง และสารประกอบอื่นๆ บนผิวนอกของโด

2.5.2.6 การบรรจุหีบห่อ

เมื่อขนมปังหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ สุกแล้ว จะต้องเคาะออกจากพิมพ์ทันทีหลังจากที่นำออกจากตู้อบ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการอบต่อไปโดยความร้อนจากพิมพ์ ขนมปังที่เอาออกจากพิมพ์แล้วจะต้องทิ้งไว้ให้เย็นลงก่อนเพื่อที่ลดอุณหภูมิภายในเนื้อขนมปัง เมื่อขนมปังเย็นลงแล้วนำมาห่อด้วยโพลีเอทธิลีน กระดาษชุบไข เป็นต้น

2.5.2.7 การเก็บรักษา

ควรเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในห้องที่มีสภาพไม่แห้งเกินไป และมีความเย็นพอเหมาะและไม่ควรเก็บไว้เกิน 48 ชั่วโมง ก่อนถึงมือผู้บริโภค

2.5.3 คุณลักษณะของขนมปัง

2.5.3.1 ลักษณะภายนอก

1. ปริมาตร

ขนมปังที่ดีจะต้องมีปริมาตรที่พอดี ไม่ใหญ่เกินไป ไม่เล็กและหนัก ปริมาตรที่ถูกต้องจะได้จากโดที่มีการปรับสภาพของกลูเต็นอย่างถูกต้อง ซึ่งจะให้ก๊าซได้ดีในระหว่างการอบ นอกจากนั้นยังมีการพักตัวครั้งสุดท้ายที่เหมาะสม มีอุณหภูมิในการอบและมีความชื้นที่ถูกต้อง ปริมาตรของขนมปังเป็นเรื่องสำคัญยิ่งในแง่การค้า เพราะขนมปังที่มีปริมาตรเล็กและหนักจะไม่ดึงดูดใจผู้บริโภคเท่าขนมปังที่มีขนาดใหญ่

2. รูปร่างที่เสมอกันทั้ง 2 ด้าน

หมายถึงขนมปังที่อบออกมาแล้วเมื่อนำมาตัดจะได้สัดส่วนที่เท่ากันทั้ง 2 ด้าน ซึ่งส่วนใหญ่จะได้มาจากโดที่มีการหมัก การม้วน และการพักตัวครั้งสุดท้ายที่ถูกต้อง ถ้าจะต้องมีการตัดแต่งโดก่อนนำไปอบก็ต้องทำให้ถูกต้อง และทำด้วยความระมัดระวัง ตลอดจนการบรรจุหีบห่อหลังการอบเสร็จแล้วจะต้องให้ความเอาใจใส่เป็นอย่างดีอีกด้วย ขนมปังที่มีรูปร่างไม่ดีอาจเกิดได้จากการอบขนมปังในพิมพ์ที่มีขนาดเล็กกว่าน้ำหนักของโดที่ใส่ในพิมพ์ เมื่อโดเกิดการขยายตัวจากการหมักโดจะไม่เท่ากัน ส่วนล่างจะถูกบังคับด้วยพิมพ์ที่บรรจุด้วยความร้อนจะให้สีเร็วกว่าส่วนบนที่ถูกขยายตัวให้พ้นขอบพิมพ์ขึ้นมา ซึ่งจะเกิดสีของเปลือกนอกอย่างช้าๆ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนบนของโดไม่มีอะไรควบคุมหลังจากอบเสร็จแล้วจึงทำให้ขนมปังมีรูปร่างไม่ดีและไม่สม่ำเสมอ

3. ความเลื่อมมัน

เป็นความมันที่เกิดขึ้นในตัวของขนมปังเองโดยธรรมชาติลักษณะนี้ยากที่จะอธิบายเมื่อมองดูขนมปังแต่ละก้อน แต่ถ้านำมาวางเปรียบเทียบกับขนมปังที่ใช้เคลือบบนเปลือกนอกด้วยไข่หรือไขมัน จะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน ความเลื่อมมันตามธรรมชาตินั้นจะเป็นประกายเงาแสดงถึงการหมักที่ดี การใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีและช่างที่ทำมีฝีมือดีด้วย

4. สีของเปลือกนอก

สีของเปลือกนอกของขนมปังไม่ได้เป็นผลจากการอบทั้งหมดทีเดียว แต่เกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น โดที่หมักไม่ได้ที่ สีของเปลือกนอกเมื่อนำเข้าอบจะเกิดสีน้ำตาลแดง และมีรอยสีเขียวตรงรอยแตก และโดที่หมักนานเกินไปจะให้สีที่ไม่ดีนอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบที่ต่ำหรือสูงเกินไป หรือความชื้นที่ไม่เพียงพอในการหมักครั้งสุดท้าย ก็จะทำให้สีของเปลือกนอกของขนมปังไม่ดีได้เช่นกัน

5. ความสม่ำเสมอในการอบ

ลักษณะที่อบได้ไม่สม่ำเสมอนั้นเกิดขึ้นจากการอบในตู้อบมากเกินไป เช่น วางพิมพ์หรือถาดชิดกันเกินไป ทำให้ความร้อนจากเตาอบกระจายไม่ทั่วถึงทุกพิมพ์ เป็นผลให้ด้านที่ไม่ได้รับความร้อนพอไม่เกิดสีที่ดีพอ ทำให้ลักษณะของขนมปังไม่สม่ำเสมอ

6. รอยแตกข้างๆเมื่ออบ

ลักษณะเช่นนี้เป็นผลจากการขยายตัวภายในของก้อนโดในระหว่างการอบ ถ้าโดหมักได้ที่มีการพักตัวและสภาพการอบที่ถูกต้องแล้ว รอยแตกจะสม่ำเสมอและเรียบเนียน ทั้งนี้เนื่องจากกลูเต็นอยู่ในสภาพที่มีการยืดหยุ่นที่เหมาะสมที่จะให้ก๊าซขยายตัวและมีความคงตัวที่จะเก็บก๊าซไว้ได้

2.5.3.2 ลักษณะภายในของขนมปัง

1. สีภายใน

สีของเนื้อขนมปังขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่นำมาใช้ การหมักและการนวดที่ถูกต้อง การใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดี มีการพักโดและการอบที่ถูกต้อง จะทำให้เนื้อขนมปังเป็นเงา ซึ่งก็ขึ้นกับขนาดและปริมาตรของเซลล์ก๊าซอีกด้วย ถ้าตัดก้อนขนมปังจากหลายๆ แห่ง จะสังเกตเห็นได้ว่าแต่ละแห่งจะมีขนาดของเซลล์ที่แตกต่างกัน ก้อนขนมปังที่มีเซลล์เล็กจะให้แสงสะท้อนที่ดี และถ้าเป็นเซลล์ที่ตื้นจะสะท้อนแสงได้สูงสุด ความบางของผนังเซลล์ก็เป็นสิ่งสำคัญเพราะมันจะทำให้การสะท้อนแสงสูงสุดของแสงที่หักเหออกจากเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงร่าง

หมายถึงขนาดและรูปร่างของเซลล์ที่เป็นก้อนขนมปัง โครงร่างจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของขนมปัง โครงร่างของเซลล์ของเนื้อในขนมปังจะต้องกลมเล็กสม่ำเสมอและกระจายตัวกันอยู่อย่างทั่วถึง วัตถุดิบที่มีคุณภาพดี การหมักที่เหมาะสม การปฏิบัติที่ถูกต้อง และการพักตัวที่ดีเป็นสิ่งสำคัญสำหรับโครงร่างของโด

3. ความมันเงาและเนื้อสัมผัส

ถ้าตัดผิวหน้าของขนมปังที่มีลักษณะที่ดีในระดับสายตา และอยู่ในที่ที่มีแสงสว่าง จะเห็นว่าผิวหน้าที่ถูกตัดจะสะท้อนแสงกลับเป็นประกายระยิบระยับมากมาย เรียกว่าเนื้อขนมปังมีความมันเงา เป็นผลจากการใช้วัตถุดิบในการทำโดที่มีคุณภาพดี มีการหมักที่ควบคุมดีและมีการนวดที่ถูกต้อง สำหรับเนื้อสัมผัสที่ดีของขนมปังนั้น จะบอกได้จากการลากนิ้วมือผ่านเบาๆ บนผิวหน้าของขนมปังที่ถูกต้อง ความรู้สึกจะบอกได้ว่าเนื้อขนมปังมีความอ่อนนุ่ม และมีความคงตัว จัดว่าเป็นเนื้อสัมผัสที่ดี แต่ถ้าแตะลงไปแล้วมีความรู้สึกว่านุ่มมาก แสดงว่าเกิดจากโดที่แฉะหรือพักตัวครั้งสุดท้ายนานเกินไป ถ้ารู้สึกว่าหยาบแน่น แสดงว่าโดนั้นแน่นหรือหมักน้อยเกินไป

4. รสสัมผัสและกลิ่น

ทั้งรสสัมผัสและกลิ่นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำขนมปังเพราะจะมีผลต่อการบริโภค ส่วนใหญ่ความสำคัญจะมาจากวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี ผลจากการหมักรวมกับเกลือและสารที่ให้รสอื่นๆ ที่เติมเข้าไป เช่น ถ้าหมักนานเกินไปจะมีกลิ่นแรงของยีสต์และมีรสเปรี้ยว เกิดจากกรดที่เกิดขึ้นจากการที่หมักโดนานเกินไป เป็นต้น ถ้าหมักได้ที่จะได้กลิ่นของขนมปังที่ดี

5. เนื้อขนมปังเรียบและมีความยืดหยุ่นดี

ถ้าใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงไปบนเนื้อในของขนมปังเบาๆ แล้วรู้สึกว่ามีจุดแข็งๆ หรือชิ้นแข็งๆ อยู่ในเนื้อขนมปัง แสดงว่าเนื้อขนมปังนั้นไม่เรียบ ถ้าส่องขนมปังดังกล่าวกับแสงไฟจะเห็นจุดแข็งหรือชิ้นแข็งๆ นี้ชัดเจน เนื้อขนมปังที่ดีควรเรียบเนียน ปราศจากจุดแข็งหรือชิ้นแข็งๆ ในเนื้อเมื่อสัมผัส สำหรับเนื้อขนมปังที่มีความยืดหยุ่นดีควรกลับสู่สภาพเดิมเมื่อใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงไปบนเนื้อขนมปังนั้นและไม่ทิ้งรอยนิ้วมือไว้ ความยืดหยุ่นนี้เป็นเครื่องวัดกำลังด้านทานการดึงของเนื้อขนมปัง เป็นลักษณะที่สำคัญเพราะการตัดขนมปังและการทาเนยบนแผ่นขนมปังจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะอันนี้มาก ระยะการหมักและคุณภาพของวัตถุดิบที่ดีจะเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของเนื้อขนมปัง

6. ความชื้น

ปริมาณของน้ำไม่ได้เกี่ยวข้องกับความชื้นในขนมปังอย่างเดียว แต่การหมัก การกระทำของเกลือ ปริมาณไขมันที่เติม การอบและสภาพการเก็บก็เป็นเรื่องสำคัญ ขนมปัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ทำจากโดอย่างดีจะชื้นกว่าและเก็บความชื้นได้นานกว่าขนมปังที่ทำโดยใช้เวลาสั้น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดอย่างรวดเร็วในส่วนผสมที่ไม่ละลายของโด

2.5.4 การเสื่อมเสียของขนมปัง

2.5.4.1 การเสื่อมเสียที่เกิดจากเชื้อรา

อาหารหลายชนิดที่เสื่อมเสียหรือเน่าเสียเนื่องจากเชื้อรา การเสื่อมเสียดังกล่าวมีสาเหตุมาจากการเก็บรักษาที่ไม่ดีพอ ลักษณะการเน่าเสียดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจน ขนมปังก็เช่นเดียวกับอาหารอื่นๆ ซึ่งเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้

เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิต่ำๆ ซึ่งปริมาณความชื้นดังกล่าวพวกแบคทีเรียและพวกเชื้อยีสต์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่เชื้อราไม่สามารถเจริญได้ในสภาพที่เป็นกรด ขนมปังมีลักษณะที่เชื้อราเจริญได้ดี เมื่อใดก็ตามที่ขนมปังสัมผัสกับบรรยากาศและถ้าหากความชื้นภายในบรรยากาศมีสูง เชื้อราก็จะเจริญเร็วขึ้น แต่ถ้าหากความชื้นภายในบรรยากาศต่ำเชื้อราก็ไม่สามารถจะเจริญได้ แต่สปอร์ก็อาจจะเกาะอยู่บนผิวของก้อนขนมปัง ดังนั้นขนมปังที่เก็บรักษาไว้ในสภาพที่แห้งและสะอาดก็จะสามารถป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราได้

2.5.4.2 การเสื่อมเสียที่เกิดจากแบคทีเรีย

การเสื่อมเสียของขนมปังที่เกิดจากแบคทีเรียที่พบทั่วไปเรียกว่า โรบ (Rope) การเสื่อมเสียนี้จะเห็นได้ชัดคือ ภายในเนื้อขนมปังจะมีลักษณะเหนียว และสีจะเปลี่ยนไปจากเดิม นอกจากนั้นกลิ่นยังมีลักษณะคล้ายกับสับประรดเน่า

การเสื่อมเสียดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากขนมปังมีเชื้อแบคทีเรียปะปนอยู่ และสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวสามารถทนความร้อนภายในเตาอบได้ ดังนั้นเชื้อแบคทีเรียจะเจริญเติบโตภายในขนมปัง ทำให้เนื้อขนมปังเปลี่ยนสีและมีกลิ่นเน่า ระยะเวลาหลังจากขนมปังออกจากเตาอบจนเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวประมาณ 12-36 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียที่ปะปนอยู่

แบคทีเรียดังกล่าวจะอยู่ในดินและในบรรยากาศ ดังนั้นการเสื่อมเสียดังกล่าวส่วนใหญ่จะเกิดกับวัตถุดิบ และเครื่องมือเครื่องใช้ที่ไม่สะอาด

2.5.4.3 การแห้งของขนมปัง

ขนมปังจะมีคุณภาพดีที่สุดหลังจากเอาออกจากเตาอบประมาณ 2-3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นลักษณะสดและนิ่ม แต่เป็นไปไม่ได้ที่ทุกท่านจะหาซื้อขนมปังใหม่ๆ ได้ ดังนั้นผู้บริโภคส่วนใหญ่จะต้องซื้อขนมปังที่มีอายุมากกว่า 1 วัน เมื่อเป็นเช่นนี้ผู้ประกอบการจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของขนมปังเมื่อถึงมือผู้บริโภค

วิธีทดสอบว่าขนมปังแห้งหรือไม่นั้นทำได้ง่าย โดยการหั่นขนมปังออกแล้วใช้นิ้วหัวแม่มือกดเบาๆ ถ้าหากขนมปังนิ่มแสดงว่าขนมปังไม่แห้ง และถ้าหากกดลงไปได้เล็กน้อยแสดงว่าขนมปังแห้ง สำหรับสาเหตุที่ทำให้ขนมปังแห้งนั้นมีอยู่ 2 ประการด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การสูญเสียความชื้นภายในก้อนขนมปัง
2. การแห้งเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีภายในก้อนขนมปัง

2.6 ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์

ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปเนื้อสัตว์ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ (เยาวลักษณ์, 2536) คือ

2.6.1 ผลิตภัณฑ์ขนาดเดิม (Non-communuted products)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่โครงสร้างสุดท้ายของเนื้อจะยังคงรูปร่างและโครงสร้างของเนื้อสดอยู่ มองเห็นชิ้นเนื้ออยู่ มีเส้นใยของเนื้อที่มองเห็นอยู่ด้วย เช่น แฮม เบคอน หมูแผ่น คอร์นบีฟ หมูหยอง สะเต็ก หมูตั้ง เป็นต้น

2.6.2 ผลิตภัณฑ์ลดขนาด (Communuted products)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่โครงสร้างสุดท้ายประกอบกันขึ้นมาจากเนื้อชิ้นเล็กๆ ย่อย ๆ รวมตัวกันขึ้นเป็นรูปร่างตามสิ่งที่ใช้บรรจุ เนื้อสัตว์ที่เป็นวัตถุดิบถูกลดขนาดให้เล็กลงโดยการหั่น บด และสับละเอียด ผลิตภัณฑ์ลดขนาดอาจแบ่งตามลักษณะโครงสร้างภายใน และการลดขนาดชิ้นส่วนของเนื้อเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

2.6.2.1 ผลิตภัณฑ์ลดขนาดบดหยาบ

เป็นผลิตภัณฑ์ที่เนื้อถูกบดด้วยเครื่องบดเนื้อธรรมดา เนื้อถูกลดขนาดลงแต่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อ คือยังมองเห็นว่าเป็นส่วนของมัน ส่วนของเนื้อ เช่น ไส้กรอกเปรี้ยว แหนม กุนเชียง ไส้กรอกอาหารเช้า (pork sausage) ไส้กรอกซาลามิ (salami) หมูส้ม มั้ม

2.6.2.2 ผลิตภัณฑ์ลดขนาดบดละเอียดอิมัลชัน

เป็นผลิตภัณฑ์ที่เนื้อถูกบดด้วยเครื่องบดและสับละเอียดจนโครงสร้างในระดับเส้นใยกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลง โดยมีโปรตีนไมโอซินละลายออกมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อ และทำให้ส่วนผสมแปรเปลี่ยนเป็นมวลเหนียว ซึ่งเป็นลักษณะของส่วนผสมที่เรียกว่าอิมัลชัน เช่น หมูยอ ไส้กรอกเวียนนา หรือ แฟรงค์เฟอร์เตอร์ โบโลญา แนกเวอร์สท (knackwurst) เบอร์ลินเนอร์ (berliner) ลั่นเชียนมีท (luncheon meat) ลูกชิ้นเนื้อต่าง ๆ และ ผลิตกัณฑ์เนื้อสัตว์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

1. เปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ (*lycopersicum esculentum* Mill.) พันธุ์ลูกท้อ จากบริษัทไฮคิวผลิตภัณฑ์อาหารจำกัด จังหวัดหนองคาย
2. แป้งสาลีตราห่าน
3. เกลือ
4. น้ำตาลทราย
5. ยีสต์
6. เนยขาว
7. แพ็กโก 3
8. หมูบด
9. พริกไทย
10. ซอสปรุงรส
11. น้ำปลา
12. หอมหัวใหญ่
13. ไข่
14. งาขาว
15. น้ำมันพืช

3.2 อุปกรณ์

1. เตาอบ (oven) (กล้วยน้ำไทยเตาอบ)
2. ตู้อบลมร้อน (กล้วยน้ำไทยเตาอบ)
3. ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช (Endecotts test sieves)
4. เครื่องผสมอาหาร (Kitchen aid ประเทศสหรัฐอเมริกา)
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius)
6. เครื่องสกัดไขมัน (Soxtherm apparatus) (BUCHI 810)
7. เครื่องมือชุดวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (VELP SCIENTIFICA)
8. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Gerhardt)
9. เครื่องวิเคราะห์สี (colorimeter) (Minolta CR 300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กรวยแยก (separatory funnel)
11. เครื่อง Scaning Electron Microscope (SEM) (LEO 1455VP)
12. เตาเผา (Muffle furnace)
13. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) (FALCON 6/300)
14. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyser) (LLOYD)
15. อุปกรณ์เครื่องแก้วและเคมีภัณฑ์

รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Gerhardt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 เครื่องมือชุดวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (VELP SCIENTIFICA)

รูปที่ 3.3 เตาเผา (Muffle furnace)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 เครื่องสกัดไขมัน (Soxtherm apparatus) (BUCHI 810)

รูปที่ 3.5 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyser) (LLOYD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการ

3.3.1 ตรวจวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมใยอาหารผง

3.3.1.1 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและทางกายภาพ ได้แก่

ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า และเส้นใยหยาบ ตามวิธีการของ AOAC (2000) วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Beerh and Siddappa (1959) และทำการวิเคราะห์ค่าสีโดยวัดเป็นค่า L*a*b*

3.3.2 การเตรียมใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ

3.3.2.1 นำเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศเกลี่ยในถาดสแตนเลสให้มีความสูงประมาณ 3 มิลลิเมตรแล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อน โดยทดลองแปรอุณหภูมิในการอบเป็น 4 ระดับ คือ 45 50 55 และ 60 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.3.2.2 นำเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศที่ผ่านการอบมาบดเป็นผงด้วยเครื่องบดอาหาร

3.3.2.3 นำไปร่อนผ่านตระแกรงขนาด 100 เมช

3.3.2.4 นำผงที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตใยอาหารผง

รูปที่ 3.6 การผลิตใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพของใยอาหารผง ได้แก่

3.3.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพ

1. วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า และเส้นใยหยาบ ตามวิธีการของ AOAC (2000) และวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยตามวิธีการของ AOAC (1990)

2. วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Beerh and Siddappa (1959)

3. วิเคราะห์ค่าสีโดยวัดเป็นค่า L*a*b*

3.3.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่

1. วิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Auffret et al. (1994)

2. วิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Oil holding capacity) ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Sathe and Salunkhe (1981)

3.3.3.3 ตรวจลักษณะอนุภาคและพื้นผิวด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.3.4 การทดลองใช้ใยอาหารผงในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์

3.3.4.1 การทดลองเสริมใยอาหารผงในขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

ทำการทดลองเสริมใยอาหารผงลงในขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ โดยใช้ใยอาหารผงทดแทนส่วนของแป้งสาลีบางส่วน ในปริมาณร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักแป้ง โดยเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมซึ่งมีส่วนผสมของขนมปังดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

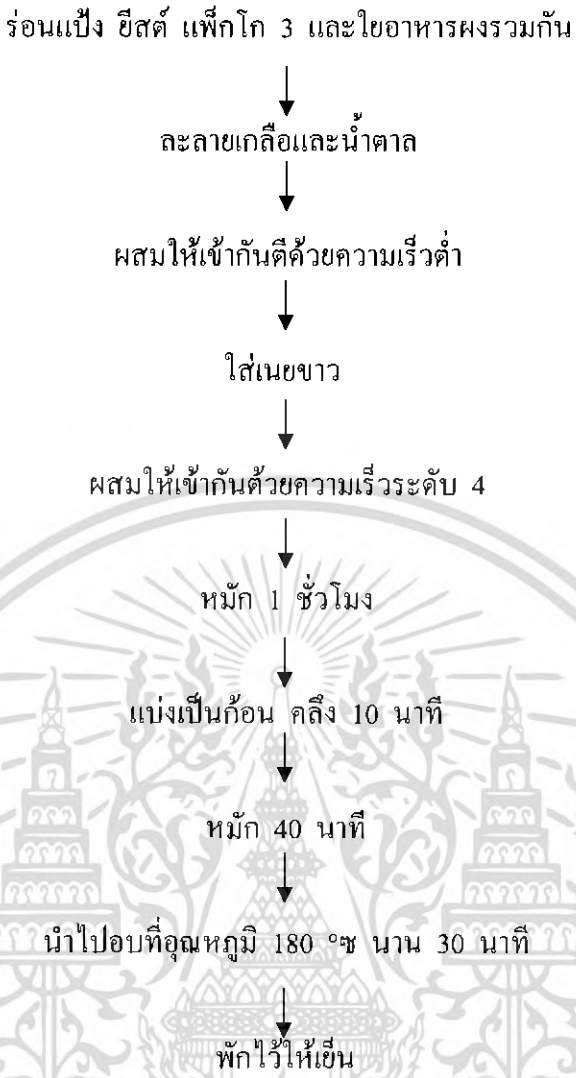
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)					
	(สูตรควบคุม)					
แป้งตราห่าน	500	495	490	485	480	475
ใยอาหารผง	0	5	10	15	20	25
น้ำ	325					
เกลือ	3					
น้ำตาลทราย	60					
ยีสต์	5					
เนยขาว	50					
แพ็กโก 3	2.5					

วิธีทำ

1. ร่อนแป้ง ยีสต์ แพ็กโก 3 และ ใยอาหารผง รวมกัน
2. แบ่งส่วนผสมของน้ำสำหรับละลายเกลือและน้ำตาลทราย
3. ผสมแป้งที่ร่อนแล้วในเครื่องผสมด้วยความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 5 นาที
4. ใส่น้ำที่ละลายเกลือและน้ำตาลลงไปผสมจนเข้ากัน
5. ใส่ส่วนของน้ำที่เหลือลงไป
6. เมื่อผสมเข้ากันดีใส่เนยขาวลงไปตีต่อให้เข้ากันด้วยความเร็วระดับ 4 จนเนื้อแป้งมีลักษณะเหนียวและไม่ติดบริเวณโถผสมใช้เวลา 7 นาที
7. นำแป้งที่ได้หมักไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
8. แบ่งแป้งเป็นก้อนก้อนละ 30 กรัม คลึง 10 นาที แล้วนำไปหมักไว้เป็นเวลา 40 นาที
9. โรยงาขาวนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 180 °ซ นานประมาณ 20 นาที
10. นำขนมปังออกจากเตาอบ พักไว้ให้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการผลิตขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

3.3.4.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ที่เสริมใยอาหารผง ได้แก่

1.ตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของ LLOYD เพื่อวัดค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (gumminess) ความสามารถในการคืนกลับขนาดเดิม (springiness) และความสามารถในการยึดเกาะของโครงสร้าง (cohesiveness) ของผลิตภัณฑ์สูตรควบคุมและสูตรที่มีการเสริมใยอาหารผงที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักแป้ง โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีความกว้างและความยาว 4 × 4 เซนติเมตร โดยทดสอบตัวอย่างละ 5 ซ้ำ ใช้หัววัดรูปทรงกระบอก (cylindrical probe) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร แรงกระทำของหัววัดที่กด (compression force) ลงบนของชิ้นขนมปังด้วยระยะทางร้อยละ 50 โดยทำการกดเพียงครั้งเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อมูลระหว่างแรงกด (นิวตัน) กับเวลา (วินาที) เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น และความสามารถในการกลับคืนขนาดเดิม

2. การวิเคราะห์ค่าสี โดยวัดเป็นค่า L*a*b*

3.3.4.3 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ที่เสริมใยอาหารผง ได้แก่

1. ทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า และเส้นใยหยาบ ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2. วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Beerh and Siddappa (1959)

3.3.4.4 การทดสอบคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

ทดสอบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์โดยประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ที่เสริมใยอาหารผงเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมในด้าน การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง ความนุ่มของเนื้อขนมปัง กลิ่นรส สี คุณภาพโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกหัดจำนวน 25 คนให้คะแนนแบบ 5-Point hedonic scale มีคะแนนระหว่าง 1 ถึง 5 โดย 5 หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกับกลุ่มควบคุม และ 1 หมายถึง แตกต่างจากกลุ่มควบคุมมากที่สุด

3.3.5 ใช้ใยอาหารผงในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์

ทำการทดลองเติมใยอาหารผงลงในหมูเบอร์เกอร์โดยใช้ใยอาหารผงทดแทนส่วนของเนื้อหมูในปริมาณร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักหมู โดยเปรียบเทียบปริมาณที่ใช้กับสูตรควบคุมรายละเอียดของส่วนผสมของหมูเบอเกอร์ดังนี้

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของหมูเบอร์เกอร์

ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)					
	(สูตรควบคุม)					
หมูบดหยาบ	300	297	294	291	288	285
ใยอาหารผง	0	3	6	9	12	15
พริกไทย	3.6					
ซอสปรุงรส	10.2					
น้ำปลา	8.7					
แป้งสาลี	4.5					
หอมหัวใหญ่	30					
ไข่	20					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

1. นำหมูบด หอมหัวใหญ่ พริกไทยป่น ซอสปรุงรส น้ำปลา แป้งสาลีนวดให้เข้ากัน
2. ปั้นเป็นก้อนกลมๆก้อนละ 50 กรัม แล้วตบให้แบนเท่ากันทุกก้อน
3. ทอดในกระทะเทปล่อนจนกระทั่งสุกทั้ง 2 ด้าน

3.3.5.1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของหมูเบอร์เกอร์ที่เสริมใยอาหารผง ได้แก่

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า และเส้นใยหยาบ ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2. การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Beerh and Siddappa (1959)

3.3.5.2 การทดสอบคุณภาพการยอมรับทางประสาทสัมผัสของหมูเบอร์เกอร์

ทดสอบความแตกต่างของผลิตภัณฑ์โดยประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของหมูเบอร์เกอร์ที่เสริมใยอาหารผง โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมในด้าน รสชาติ ความนุ่มเนื้อ การเกาะตัวกันเป็นก้อน และคุณภาพโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกหัด 25 คน ให้คะแนนแบบ 5-Point hedonic scale มีคะแนนระหว่าง 1 ถึง 5 โดย 5 หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุม และ 1 หมายถึง แตกต่างมากที่สุดเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

3.3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 12.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ตรวจวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมใยอาหารผง

4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของส่วนผสมเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของส่วนผสมของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศสดที่ได้จากโรงงานผลิตซอสเข้มข้น โดยมีส่วนผสมของเปลือกคิดเป็นร้อยละ 60 ที่เหลือเป็นส่วนของเมล็ด และในการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณดังตารางที่ 4.1 พบว่าตัวอย่างมีความชื้นร้อยละ 30.07 ไขมันร้อยละ 10.10 โปรตีนร้อยละ12.97 ซึ่งโปรตีนที่ได้ส่วนใหญ่มาจากองค์ประกอบที่เป็นเมล็ด (Sogi et al., 2005) เส้นใยหยาบร้อยละ 33.22 และใยอาหารที่ได้ส่วนใหญ่มาจากส่วนของเปลือก นอกจากนี้ยังมีเถ้า 1.97 และสารแอนติออกซิแดนท์ที่สำคัญ คือ ไลโคปีนในปริมาณ 22.32 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักเปียกซึ่ง Shi and Le Maqire (2000) ได้รายงานว่าไลโคปีนจะมีอยู่ในเปลือกมะเขือเทศมากกว่ามะเขือเทศทั้งผล และส่วนใหญ่จะจับอยู่กับเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำได้ (insoluble fiber) และจากการวิเคราะห์ค่าสีของส่วนผสมของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ พบว่าค่า L* ซึ่งเป็นค่าแสดงสีขาวเท่ากับ 41.61 และค่า a* ซึ่งแสดงถึงสีแดงเท่ากับ 19.59 และค่า b* เป็นค่าแสดงสีเหลืองมีค่าเท่ากับ 27.44 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศมีปริมาณใยอาหาร โปรตีน และไลโคปีนเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง ซึ่งจัดเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าเพียงพอที่จะนำไปใช้เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของส่วนผสมเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ

องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ	
ความชื้น (ร้อยละ)	30.07
ไขมัน (ร้อยละ)	10.10
โปรตีน (ร้อยละ)	12.97
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)	33.22
เถ้า (ร้อยละ)	1.97
ไลโคปีน (มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักเปียก)	22.32
ค่าสี L*	41.61
a*	19.59
b*	27.44

L* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดความสว่าง (+ หมายถึงสีขาว - หมายถึงสีดำ)

a* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (+ หมายถึงสีแดง - หมายถึงสีเขียว)

b* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ หมายถึงสีเหลือง - หมายถึงสีน้ำเงิน)

4.2 การผลิตใยอาหารผงจากส่วนผสมของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ

4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของใยอาหารผง

ทำการผลิตใยอาหารผงโดยแปรปริมาณอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 45 50 55 และ 60 °ซ โดยใช้เวลาในการอบ 6 ชั่วโมง แล้วนำใยอาหารผงที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าที่อุณหภูมิในช่วงการอบสามารถลดความชื้นลงได้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นอยู่ในช่วง 4.76-7.73 ส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น ปริมาณโปรตีน เส้นใยหยาบ ไขมัน และเถ้า มีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้อบเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณไขมันและโปรตีนที่ได้มาจากส่วนของเมล็ดเป็นส่วนใหญ่โดยเฉพาะกรดอะมิโนชนิดไลซีน จึงนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์พวก cereal product ซึ่งมีไลซีนต่ำ (Brodowski and Geirman, 1980) และผลที่ได้พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ Parsia et al. (2003) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณในเมล็ดมะเขือเทศอบแห้ง พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.5 โปรตีนร้อยละ 25 ไขมันร้อยละ 20 เถ้าร้อยละ 3.1 และปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ 35.1 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณใยอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิการทำแห้งส่วนผสมของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ

อุณหภูมิที่ใช้ทำแห้ง (°ซ)	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	ความชื้น	โปรตีน	เส้นใยหยาบ	ไขมัน	เถ้า
45	7.73[a]	23.26[d]	37.84[b]	15.81[d]	2.53[c]
50	5.24[b]	24.31[c]	37.92[b]	16.01[c]	3.05[b]
55	4.87[c]	25.67[b]	38.27[a]	16.54[b]	3.29[a]
60	4.76[d]	26.26[a]	38.33[a]	16.72[a]	3.31[a]

[a,b,c,...] คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในใยอาหารผง

จากการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในส่วนผสมของเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆพบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นปริมาณไลโคปีนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 25-26 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ความชื้นในตัวอย่างลดลงส่งผลให้ปริมาณของไลโคปีนเพิ่มขึ้น ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่ศึกษาเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไม่สูงมากเกินไปที่จะทำให้ปริมาณไลโคปีนสูญเสีย ซึ่ง Miki and Akatsu (1970) ได้รายงานว่า ไลโคปีนจะเริ่มเสียสภาพที่อุณหภูมิมากกว่า 80 °ซ โดยจะทำให้เกิดไอโซเมอไรเซชันจาก trans- เป็น cis-isomer ซึ่ง cis-isomer เป็นโครงสร้างที่มีพลังงานสูง ว่องไวต่อปฏิกิริยา ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดลดลง ส่งผลให้มีสีแดงน้อยลง ดังนั้นปริมาณไลโคปีนจึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิในการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคปีน

อุณหภูมิในการทำแห้ง (°ซ)	ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
45	25.26[b]
50	25.54[b]
55	25.86[a]
60	26.04[a]

[a,b,c...] คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสีของใยอาหารผง

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของใยอาหารผงที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่างๆ พบว่าใยอาหารผงที่ได้เปลี่ยนสีจากสีแดงสดเป็นสีส้มแดง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.4) โดย ค่า L* มีค่าอยู่ในช่วง 59.37-59.49 ค่า a* มีค่าอยู่ในช่วง 15.79-17.38 และค่า b* มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 35.52-37.54 การที่ค่า a* มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น ความร้อนมีผลต่อการเสื่อมสลายของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียว และเมื่อคลอโรฟิลล์เสื่อมสลายจะทำให้เกิดการสะสมของ β-carotein และไลโคปีนเพิ่มขึ้น ซึ่ง β-carotein เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลืองส้ม ส่วนไลโคปีนเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดง (Koshitalo and Ormrod, 1972) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นใยอาหารผงที่ได้จะมีสีแดงส้มเข้มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสีของใยอาหารผง

อุณหภูมิ (°ซ)	ค่าของสี		
	L*[ns]	a*	b*
45	59.46	15.79[b]	35.52[c]
50	59.41	16.70[b]	36.84[b]
55	59.49	16.73[b]	37.16[a]
60	59.37	17.38[a]	37.54[a]

L* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดความสว่าง (+ หมายถึงสีขาว - หมายถึงสีดำ)

a* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (+ หมายถึงสีแดง - หมายถึงสีเขียว)

b* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ หมายถึงสีเหลือง - หมายถึงสีน้ำเงิน)

[a,b,c...] คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

รูปที่ 4.1 ใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 วิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และอุ้มน้ำมัน (oil holding capacity) ของใยอาหารผง

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของใยอาหารผงได้แก่ ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมัน โดยใช้อุณหภูมิในการอบเป็น 45 50 55 และ 60 °ซ พบว่าค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันของใยอาหารผงที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แสดงว่าอุณหภูมิในช่วงที่ศึกษาไม่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน โดยมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ในช่วง 6.60-6.68 กรัมของน้ำต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้งและค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ซึ่งเท่ากับ 2.31 2.33 2.34 และ 2.36 กรัมน้ำมันต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้งตามลำดับ ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงเหมาะที่จะเติมลงในอาหารที่ต้องการความชุ่มชื้น ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถอุ้มความชื้นไว้ได้มากและนานขึ้นทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากการบดและขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก มีผลทำให้น้ำและน้ำมันสามารถแทรกตัวเข้าไปได้ดีขึ้น จากการวิเคราะห์ลักษณะอนุภาคและพื้นที่ผิวของใยอาหารผงด้วยเทคนิค SEM (รูปที่ 4.2) พบว่าโครงสร้างมีความเป็นรูพรุนค่อนข้างมากจึงสามารถดูดซับน้ำรวมทั้งน้ำมันได้ดี

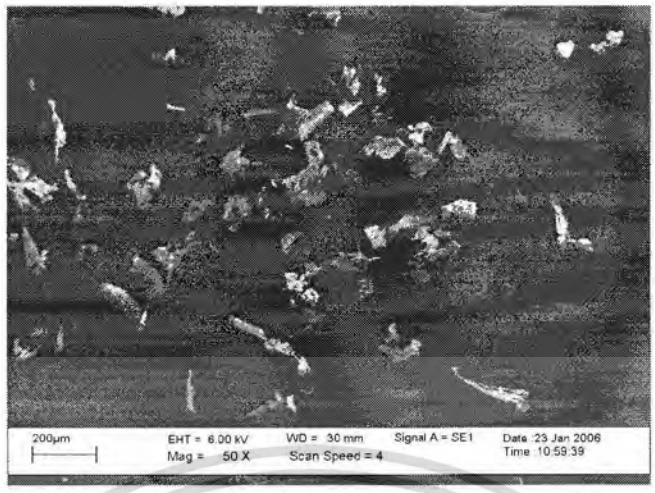
ตารางที่ 4.5 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ(water holding capacity) และอุ้มน้ำมัน (oil holding capacity) ของใยอาหารผง

อุณหภูมิ (°ซ)	คุณสมบัติเชิงหน้าที่	
	ความสามารถในการอุ้มน้ำ ^{ns} (กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้ง)
45	6.66	2.31^{c}
50	6.63	2.33^{bc}
55	6.60	2.34^{ab}
60	6.68	2.36^{a}

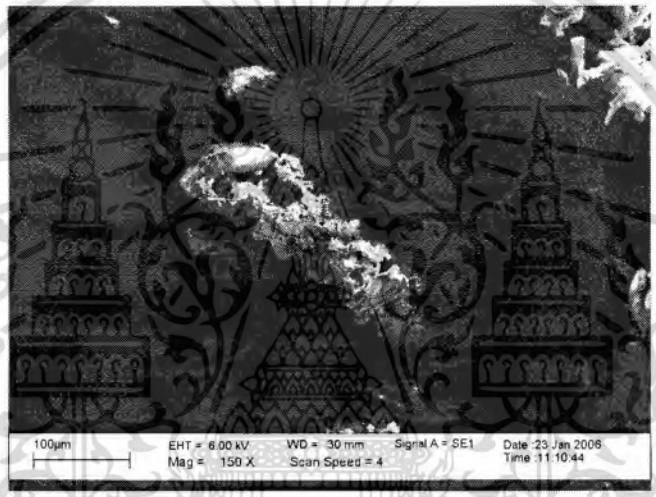
$^{a,b,c,\ldots}$ คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

^{ns} แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

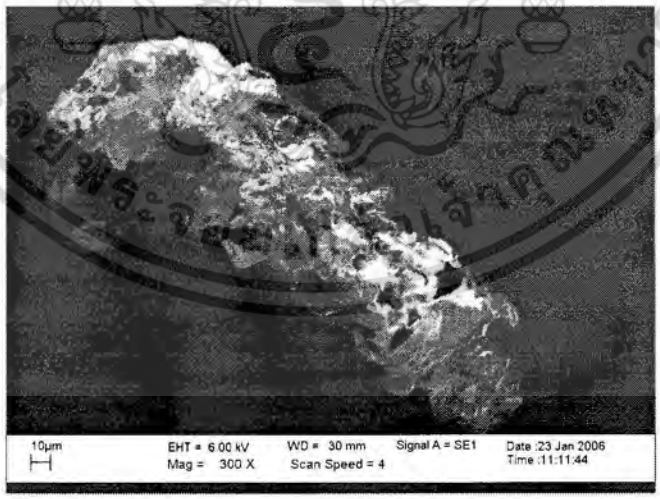
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก



ข



ค

รูปที่ 4.2 ลักษณะอนุภาคและพื้นผิวของใยอาหารผงด้วยเครื่อง Scanning electron micrograph ที่กำลังขยาย 50 เท่า (ก) 150 เท่า (ข) และ 300 เท่า (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศที่เหมาะสมต่อการผลิตใยอาหารผง โดยคำนึงถึงปริมาณโปรตีน ใยอาหารทั้งหมด ไลโคปีน ประกอบกับการคำนึงถึงการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการอบ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบ คือ 55 °ซ

ตารางที่ 4.6 คุณภาพของใยอาหารผงที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °ซ

คุณภาพของใยอาหารผง	
ความชื้น (ร้อยละ)	4.87
โปรตีน (ร้อยละ)	25.67
ใยอาหารทั้งหมด (ร้อยละ)	38.27
ไขมัน (ร้อยละ)	16.54
เถ้า (ร้อยละ)	3.29
Dietary fiber (ร้อยละ)	61.03
ปริมาณไลโคปีน (มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	25.86
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง)	6.60
ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้ง)	2.34
ค่าสี L*	59.49
a*	16.73
b*	37.16

4.3 การใช้ใยอาหารผงในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์

4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

จากการเสริมใยอาหารผงเพื่อใช้ทดแทนปริมาณแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ โดยทำการทดลองใส่ใยอาหารผงในปริมาณร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของน้ำหนักแป้งในสูตร แล้วนำผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์ โดยทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างขนมปังก่อนอบ พบว่าปริมาณไลโคปีนที่ได้ในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบขนมปังมีอุณหภูมิสูงถึง 180 °ซ และใช้เวลาในการอบนาน 30 นาที ซึ่งจะส่งผลให้ไลโคปีนเกิดการเสื่อมสลายไป ซึ่ง Gross (1977) ได้รายงานว่าในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา ไลโคปีนจะเกิดการสูญเสียได้จาก ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เอนไซม์ ความร้อน และแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณไลโคปีนในขนมปังที่ร้อยละต่างๆ ของใยอาหารผงที่ทดแทนแป้งสาลี

ร้อยละใยอาหาร	ปริมาณไลโคปีนใน ตัวอย่างขนมปังก่อนอบ (มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 100 กรัม)	ปริมาณไลโคปีนใน ตัวอย่างขนมปังหลังอบ (มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 100 กรัม)
1	4.67^{e}	3.49^{e}
2	6.31^{d}	5.10^{d}
3	8.05^{c}	6.52^{c}
4	9.67^{b}	7.42^{b}
5	10.47^{a}	8.68^{a}

$^{a,b,c,\ldots}$ คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสีของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

ผลจากการทดลองใช้ใยอาหารผงจากส่วนผสมเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศทดแทนแป้งสาลีในสูตรร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 เมื่อปริมาณร้อยละของใยอาหารผงเพิ่มมากขึ้น ค่า L* ซึ่งเป็นค่าแสดงสีขาว มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วน a* ซึ่งเป็นค่าแสดงสีแดง และค่า b* ซึ่งเป็นค่าแสดงสีเหลือง พบว่ามีค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากใยอาหารผงที่ได้จากการผลิตมีสีส้มแดงของไลโคปีนและ β-carotein ดังนั้น เมื่อนำไปใช้ทดแทนแป้งสาลีจึงมีผลทำให้เนื้อของขนมปังที่ได้เป็นสีน้ำตาลส้ม และมีจุดสีส้มแดงของใยอาหารกระจายอยู่ในเนื้อขนมปัง (รูปที่ 4.3) เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่มีการเสริมใยอาหารผง (ตารางที่ 4.8) ดังนั้นเมื่อเพิ่มใยอาหารผงในปริมาณที่สูงขึ้น สีของขนมปังที่ได้จึงมีสีเข้มมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มสีสันให้กับผลิตภัณฑ์ ทำให้น่ารับประทานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของขนมปังที่ปริมาณร้อยละของใยอาหารผงต่างๆที่ใช้ในการทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ปริมาณใยอาหารผง (ร้อยละ)	ค่าของสี		
	L*	a*	b*
0	71.16[a]	0.36[d]	10.17[f]
1	70.08[b]	0.44[d]	15.53[e]
2	69.51[b]	0.79[c]	19.01[d]
3	66.15[cd]	0.83[c]	21.90[c]
4	66.87[c]	1.23[b]	23.37[b]
5	65.42[d]	1.54[a]	24.34[a]

L* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดความสว่าง (+ หมายถึงสีขาว - หมายถึงสีดำ)

a* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (+ หมายถึงสีแดง - หมายถึงสี เขียว)

b* = เป็นค่าที่ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ หมายถึงสีเหลือง - หมายถึงสีน้ำเงิน)

[a,b,c...] คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสีของขนมปังเมื่อทดแทนใยอาหารผงในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การตรวจสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

ภายหลังจากได้เป็นผลิตภัณฑ์ขนมปังแฮมเบอร์เกอร์แล้ว นำขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยใยอาหารผงที่ร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 มาทดสอบลักษณะด้านเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง texture analyzer และใช้หัววัดขนาด 10 มิลลิเมตร โดยใช้หัววัดกดลงบนผิวขนมปังเป็นระยะทางร้อยละ 50 ของความสูงทั้งหมดของขนมปัง พบว่าค่าความแข็งของขนมปังที่อ่านได้จากค่า Hardness มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อทดแทนใยอาหารผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และพบว่าขนมปังที่มีการทดแทนแป้งสาลีด้วยใยอาหารผงร้อยละ 2 ขึ้นไปค่า Hardness ที่ได้มีความแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติในการดูดซับน้ำของใยอาหารผงที่เติมลงไป (ตารางที่ 4.5) ทำให้ขนมปังไม่ขึ้นฟูโครงสร้างของขนมปังอัดตัวกันแน่นมีผลทำให้เนื้อขนมปังเกิดความแน่นเนื้อมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า Cohesiveness คือค่าที่แสดงถึงโครงสร้างภายในที่มีการจับยึดกันด้วยแรงที่แตกต่างกันออกไป พบว่าการเพิ่มปริมาณใยอาหารผงทำให้ค่าการยึดเกาะกันของโครงสร้างภายในมีค่าลดลง เนื่องมาจากใยอาหารผงไปแทรกตัวอยู่ในโครงสร้างของกลูเต็นซึ่งเกิดจากโปรตีนในแป้งสาลีรวมตัวกับน้ำมีผลทำให้ค่าการยึดเกาะกันของโครงสร้างภายในมีค่าลดลง (กฤษฎา, 2538) ส่วนค่า Springness ซึ่งเป็นค่าแสดงความยืดหยุ่นของเนื้อขนมปัง พบว่าค่า Springness ของขนมปังที่เสริมใยอาหารผงร้อยละ 4 เริ่มมีค่าแตกต่างจากสูตรควบคุม (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบทางด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

คุณลักษณะ	ปริมาณใยอาหารผงที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีบางส่วน(ร้อยละ)					
	สูตรควบคุม	1	2	3	4	5
ค่าความแข็ง (Hardness : N)	1.49^{a}	1.56^{a}	1.93^{b}	2.66^{c}	2.82^{c}	3.41^{d}
ค่าการยึดเกาะ(Cohesiveness : N.mm)	0.38^{a}	0.40^{a}	0.36^{ab}	0.35^{ab}	0.34^{ab}	0.32^{b}
ค่าการคืนกลับขนาดเดิม (Springness : mm)	5.28^{a}	5.27^{a}	5.08^{ab}	5.06^{ab}	5.00^{b}	4.80^{b}

$^{a,b,c,\ldots}$ คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

ทำการทดลองเสริมใยอาหารผงจากเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศลงในผลิตภัณฑ์ขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งโดยทั่วไปขนมปังแฮมเบอร์เกอร์จะมีสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนสำคัญ จากการแปรปริมาณใยอาหารผงในสูตรเป็นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของปริมาณแป้งสาลีในสูตร และทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัส โดยประเมินความแตกต่างทางด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง ความนุ่มของเนื้อขนมปัง กลิ่นรส สี และคุณภาพโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 25 คน และใช้แบบทดสอบแบบ 5-Point hedonic scale ที่ระดับคะแนนในช่วง 1-5 โดยคะแนนที่ 1 หมายถึงขนมปังมีความแตกต่างจากสูตรควบคุมมากที่สุด และคะแนนที่ 5 หมายถึงขนมปังไม่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุม เมื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การเพิ่มใยอาหารผงร้อยละ 1 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับสูตรควบคุมในด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง ความนุ่มของเนื้อขนมปัง และกลิ่นรส ในขณะที่คุณลักษณะของขนมปังในด้านสีนั้นพบว่า การทดแทนใยอาหารผงตั้งแต่ร้อยละ 3 ขึ้นไป ผู้ทดสอบได้ให้คะแนนความแตกต่างจากสูตรควบคุมมากขึ้น จะเห็นได้จากคะแนนเฉลี่ยที่ได้มีค่าลดลง โดยผู้ทดสอบได้ให้คำแนะนำไว้ว่า ขนมปังที่มีการเติมใยอาหารผงที่เพิ่มขึ้นจะมีการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังแน่น ขนมปังมีลักษณะแข็ง มีกลิ่นรสเปรี้ยวของมะเขือเทศ ซึ่งแตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมาก ส่งผลให้คุณภาพโดยรวมลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาคุณลักษณะในด้านต่างๆ ทำให้สามารถเติมใยอาหารผงได้ไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งมีคะแนนของผู้ทดสอบด้านคุณภาพโดยรวมอยู่ในช่วง 3.00 - 3.84 และพบว่าการเติมใยอาหารผงมากกว่าร้อยละ 3 ทำให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ลดลง (ตารางที่ 4.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังแฮมเบอร์เกอร์

คุณลักษณะ	ปริมาณของใยอาหารผง(ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง	3.68[a]	3.64[a]	3.48[ab]	2.96[b]	2.92[b]
ความนุ่มของเนื้อขนมปัง	3.72[a]	3.68[ab]	3.64[ab]	3.08[ab]	3.04[b]
กลิ่นรส	3.84[a]	3.64[ab]	3.36[b]	3.20[bc]	2.84[c]
สี	3.88[a]	3.40[a]	2.84[b]	2.41[bc]	2.08[c]
คุณภาพโดยรวม	3.84[a]	3.56[a]	3.00[b]	2.72[b]	2.64[b]

[a,b,c,...] คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นจากการทดแทนใยอาหารผงในแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังแฮมเบอร์เกอร์พบว่าการทดแทนใยอาหารที่ร้อยละ 3 เป็นปริมาณที่เหมาะสมทั้งนี้เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการทดแทนปริมาณใยอาหารผงให้ได้มากที่สุด ในขณะที่คุณภาพทางด้านสี เนื้อสัมผัสรวมทั้งยังได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทดแทนใยอาหารผงที่ร้อยละ 3 มีค่า Cohesiveness และค่า Springness ไม่ได้แตกต่างจากสูตรควบคุมขณะที่ค่า Hardness มีความแตกต่างเล็กน้อย ส่วนสีของเนื้อขนมปังแม้ว่าจะมีสีเข้มขึ้น แต่จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบให้การยอบรับได้ และจากผลการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในด้าน การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง ความนุ่ม กลิ่นรส ที่ทดแทนใยอาหารผงร้อยละ 3 มีคะแนนความแตกต่างจากสูตรควบคุมเล็กน้อย นอกจากนั้นคุณภาพโดยรวมมีคะแนนเฉลี่ยในระดับปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของหมูเบอร์เกอร์ที่เสริมใยอาหารผง

4.3.5.1 การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์

จากการเสริมใยอาหารผงเพื่อทดแทนเนื้อหมูในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์ เพื่อเป็นแหล่งของใยอาหารและไลโคปีน โดยทำการทดลองใส่ใยอาหารผงลงในส่วนประกอบของหมูเบอร์เกอร์ในปริมาณร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณไลโคปีนโดยทำการเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้ผ่านการทอด พบว่าในผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังคงมีสารไลโคปีนเหลืออยู่ แต่ปริมาณไลโคปีนที่เหลือในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงแสดงว่าการทอดใช้อุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ทำให้ไลโคปีนไปสัมผัสกับความร้อนเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียของปริมาณไลโคปีน (Gross, 1977) นอกจากนี้มีปริมาณไลโคปีนบางส่วนที่ละลายไปกับน้ำมันที่ใช้ในการทอด จึงมีผลทำให้ปริมาณของไลโคปีนมีค่าลดลงหลังการทอด (ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณไลโคปีนในหมูเบอร์เกอร์ที่ร้อยละต่างๆ ของใยอาหารผงที่ทดแทนเนื้อหมู

ร้อยละใยอาหาร	ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างก่อนทอด (มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 100 กรัม)	ปริมาณไลโคปีนในตัวอย่างหลังทอด (มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 100 กรัม)
1	3.86^{e}	2.75^{e}
2	6.48^{d}	4.91^{d}
3	9.44^{c}	7.07^{c}
4	14.69^{b}	10.15^{b}
5	17.70^{a}	13.56^{a}

$^{a,b,c...}$ คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.5.2 การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของหมูเบอร์เกอร์

ทำการทดลองเสริมใยอาหารผงลงในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์ โดยแปรปริมาณใยอาหารผงในสูตรเป็นร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 ของปริมาณหมูในสูตร และทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.12) ซึ่งจะประเมินความแตกต่างทางด้านรสชาติ (taste) ความชุ่มน้ำ(juiceness) ความแน่นเนื้อ (firmness) คุณภาพโดยรวม (overall qualities) โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 25 คน ใช้แบบทดสอบแบบ 5-Point hedonic scale ที่ระดับคะแนนในช่วง 1-5 โดยคะแนนที่ 1 หมายถึงหมูมีความแตกต่างจากสูตรควบคุมมากที่สุด และคะแนนที่ 5 หมายถึงหมูไม่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุม เมื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การเพิ่มใยอาหารผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 1 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุมเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.44-3.92 ในด้านคุณลักษณะทางด้านรสชาติ ความชุ่มน้ำ ความแน่นเนื้อ คุณภาพโดยรวม ส่วนการเพิ่มใยอาหารผงร้อยละ 4 และ 5 จะมีความแตกต่างจากสูตรควบคุมค่อนข้างมาก ในด้านคุณลักษณะทางด้าน รสชาติ ความชุ่มน้ำ ความแน่นเนื้อ คุณภาพโดยรวมซึ่งจะมีค่าลดลง โดยผู้ทดสอบได้ให้คำแนะนำไว้ว่า หมูเบอร์เกอร์ที่มีการเติมใยอาหารผงร้อยละ 4 และ 5 จะมีรสชาติเปรี้ยว ความแน่นเนื้อกระด้าง เนื้อหมูไม่เกาะตัว ส่งผลให้คุณภาพโดยรวมลดลง ดังนั้นเมื่อพิจารณาคุณลักษณะในด้านต่างๆทำให้สามารถเติมใยอาหารผงได้ไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งมีคะแนนของผู้ทดสอบด้านคุณภาพโดยรวมอยู่ในช่วง 3.36-3.76 และพบว่าการเติมใยอาหารผงมากกว่าร้อยละ 3 ทำให้คุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์ลดลง

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของหมูเบอร์เกอร์

คุณลักษณะ	ปริมาณของใยอาหารผง(ร้อยละ)				
	1	2	3	4	5
รสชาติ	3.76^{a}	3.48^{a}	3.60^{a}	2.76^{b}	2.68^{b}
ความชุ่มน้ำ	3.80^{a}	3.80^{a}	3.48^{a}	2.76^{b}	2.60^{b}
ความแน่นเนื้อ	3.92^{a}	3.64^{ab}	3.44^{abc}	3.24^{bc}	3.00^{c}
คุณภาพโดยรวม	3.76^{a}	3.48^{a}	3.36^{a}	2.60^{b}	2.24^{b}

$^{a,b,c,\ldots}$ คือตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ดังนั้นจากการทดแทนใยอาหารผงในเนื้อหมูในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์พบว่า การทดแทนใยอาหารที่ร้อยละ 3 เป็นปริมาณที่เหมาะสมทั้งนี้เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการทดแทนปริมาณใยอาหารผงให้ได้มากที่สุด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด และจากผลการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในด้าน ความแน่นเนื้อของเนื้อหมู ความชุ่มน้ำ และรสชาติ ที่ทดแทนใยอาหารผงร้อยละ 3 มีคะแนนความแตกต่างจากสูตรควบคุมเล็กน้อย นอกจากนั้นคุณภาพโดยรวมมีคะแนนอยู่ในช่วง 3.36-3.76 ซึ่งเป็นคะแนนเฉลี่ยในระดับปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณในขนมปังแฮมเบอร์เกอร์และหมูเบอร์เกอร์ที่เสริมใยอาหารผงร้อยละ 3

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณในขนมปังแฮมเบอร์เกอร์นั้นพบว่าในผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสารอาหารเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าปริมาณโปรตีน ใยอาหาร และเถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นจากขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่มีการเสริมใยอาหาร พบว่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 6.50 เป็น 8.25 โดยปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากส่วนของเมล็ดมะเขือเทศ (Brodowski and Geisman, 1980) และปริมาณใยอาหารเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 6.42 เป็น 8.64 โดยปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้นอาจมาจากส่วนของเปลือกมะเขือเทศ ดังตารางที่ 4.13

สำหรับองค์ประกอบโดยประมาณในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์เสริมใยอาหารผง โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับหมูเบอร์เกอร์สูตรควบคุม พบว่าผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์เสริมใยอาหารผงที่ได้มีปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุม โดยมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12.80 เป็นร้อยละ 14.32 และปริมาณใยอาหารในหมูเบอร์เกอร์สูตรควบคุมนี้มาจากส่วนประกอบที่เป็นผัก ได้แก่ หอมหัวใหญ่ เมื่อทำการเสริมใยอาหารผงเข้าไปจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีใยอาหารเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 3.72 เป็นร้อยละ 6.34 ดังตารางที่ 4.13 ซึ่งปริมาณโปรตีนและใยอาหารที่เพิ่มจากการเสริมใยอาหารผงนี้ จะเป็นการช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์ ซึ่งจัดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมดังนั้นการเสริมใยอาหารผงในผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคที่มีความใส่ใจในเรื่องสุขภาพ โดยผลิตภัณฑ์เสริมใยอาหารผงนอกจากจะเป็นการเพิ่มปริมาณใยอาหาร และโปรตีน แล้วยังมีสารสำคัญที่มีประโยชน์มากคือ สารไลโคปีน ซึ่งเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ที่สามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์แฮมเบอร์เกอร์เสริมใยอาหารผงร้อยละ 3

ผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	ความชื้น	โปรตีน	ใยอาหารทั้งหมด	ไขมัน	เถ้า
ขนมปังเบอร์เกอร์ (สูตรควบคุม)	21.57	6.50	6.42	8.33	1.28
ขนมปังเบอร์เกอร์ (เสริมใยอาหาร)	24.93	8.25	8.64	7.58	1.37
หมูเบอร์เกอร์ (สูตรควบคุม)	44.07	12.80	3.72	25.64	3.08
หมูเบอร์เกอร์ (เสริมใยอาหาร)	44.56	14.32	6.34	22.83	3.31

รูปที่ 4.4 ผลิตภัณฑ์แฮมเบอเกอร์ที่เสริมใยอาหารผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเปลือกและเมล็ดมะเขือเทศที่เหมาะสมต่อการผลิตใยอาหารผง โดยคำนึงถึงปริมาณโปรตีน ใยอาหารทั้งหมด ไลโคปีน ประกอบกับการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการอบ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบคือ 55 °ซ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งใยอาหารผงที่ได้มีปริมาณความชื้น เส้นใยหยาบ เส้นใยอาหาร โปรตีน ไขมัน และเถ้า ร้อยละ 4.87 38.27 61.03 25.67 16.54 และ 3.29 ตามลำดับ และมีปริมาณไลโคปีนเท่ากับ 25.86 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ค่าสี L* a* b* เท่ากับ 59.49 16.70 และ 37.16 ตามลำดับ ส่วนค่าความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 6.60 กรัมน้ำต่อกรัมใยอาหารและ 2.34 กรัมน้ำมันต่อกรัมใยอาหาร ตามลำดับ

จากการประยุกต์ใช้ใยอาหารผงที่ได้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแฮมเบอร์เกอร์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าสามารถทดแทนใยอาหารผงได้ไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งขนมปังที่ได้มีคุณภาพทางด้านสี เนื้อสัมผัสที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบ ถึงแม้ว่าสีของเนื้อขนมปังจะมีสีเข้มขึ้น แต่จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบยังให้การยอบรับได้ และจากการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 8.25 เส้นใยหยาบร้อยละ 8.64 และปริมาณไลโคปีนเท่ากับ 6.52 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม และพบว่าการเสริมใยอาหารผงดังกล่าวมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยขนมปังแฮมเบอร์เกอร์ที่มีการเสริมใยอาหารผงที่ร้อยละเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ขนมปังมีความแข็งมากขึ้น ความนุ่มลดลง ค่าการยืดเกาะของโครงสร้างลดลง ส่วนค่าการคืนกลับขนาดเดิมไม่มีความแตกต่างจากสูตรควบคุม

จากการประยุกต์ใช้ใยอาหารผงที่ได้ในผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์พบว่าสามารถทดแทนใยอาหารผงได้สูงสุดไม่เกินร้อยละ 3 ซึ่งจากผลการทดสอบการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสในด้านความแน่นเนื้อ ความชุ่มน้ำและรสชาติที่ได้ มีความแตกต่างจากสูตรควบคุมเพียงเล็กน้อย และจากการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 14.32 เส้นใยหยาบร้อยละ 6.34 และปริมาณไลโคปีนเท่ากับ 7.07 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1.สามารถนำใยอาหารผงที่ได้มาเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี ได้แก่ คุกกี้ ขนมปังโฮลวีท เป็นต้น และผลิตภัณฑ์เนื้อ ได้แก่ ไส้กรอก หมูยอ ลูกชิ้น เป็นต้น

2.ใยอาหารผงที่ได้สามารถนำไปใช้เพิ่มสีสันให้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้

3.ใยอาหารผงที่ได้ควรเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิด เพื่อป้องกันแสงแดดและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำตลอดเวลาเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จินตนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2527. เบเกอรีเทคโนโลยีเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: กรุงสยามการพิมพ์.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2545. อาหารเส้นใยสูง. *อาหาร*. 32(3) หน้า : 157-159.

ทวีทอง หงษ์วิวัฒน์. 2546. อาหารเส้นใยสูง. กรุงเทพฯ: แสงแดด.

นิธิมา อรรถวานิช และปราณี อ่านเปรื่อง. 2546. เส้นใยอาหารจากหัวกระเทียม. *อาหาร*. 33(4) หน้า : 283-291.

ประภาศรี ภูวเสถียร, อุรุวรรณ วลัยพัชรา และรัชนี คงคาฉุยฉาย. 2533. ใยอาหารในอาหารไทย. *โภชนาการสาร*. 24(2) : 43-53.

เยาวลักษณ์ สุรพันธรพิศิษฐ์. 2536. เทคโนโลยีเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สันทนา อมรไชย. 2537. ใยอาหาร. *กรมวิทยาศาสตร์บริการ*. 42(145) : 27-33.

สิขรินทร์ ก้อนในเมือง และปราณี อ่านเปรื่อง.2546. ใยอาหารผงจากหัวกระเทียมและการประยุกต์. *อาหาร*. 33(1) หน้า : 111-118.

Al-Wandawi, H., Abdul-Rahman, M. and Al-Shaikhly, K. 1985. Tomato processing waste as essential raw materials source. *J. Agric. Food Chem*. 33 : 804-807.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC international. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Garthersburg, Maryland.

Auffret, A., Ralet, M-C., Guillon, F., Barry, J-L. and Thibauly, J-F. 1994. Effect of Grinding and Experimental Conditions on the Measurement of Hydration of Dietary Fibres. *Lebensmittel-Wissenschaft and-Technologie*. 27(2) : 166-172.

Ben-Gera, I. and Kramer, A. 1969. The utilization of food industries waste. *Adv. Food Res*. 17:77-135.

Beerh, O.P. and Siddappa, G.S. 1959. A rapid spectrophotometric method for the detection and estimation of adulterants in tomato ketchup. *Food tech*. 13 : 414-418.

Boileau, A.C., Merchen, N.R., Wasson, K., Atkinson, C.A. and Erdman, J.W. 1999. Cis-lycpopene is more bioavailable than trans-lycopene in vitro and in lymphcannulated ferrests. *J.Nut* 129: 1176-1181.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Brodowski, D., and Geisman, J. R. 1980. Protein content and amino acid composition of protein of seed from tomatoes of varicus stage of ripeness. *J. Food.Sci.* 45:228-229,235.

Burton, G.W. and Inglod, K.U. 1984. β-carotene: an unusual type of lipid antioxidant.*Science.* 224 : 569-573.

Cole, E.R. and Kapur, N.S. 1957a. The stability of lycopene. I. Degradation by oxygen.*J. Sci. Food Agric.* 8 : 360-365.

Colditz, G.A., Branch, L.G. and Lipnic, R.J. 1985. Increased green and yellow vegetables intake and lowered cancer death in an elderly population. *Am. J.Clin. Nutr.* 41 : 6-32.

Curl, A.L. 1961. The xanthophylls of tomatoes. *J. Food Sci.* 26 : 106-111.

Dorgan, J.F., Sowell, A., Swanson, C.A., Potischman, N., Miller, R., Schussler, N. and Stephenson, H.E. 1998. Relatioships of serum carotenoids, retinol, retinol, α- tocopherol and selenuin with breast cancer risk : results from a prospective study in Columbia, Missouri (United States). *Cancer Causes Control.* 9 : 89-97.

Foote, C.S. and Denny, R.W. 1968. Chemistry of singlet oxygen. VII. Quenching by β-carotene. *J.Am. Chem.* Soc. 90 : 6233-6235.

Franceschi, S., Bidoli, E., La Vecchia, C., Talamini, R., D'Avanzo, B. and Negri, E. 1994. Tomatoes and risk of digestive-tract cancers. *Int. J. Cancer.* 59 : 181-184.

Giovannucci, E., Ascherio, A., Rimm, E.B., Stampfer, M.J., Colditz, G.A. and Willett, W.C. 1995. Intake of carotenoids and retonol in relation to risk of prostate cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 87 : 1767-1776.

Gould, W.V. 1992. *Tomato Production, Processing, and Technology*. Baltimore : CTI Publications.

Gross, J. 1977. Carotenoid Pigments in Citrus. *In* Citrus Science and Technology, Vol 1. *Nagy*, S., Shaw, P. E. and Veldhuis, M. K. (Eds.) *Westport, Connecticut : AVI Publishing Co.* p 347-348.

Gross, J. 1987. *Pigments in Fruits*. London : Academic Press.

http://www.agric-prod.mju.ac.th

http://www.fascino.co.th

http://www.gpo.or.th/rdi/html

http://www.poultryscience.org

http://www.thaihealth.into/samunpai 18 .htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

King, J.P.K., Zimmet, L.R. and Pargeter, V. 1984. Ethenic differences in susceptibility to non-insulin dependent diabetes. A Comparative Study of Two Urbanized micronesian Population Diabetes. FSTA Krinsky, N.I., Russett, M.D., Handeman, G.J. and Snodderly, D.M. 1990. Structural and germetrical isomers of carotenoids in human plasma. *J. Nutr.* 120 : 1654-1662.

Koskitalo, L.N. and Ormrod, D.P. 1972. effects of sub-optimal ripening temperature on the color quality and pigment composition of tomato fruit. *J. Food Sci.* 37:56-59.

Krinsky, N. I., Russett, M.D., handeman, G.J. and Snodderly, D.M. 1990. Structural and germetrical isomers of carotenoids in human plasma. *J. Nutr.* 120: 1654-1662.

Larrauri, J.A. 1999. New approaches in the preparation of high dietary fiber powders from fruit by-products. *Trends in Food Sci. and Technol.* 10 : 3-8.

Levy, J., Bisin, E., Feldman, B., Giat, Y., Minster, A., Danilenko, M. and Sharoni, Y. 1995. Lycopene is an more potent inhibitor of human cancer cell proliferation then either α-carotene or β-carotene. *Nutr. Cancer.* 24 : 257-266.

Mangels, A.R., Holden, J.M., Beecher, G.R., Forman, M. and Lanza, E. 1993. Carotenoid content of fruits and vegetables : An evaluation of analytical data. *J. Am. Dietet. Assn.* 93 : 284-296.

Morrison, W. R. 1976. Lipids in flour, dough and bread. *Baker Digest*, 50:29-31.

Miki, N. and Akatsu, K. 1970. Effect of heating sterilization on color of tomato juice. Nippon Shok. *Kogyo Gakk.* 17 : 175-181.

Monselise, J.J. and Berk, Z. 1954. Some observations on the oxidative destruction of lycopene during the manufacture of tomato pure. *Bull. Res. Counc. Israel.* 4 : 188-191.

Muller, C.H. 1940. A version of the genus lycopene. U.S. Dept. Agr. Mise. Pub. 382,28pp.

Nguyen, M.L. and Schwartz, S.J. 1998. Lycopene stability during food processing. Proc. Soc. Exp. Med. 218(2) : 101-105.

Nguyen, M.L. and Schwartz, S.J. 1999. Lycopene : chemical and biological properties. *Food Technol.* 53(2) : 38-45.

Peng, Y.M., Peng, Y.S., Chiders, J.M., Hatch, K.D., Roe, D.J., Lin, Y. and Lin, P. 1998. Concentrations of carotenoids, tocopherols and retinol in paired plasma and cervical tissue of patients with cervical cancer, precancer and noncancerous diseases, *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.* 7 : 347-350.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Persia, M. E., Parsons, C. M., Schang, M. and Azcona, J. 2003. Nutritional Evaluation of Dried Tomato Seed. *Poultry Science*. 82:141-146.

Prince, M.R., Frisoli, J.K. and Goetschkes, M.M. 1991. Rapid serum carotene loading with high-dose β-carotene : clinic implications. *J. Cardiovasc. Pharmacol.* 17 : 343-347.

Rao, A.V., Waseem, Z. and Agarwal, S. 1998. Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. *Food Res.* Int. 31(10) : 737-741.

Rock, C.L. and Swendseid, M.F. 1992. Plasma β-carotene response in humans after meals, supplemented with dietary pectin. *Am. J. Clin. Nutr.* 55 : 96-99.

Sakamoto, J., Mori, H., Ojima, F., Ishiguro, Y., Arimoto, S., Imae, Y., Nanba, T., Ogawa, M. and Fukuba, H. 1994. Elevation of serum carotenoids after continual ingestion of tomato juice. *J. Japan Soc. Nutr. Food Sci.* 47 : 93-99.

Sathe, S.K. and Salunkhe, D.K. 1981. Functional Properties of Great Northern Bean (Phaseolus vulgaris L.) Proteins : Emulsions, Foaming, Viscosity and Gelation Properties. *J. Agric.Food.* 46 : 71-74, 81.

Schierle, J., Bretzel, W., Buhler, I., Faccin, N., Hess, B., Steiner, K. and Schuep, W.1996. Content and isomeric ratio of lycopene in food and human blood plasma. *Food Chem.* 59(3) : 459-465.

Schneeman, B.O. 1986. Dietary fiber. *Food technol.* 43(10): 651-683.

Shi, J., Le Maguer, M., Kakuda, Y. and Liptay, A. 1999. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Res. Intl.* 32(1) : 15-21.

Shi, J. and Le Maguer, M. 2000. Lycopene in Tomatoes : Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 40(1) : 1-42.

Sogi, D.S., Bhatia, R., Gary, S.K. and Bawa, A.S. 2005. Biological evaluation of tomato waste seed meal and protein concentrate. Food Chem. 89: 53-56.

Stahl, W. and Sies, H. 1992. Cis-trans isomers of lycopene and beta-carotene in human serum and tissue. *Arch. Biochem. Biophys.* 294(1) : 173-177.

Thamthanaruk, B. 1996. Study on dietary fiber source in Thailand and its application. Bangkok: Mahidol University.

USDA. 1998. USDA-NCI carotenoid database for U.S. food. *Nutrient Bato Lab., Agric. Res. Service.* U.S. : U.S. Dept. of agriculture, Beltsville Human Nutrition Rasearch Center, Riverdate, Md.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Variya, P.S. and Bandyopadhyay, C. 1990. On the carotenoids of ripened pepper berries (*Piper Nigrum* L.) *J. Food Sci. Technol.* 27(5) : 294-295.

Wang, C. J., Chou, M. Y. and Lin, J.K. 1989. Inhibition of growth and development of the transplantable C06 glioma cells inoculated in rats by retinoids and carotenoids. *Cancer Lett.* 48 : 135-142.

Zhang, L.X., Cooney, R.V. and Bertram, J.S. 1992. Carotenoids up-regulate connexin-43 gene expression independent of their provitamin-A or antioxidant properties. *Cancer Res.* 52: 5707-5712.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน
2. เดซิเคเตอร์
3. ภาชนะอลูมิเนียม
4. ปากคีบ
5. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. อบภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝา ที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนักภาชนะอลูมิเนียมพร้อมฝา จดบันทึกน้ำหนักไว้
4. นำไปอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่
5. ชั่งตัวอย่างใยอาหาร 2-5 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียม
6. นำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
7. ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกไว้
8. นำไปอบซ้ำอีก 3 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ โดยที่น้ำหนักแห้งที่ชั่งได้ 2 ครั้งติดกัน มีน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 3-5 มิลลิกรัม

วิธีคำนวณ

$$\text{ร้อยละความชื้นในตัวอย่างใยอาหาร} = \frac{(A-B) \times 100}{C}$$

A คือ น้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียมกับน้ำหนักตัวอย่างใยอาหารก่อนอบ เป็นกรัม

B คือ น้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียมกับน้ำหนักตัวอย่างใยอาหารหลังอบ เป็นกรัม

C คือ น้ำหนักตัวอย่างใยอาหารก่อนอบ เป็นกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องสกัดไขมัน Soxtherm apparatus
2. ทิมเบิล
3. กระดาษกรอง
4. บีกเกอร์ของชุด Soxtherm
5. ตู้อบลมร้อน
6. ปากคีบ
7. เดซิเคเตอร์
8. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. ล้างทำความสะอาดบีกเกอร์ แล้วอบประมาณ 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกไว้
2. นำไปอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่
3. ใช้ตัวอย่างใยอาหารที่ผ่านการวิเคราะห์หาความชื้นมาแล้ว 2-5 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในกระดาษกรองเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของตัวอย่างแล้วบรรจุลงในทิมเบิล ปิดทิมเบิลด้วยสำลีที่ปราศจากไขมัน
4. นำทิมเบิลใส่ลงใน Soxhlet tube
5. เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาณมากเกินพอลงในบีกเกอร์
6. นำชุดบีกเกอร์ไปประกอบกับเครื่องสกัดไขมัน
7. ในการสกัดต้องให้ความร้อนแก่ Soxhlet tube โดยปรับความร้อนจนปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหยเป็นไอและควบแน่นหยดลงตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เมื่อสกัดเสร็จแล้วให้ระเหยตัวทำละลายออก
8. นำบีกเกอร์ที่มีสารสกัดไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 100 °ซ ประมาณ 30 นาที จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักของบีกเกอร์อีกครั้ง แล้วคำนวณหาน้ำหนักที่หายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณไขมัน} = \frac{(B-A) \times 100}{W}$$

A คือ น้ำหนักของบีกเกอร์เป็นกรัม

B คือ น้ำหนักของบีกเกอร์และไขมันเป็นกรัม

W คือ น้ำหนักของตัวอย่างเป็นกรัม

3. การวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องมือชุดวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร
2. ครูซิเบิล
3. ตู้อบลมร้อน
4. เดซิเคเตอร์
5. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
6. ถ้วยแก้ว
7. ปากคีบ
8. เตาเผา

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1.25
3. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25
4. อะซิโตน
5. ออกทานอล

วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วยแก้วให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึก
2. ใช้ตัวอย่างใยอาหารที่ผ่านการวิเคราะห์ไขมันแล้วประมาณ 1 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ในถ้วยแก้ว ชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกไว้
3. นำถ้วยแก้วใส่ลงในเครื่องมือชุดวิเคราะห์ปริมาณใยอาหาร
4. เติมกรดซัลฟิวริกที่ทำให้ร้อนลงในที่แก้วเครื่องควบแน่น
5. หยดสารกำจัดฟอง 3-5 หยด ต้มให้เดือดนานประมาณ 30 นาที
6. กรองเอาสารละลายออก แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง
7. กรองโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อนลงในท่อแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หยดสารกำจัดฟอง 3-5 หยด ต้มให้เดือดนานประมาณ 30 นาที
9. กรองเอาสารละลายออก แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน 3 ครั้ง
10. ล้างด้วยน้ำกลั่นเย็น 1 ครั้ง
11. ล้างด้วยอะซิโตน 3 ครั้ง
12. นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ นานประมาณ 1 ชั่วโมง
13. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยแก้ว
14. อบครูซิเบิลให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึก
15. นำตัวอย่างใยอาหารที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ มาใส่ครูซิเบิล
16. นำครูซิเบิลไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °ซ นานประมาณ 3 ชั่วโมง
17. ทิ้งให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักของเถ้า

วิธีคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเส้นใยอาหารหยาบ} = \frac{(F_1-F_2) \times 100}{F_0}$$

F_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างใยอาหารหลังอบ ที่อุณหภูมิ 550 °ซ นาน 3 ชั่วโมง (เถ้า) เป็นกรัม

F_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างใยอาหารและถ้วยแก้วก่อนอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ นาน 1 ชั่วโมงเป็นกรัม

F_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างใยอาหารและถ้วยแก้วหลังอบที่อุณหภมิ 105 °ซ นาน 1 ชั่วโมงเป็นกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ครูซิเบิล
2. ปากคีบ
3. เตาเผา
4. เดซิเคเตอร์
5. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
6. กระดาษกรองชนิดไร้เถ้า
7. ตู้อบลมร้อน
8. Hood
9. Hot plate

วิธีการวิเคราะห์

1. นำครูซิเบิลไปอบในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกน้ำหนักไว้
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใยอาหาร 2-5 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) ใส่ในกระดาษกรองไร้เถ้าใส่ลงในครูซิเบิล
3. นำครูซิเบิลที่มีตัวอย่างไปเผาบน Hot plate ใน Hood จนหมดควัน
4. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนได้เถ้าสีขาวหรือสีเทา (ก่อนเอาออกจากเตาเผาควร ให้อุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 130 °ซ) ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึก

วิธีคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W}$$

W คือ น้ำหนักตัวอย่างใยอาหาร เป็นกรัม

W_1 คือ น้ำหนักครูซิเบิล เป็นกรัม

W_2 คือ น้ำหนักครูซิเบิลและเถ้า เป็นกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. หลอดย่อยและกลั่นโปรตีน
3. เครื่องวิเคราะห์โปรตีน
4. บิวเรตต์ขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร (Erlenmeyer flask)
6. Glasses beads

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
2. สารละลายกรดบอริกร้อยละ 4
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.0138 gN/ml
4. คะตะลิสต์ผสม
5. อินดิเคเตอร์
6. น้ำกลั่น

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใยอาหาร 1 กรัม ลงใน Kjeldahl flask อย่าให้ตัวอย่างเลอะคอขวด
2. เติมคะตะลิสต์ 7 กรัม กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร และ Glasses beads ลงไป
3. นำ Kjeldahl flask ใส่ในชุดย่อยโปรตีน ย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส ทิ้งให้เย็น
4. ใส่สารละลายกรดบอริกร้อยละ 4 ลงใน Erlenmeyer flask ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่หยดอินดิเคเตอร์ลงไป 2-3 หยด แล้วนำไปวางไว้ใต้เครื่องกลั่น
5. นำ Kjeldahl flask ที่ย่อยเสร็จแล้วไปใส่ในเครื่องกลั่นโปรตีน เติมน้ำกลั่นในตัวอย่างประมาณ 30 มิลลิลิตร (ตั้งโปรแกรมจากเครื่อง) ทำการกลั่นโดยตั้งเวลาไว้ 5-7 นาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริกร้อยละ 4 กลั่นจนได้สารละลายสีฟ้าใสใน Erlenmeyer flask ประมาณ 200 มิลลิลิตร
6. นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกจนถึงจุดยุติ คือ สารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าใสเป็นสีชมพูอ่อน
7. ทำการทดลองกับแบลงค์เหมือนกับตัวอย่าง โดยแบลงค์ใช้น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ใส่แทนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีคำนวณ

$$\text{ร้อยละของโปรตีน} = \frac{(A-B) \times C \times 6.25 \times 100}{D}$$

A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง เป็นมิลลิลิตร

B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ เป็นมิลลิลิตร

C คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก

D คือ น้ำหนักของตัวอย่างใยอาหารที่ใช้วิเคราะห์

6. การวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน (Beerh and Siddappa, 1958)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
2. กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
3. Spectrophotometer
4. หลอดทดลอง
5. หลอดหยด

สารเคมี

อะซิโตน

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใยอาหารผง 0.5 กรัม ใส่ลงในกรวยแยก
2. เติมอะซิโตนปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. เขย่าเป็นเวลา 10 นาที
4. ทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้น
5. เก็บส่วนใสของอะซิโตนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร โดยใช้ อะซิโตนเป็นแบลงค์

วิธีคำนวณ

$$A = \varepsilon bc$$

A คือ absorbance

b คือ ความยาวของสารละลายตัวอย่างที่แสงผ่านทะลุ เท่ากับ 1 เซนติเมตร

c คือ ความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์

ε คือ ค่า extinction coefficient เท่ากับ 18.6×10^4 ลิตร/โมล/เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงหน้าที่

1. การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Auffret et al., 1994)

อุปกรณ์

1. เครื่องหมุนเหวี่ยง
2. หลอดสำหรับปั่นเหวี่ยง
3. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. ตู้อบลมร้อน
5. magnetic stirrer
6. เดซิเคเตอร์

สารเคมี

น้ำ deionized

วิธีการวิเคราะห์

1. อบหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยง ที่อุณหภูมิ 70 °ซ จนได้น้ำหนักคงที่
2. นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยง จดบันทึกน้ำหนักไว้
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.25 กรัม ละลายในน้ำ deionized 50 มิลลิลิตร
5. กวนด้วย magnetic stirrer นาน 5 นาที
6. นำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 x g นาน 20 นาที
7. เทส่วนใสทิ้ง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างเปียก
8. นำตัวอย่างไปอบแห้งที่ 105 °ซ นาน 5 ชั่วโมง
9. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ

วิธีคำนวณ

$$\text{ความสามารถในการอุ้มน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำมัน (Sathe and Salunkhe, 1981)

อุปกรณ์

1. เครื่องหมุนเหวี่ยง
2. หลอดสำหรับปั่นเหวี่ยง
3. เครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. ตู้อบลมร้อน
5. Vortex mixer
6. เดซิเคเตอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. อบหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยง ที่อุณหภูมิ 70 °ซ จนได้น้ำหนักคงที่
2. นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยง จดบันทึกน้ำหนักไว้
4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในหลอดสำหรับเหวี่ยงแยก
5. เติมน้ำมันพืช 10 มิลลิลิตร ผสมด้วย vortex mixer นาน 30 นาที
6. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที
7. นำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 3,000 x g นาน 30 นาที
8. รินส่วนใสออก คว่ำหลอดทิ้งไว้ 15 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ดูดน้ำมันไว้

วิธีการคำนวณ

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ดูดน้ำมันไว้} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
การตรวจสอบทางเนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์ด้านเนื้อสัมผัส

อุปกรณ์

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ของ LLOYD

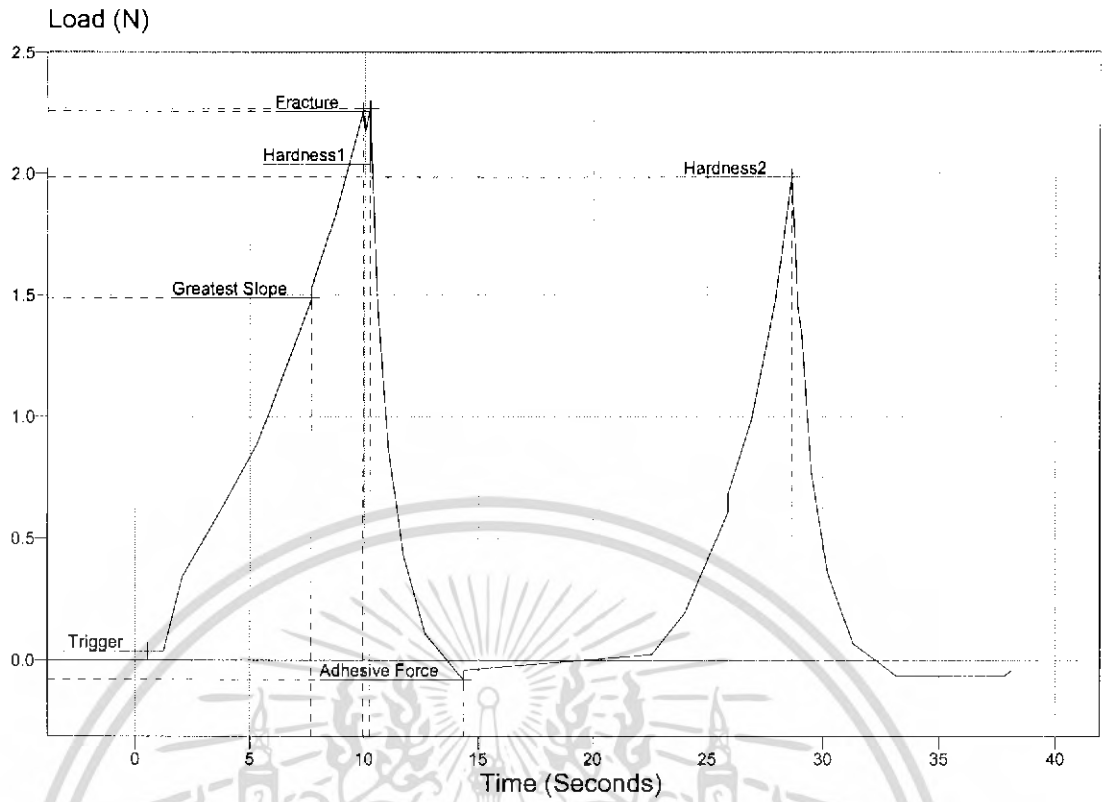
วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องวัดเนื้อสัมผัสและคอมพิวเตอร์
2. ต่ออุปกรณ์ และโพรบเข้ากับตัวเครื่อง โดยใช้โพรบขนาด 10 มิลลิเมตร
3. เข้าโปรแกรมการวัดเนื้อสัมผัส
4. เตรียมตัวอย่างที่ต้องการวัดวางลงบนฐานรอง
5. เริ่มทำการวัด โดยให้เครื่องทำการวัดเป็นความสูงร้อยละ 50 ของชิ้นตัวอย่าง
6. บันทึกค่าแรงที่วัดได้ และกราฟที่วัดได้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

ค่าที่อ่านได้	ขนมปังเสริมใยอาหารผงร้อยละ 3
Hardness1 (N)	2.269065
Hardness2 (N)	1.985791
Area1 (kgf.mm)	0.627084
Area2 (kgf.mm)	0.213213
Cohesiveness	0.340006
Springiness (mm)	4.955863
Springiness Index	0.647124
Gumminess (gf)	78.64386
Chewiness (Nmm)	3.82343
Fracture Force (N)	2.257971
Adhesive Force (gf)	8.006271
Adhesiveness (kgf.mm)	0.001786
Stiffness (kN/m)	0.510453

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 กราฟจากเครื่องวัดเนื้อสัมผัสของขนมปังเสริมใยอาหารผงร้อยละ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

การตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์ขนมปังแฮมเบอเกอร์เสริมใยอาหารผง

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ผลิตภัณฑ์.....

ท่านได้รับตัวอย่าง .....เพื่อเปรียบเทียบลักษณะความแน่นเนื้อ ความฉ่ำเนื้อ กลิ่นรสชาติ คุณภาพโดยรวมทั้งหมด โดยท่านจะได้รับตัวอย่างมาตรฐานที่ให้อักษร R เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ให้รหัส ทดสอบแต่ละตัวอย่างและให้ระดับความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐานแล้วให้คะแนนคุณภาพด้านต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยกำหนดคะแนนดังต่อไปนี้

5 = ไม่มีความแตกต่าง 4 = แตกต่างจาก R เล็กน้อย

3 = แตกต่างจาก R ปานกลาง 2 = แตกต่างจาก R มาก

1 = แตกต่างจาก R มากที่สุด

ตัวอย่าง	การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง	ความนุ่มของเนื้อขนมปัง	กลิ่นรส	สี	คุณภาพโดยรวม
123					
134					
145					
156					
167					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์หมูเบอร์เกอร์เสริมใยอาหารผง

ชื่อผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ผลิตภัณฑ์.....

ท่านได้รับตัวอย่าง.....เพื่อเปรียบเทียบลักษณะความนุ่มเนื้อ การเกาะตัวเป็นก้อน รสชาติ คุณภาพโดยรวม โดยท่านจะได้รับตัวอย่างมาตรฐานที่ให้อักษร R เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ให้รหัส ทดสอบแต่ละตัวอย่างและให้ระดับความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐานแล้วให้คะแนนคุณภาพด้านต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยกำหนดคะแนนดังต่อไปนี้

5 = ไม่มีความแตกต่าง 4 = แตกต่างจาก R เล็กน้อย

3 = แตกต่างจาก R ปานกลาง 2 = แตกต่างจาก R มาก

1 = แตกต่างจาก R มากที่สุด

ตัวอย่าง	ความชุ่มน้ำ	ความแน่นเนื้อ	รสชาติ	คุณภาพโดยรวม
125				
213				
318				
453				
561				

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้