

ผลของสมุนไพรไทยต่อการยืดอายุน้ำมันทอด

Effects of Thai herbs on shelf life extension of frying oils

คำนำ

จากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และการเปลี่ยนแปลงทางด้านสังคมและวัฒนธรรมอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน รวมถึงการพัฒนาไปสู่ประเทศอุตสาหกรรมใหม่ของไทย ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของประชาชน มีการพึ่งพาอาหารจากระบบการตลาดมากยิ่งขึ้น ประกอบกับมีการถ่ายทอดเทคโนโลยี ถ่ายทอดวัฒนธรรมต่างๆ จากต่างประเทศตะวันตก ทำให้พฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชาชนได้เปลี่ยนแปลงไป จากการปรุงอาหารที่บ้านไปเป็นการบริโภคอาหารนอกบ้าน อาหารปรุงสำเร็จ อาหารกึ่งสำเร็จรูปและอาหารจานด่วนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการรับประทานอาหารนอกบ้านหรือการซื้ออาหารสำเร็จรูปมารับประทานจึงเป็นเรื่องปกติในการดำเนินชีวิต ประกอบกับมีร้านอาหารสำเร็จรูปมากมาย หากผู้ประกอบการเหล่านี้ไม่ให้ความสำคัญกับคุณภาพของวัตถุดิบในการปรุงอาหารและการใช้อย่างถูกต้อง โดยคำนึงถึงสุขอนามัยและสุขภาพของผู้บริโภค เช่น การเลือกใช้ชนิดของน้ำมันและระยะเวลาในการทอดอาหารว่าส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการบริโภคอาหาร ปัญหาการนำน้ำมันปรุงอาหารมาใช้ในการทอดอาหารซ้ำหลายครั้ง โดยไม่มีการเปลี่ยนน้ำมันใหม่เป็นเรื่องที่มีการปฏิบัติกันมาช้านาน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้มาจากการเสียดายน้ำมันที่จะใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง จึงเก็บน้ำมันที่ใช้แล้วมาทอดอาหารซ้ำอย่างน้อยหนึ่งครั้ง

การทอดเป็นการแปรรูปอาหารอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งใช้ความร้อนสูง โดยน้ำมันที่ทอดอาหารจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน อาหารที่รับประทานในปัจจุบันโดยเฉพาะอาหารประเภททอด นิยมใช้น้ำมันพืชได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง เป็นส่วนใหญ่ โดยทั่วไปเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนอุณหภูมิสูงประมาณ 170 ถึง 220 องศาเซลเซียส ใช้งานเป็นเวลานานหรือการใช้น้ำมันทอดอาหารหลายๆ ชั่วโมง ความชื้น แสงแดด ความไม่บริสุทธิ์ของน้ำมันและออกซิเจนจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีทางเคมีของไขมันหลายชนิด ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน ซึ่งปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้จะส่งผลให้ไขมันนั้นมีสีดำขึ้น กลิ่นเหม็นหืน จุดเกิดควันต่ำลง มีฟองและเหนียวหนืดขึ้น หากน้ำมันนั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมากเท่าใดการเสื่อมสภาพของน้ำมันจะเร็วขึ้นเท่านั้น จากปฏิกิริยาเหล่านี้ส่งผลให้เกิดสารพิษขึ้นในอาหารหลายชนิด คือ สารอนุมูลอิสระ (free radicals) สารไดออกซิน (dioxin) สารประกอบไนโตรซามีน (nitrosamines) สารประกอบไพโรไลเซส (pyrolysates) สารประกอบกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon) เป็นต้น สารพิษดังกล่าวที่เกิดมากขึ้นซึ่งสามารถปะปนไปกับอาหารและเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้ เช่น ท้องร่วง โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือดซึ่งเป็นสิ่งที่น่าเป็นห่วงในสุขภาพของผู้บริโภคอย่างยิ่ง น้ำมันที่ทอดซ้ำจะเกิดสารพิษขึ้นมี 2 กลุ่มใหญ่ๆ ทั้งฟรีเรดิคัล (free radicals) และสารประกอบกลุ่มไดออกซิน (dioxin) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งทั้งสิ้น สารพิษตัวแรกคือ อนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้เมื่อทอดอาหารที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของไขมันไม่อิ่มตัวจะจับกับออกซิเจนในอาหารเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นแล้วตกตะกอนเป็นเขม่าในน้ำมัน ซึ่งสังเกตจากการเปลี่ยนสีไปของน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำ สีของน้ำมันจะดำคล้ำ มีความหนืดสูงและมีสารปนเปื้อนอื่น ๆ มากขึ้น การเปลี่ยนสีของน้ำมันจากใสเป็นเหลืองและจากสีเหลืองเป็นสีดำมากขึ้น ซึ่งหมายถึงการเกิดสารพิษขึ้นแล้ว สารกลุ่มที่สองคือ ไดออกซินประกอบด้วยโมเลกุลของเบนซิน 2 วงที่เกาะเกี่ยวด้วยอะตอมของคลอรีนอีก 4 ตัว ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรงในอาหาร ปิ้งย่าง ทอด เมื่อถูกความร้อนจัดๆ เกิดเป็นโมเลกุลสารอินทรีย์ เช่น PAH

(polycyclic aromatic hydrocarbon) ซึ่งเป็นสารกลุ่มเดียวกับไดออกซิน (Wetch, 2000) ตัวอย่างสารพิษอื่นๆ เช่น สารมาโลเนดีไฮด์ (Malonedehyde) ทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังของหนูทดลองมีการเจริญเติบโตผิดปกติ ลำไส้ทำงานผิดปกติ ตับ และไตโต โลหิตจาง วิตามินอีในเลือดและตับของหนูทดลองลดลง สารประกอบ 4-hydroxy-2-noenol มีพิษต่อเซลล์ซึ่งก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ได้เช่นกัน เป็นต้น สารประกอบมีขั้วเหล่านี้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอดอาหาร เรียกรวมว่า สารประกอบโพลาร์ทั้งหมด (Total polar compounds) ซึ่งเป็นสารพิษที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ ถ้าสารโพลาร์เกินขีดจำกัดที่มีอันตรายต่อสุขภาพร้อยละ 25-27 ทั้งนี้ ประเทศไทย โดยกระทรวงสาธารณสุข กำหนดให้น้ำมันทอดซ้ำ ต้องมีค่าโพลาร์ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก ผู้ประกอบการอาหารที่ใช้ น้ำมันทอดอาหาร ซึ่งมีค่าโพลาร์เกินร้อยละ 25 จำหน่ายแก่ผู้บริโภค ถือเป็นการจำหน่ายอาหารผิดมาตรฐาน ฝ่าฝืนมาตรา 25(3) ของพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ระวังโทษปรับไม่เกินห้าหมื่นบาท

ปัจจุบันประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในรูปแบบต่าง ๆ มากมายและมีการบริโภคเพิ่มมากขึ้น เพราะเป็นอาหารว่างที่รับประทานง่าย สะดวกในการพกพาและมีหลากหลายรสชาติให้เลือก ซึ่งนับว่ามีบทบาทในวิถีการดำรงชีวิตของผู้บริโภครุ่นใหม่เป็นอย่างยิ่ง โดยสังเกตเห็นได้ว่าการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในร้านค้าทั่วไปจำนวนมาก และมีผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ เข้าสู่ตลาดตลอดเวลา ธุรกิจผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในประเทศไทยมีการขยายตัวกว้างขวางขึ้นทุกปี จากข้อมูลศูนย์สถิติไทย โดยการรายงานของกรุงเทพธุรกิจ (2553) คาดว่าตลาดของขนมขบเคี้ยวในปี 2553 จะเพิ่มจาก 15,200 ล้านบาท ในปี 2552 เป็น 16,600 ล้านบาท หรือขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 9.3 โดยการผลิตขนมขบเคี้ยวกลุ่มที่มีแนวโน้มขยายตัวดีได้แก่ ขนมชิ้นรูป มันฝรั่งทอดกรอบ เนื้อปลาและปลาแซลมอน ถั่ว และสาหร่าย สำหรับทางด้านการส่งออกขนมขบเคี้ยวของไทยนั้น คาดว่ามูลค่าการส่งออกในปี 2553 จะเพิ่มขึ้นเป็น 3,875 ล้านบาท หรือขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 14.6 สำหรับขนมขบเคี้ยวชนิดนี้ ไม่ใช่แต่มันฝรั่งเท่านั้นที่นำมาทำขนมขบเคี้ยวแล้วจำหน่ายดี แต่กล้วยน้ำว้าของคนไทยก็สามารถทำได้เช่นกัน กล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่น่าสนใจยิ่งในปัจจุบัน ผลผลิตกล้วยส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศในรูปของผลไม้สดและผลไม้แปรรูป โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์แปรรูปประเภทกล้วยตากหรือกล้วยอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ผลิตภัณฑ์กล้วยทอดกรอบที่จะใช้วิธีการทอดในน้ำมันท่วม (deep frying) ซึ่งผลิตภัณฑ์กล้วยทอดที่ส่งวางจำหน่ายตามแหล่งต่างๆ มักมีปัญหาของคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงเร็วกว่าที่ควรจะเป็น และน้ำมันที่ใช้ในการทอด

กลิ่นเหม็นหืนหรือที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาออกซิเดชัน” มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งเกิดขึ้นได้ในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บวัตถุดิบ การแปรรูป การให้ความร้อนและในช่วงการเก็บของผลิตภัณฑ์ซึ่งส่วนใหญ่นำไปสู่การไม่ยอมรับการเหม็นหืนของอาหาร ไม่เพียงแต่ทำให้อาหารเสื่อมเสียแต่ยังก่อให้เกิดสารพิษ (toxic byproducts) รวมทั้งปฏิกิริยาการเสื่อมเสียอื่นๆ ด้วยเหตุนี้เราจำเป็นต้องใช้สารกันหืน (antioxidants) เพื่อยืดอายุการเก็บของอาหารที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ แต่เนื่องจากผู้บริโภคยอมรับสารกันหืนที่ได้จากธรรมชาติเช่น เมล็ดองุ่น เครื่องเทศและวิตามินอีที่มีราคาสูงมากกว่าสารที่ได้จากการสังเคราะห์ซึ่งมีราคาถูกกว่า ทั้งที่ความเป็นจริงแล้วพืชผักผลไม้ที่มีอยู่ในประเทศไทยนั้นมีศักยภาพในการนำมาสกัดเป็นสารกันหืนได้ อีกทั้งหาซื้อง่ายราคาถูก นอกจากนี้ยังมีการใช้สมุนไพรในการปรุงอาหารอีกเป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่มีการศึกษาว่าสารประกอบใดที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งทำหน้าที่เป็นสารกันหืนที่มีอยู่ในพืชสมุนไพรเป็นสารประกอบประเภทใดบ้าง

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้มีความคิดที่จะศึกษาหาแนวทางในการพัฒนาการยืดอายุน้ำมันทอดในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวโดยการใช้สมุนไพรไทย เพื่อเป็นการยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับต่อผู้บริโภคต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของชนิด ปริมาณ และอัตราส่วนสมุนไพรต่างๆ ที่เหมาะสมในการยืดอายุน้ำมันทอด
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพของน้ำมันทอดที่ผสมสมุนไพรไทย
3. ศึกษาคุณภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันผสมสมุนไพรที่เหมาะสม

การทบทวนวรรณกรรม

ไขมันและน้ำมันสำหรับทอดอาหาร

น้ำมันที่ใช้สำหรับทอดอาหารที่นิยมใช้กันมาก คือ น้ำมันหมู และน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความนิยมของผู้บริโภค น้ำมันพืชที่บรรจุขวดจำหน่าย เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพด หรือน้ำมันงา นอกจากนี้ยังมีน้ำมันพืชผสมที่บรรจุขวดจำหน่ายด้วย เช่น น้ำมันถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันรำข้าว หรือผสมกับน้ำมันเมล็ดงา เป็นต้น (นิธิยา, 2548)

ในการทอดอาหารไขมันหรือน้ำมันจะเป็นตัวนำความร้อนทำให้อาหารสุก และช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะขณะทอด ทำให้อาหารมีสีและเพิ่มรสชาติ สมบัติของน้ำมันทอดอาหารที่ดีต้องมีความคงตัว มีจุดหลอมเหลวต่ำ ทนทานต่อความร้อนได้ถึงอุณหภูมิประมาณ 162-190 องศาเซลเซียส และต้องมีสมบัติสัมพันธ์กับอาหารที่ใช้ทอด เพราะกลิ่นหรือรสชาติของไขมันหรือน้ำมันจะติดไปกับอาหารที่ทอดแล้ว

การใช้ไขมันหรือน้ำมันในการทอดอาหาร ระหว่างที่น้ำมันได้รับความร้อนและขณะทอดจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ทำให้เกิดการสลายตัวที่มีความซับซ้อนเกิดขึ้นเนื่องจาก thermolytic และ oxidative reaction ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมัน ไขมันและน้ำมันที่ผ่านความร้อนสูงอาจทำให้เกิดความเป็นพิษได้ (toxic effect) นอกจากนี้คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำมันและอาหารที่ทอดในน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับไขมันและน้ำมันในขณะทอดอาหารที่เห็นได้ชัด คือ น้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น จุดเกิดควันลดลง และเกิดฟองมากขึ้น (นิธิยา, 2548)

จุดเกิดควันของไขมันและน้ำมันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณของกรดไขมันอิสระ พื้นที่ผิวของไขมันและน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศขณะทอด ระยะเวลาของไขมันและน้ำมันที่ถูกใช้ทอด และสารอื่นๆที่เจือปนอยู่ในน้ำมัน การที่ไขมันและน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำจะมีอุณหภูมิของจุดเกิดควันสูง และจุดเกิดควันจะลดลงเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันหรือน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังนั้นน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่ผ่านการใช้มาแล้วจึงมีจุดเกิดควันต่างกัน โดยที่น้ำมันที่ผ่านการใช้มาแล้วจะมีจุดเกิดควันต่ำกว่าน้ำมันใหม่ (นิธิยา, 2549) ตาราง 1 แสดงจุดเกิดควันของไขมันและน้ำมันบางชนิด ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการทอดข้าวเกรียบกึ่งด้วยน้ำมันปาล์มเพราะน้ำมันปาล์มทนทานต่อความร้อนได้ดี ไม่สลายตัวเป็นควันที่อุณหภูมิต่ำ (ศรีสุวรรณ, 2547) เหมาะสำหรับการทอดแบบน้ำมันท่วม และช่วยให้อาหารที่ทอดแล้วเกิดการหืนได้ช้า

ตาราง 1 จุดเกิดควันของไขมันและน้ำมันบางชนิด

ชนิดของไขมันหรือน้ำมัน	จุดเกิดควัน (องศาเซลเซียส)
A. Refine oil	
Avocado oil	271
Safflower oil	266
Almond oil	257
Soybean oil	232
Corn oil	232
Sunflower oil	232
Peanut oil	232
Palm oil	230
Cottonseed oil	210
Sesame Seed oil (Light)	210
Canola oil	204
Lard	191
Vetgetable Shortening	163
B. Unrefine	
Sesame Seed oil	177
Olive oil (extra virgin or virgin)	160
Peanut oil	160
Soybean oil	160
Corn oil	160
Sunflower oil	107
Canola oil	107
Safflower oil	107

ที่มา : ศรีสุวรรณ (2547)

น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มได้จากผลปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วยส่วนที่ทำให้ให้น้ำมัน คือเนื้อมากที่เป็นเส้นใยให้น้ำมันปาล์มสีส้มแดง อีกส่วนหนึ่งได้แก่เนื้อในเมล็ดให้น้ำมันเมล็ดปาล์มจัดเป็นผลพลอยได้ มีสีเข้มกว่าน้ำมันมะพร้าวเล็กน้อย ปาล์มน้ำมันเริ่มให้ผลหลังที่ปลูก 4 หรือ 5 ปี และให้ผลผลิตสูงสุดเมื่ออายุ 5 ปี ปลูกมากแถบแอฟริกาตะวันตกซึ่งเป็นถิ่นกำเนิดคือ คองโก ไนจีเรีย แล้วแพร่หลายมาแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คือ มาเลเซีย อินโดนีเซียและจังหวัดภาคใต้ของไทยคือ กระบี่และสตูล ในต่างประเทศได้มีการพัฒนาพันธุ์ติดต่อกันมานับศตวรรษจากพันธุ์พื้นเมืองคือ Dura และ Pisifera จนได้พันธุ์ที่ให้ผลผลิตมากกว่า 2 ตันต่อไร่ (เนื้อทอง, 2546)

น้ำมันปาล์มดิบมีกรดไขมันอิสระสูงโดยเกิดจากเอนไซม์และผลปาล์มเอง จำเป็นต้องป้องกันโดยเมื่อตัดทะลายแล้วควรรีบนำไปสกัดน้ำมัน ผ่านขั้นตอนการทำลายเอนไซม์ น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิ่มตัวคือ ปาล์

มีดิก 44 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันไม่อิ่มตัวคือ โอเลอิก 39 เปอร์เซ็นต์ ใช้ทอดอาหารสำเร็จ ประุงอาหาร และผลิต
 มาการีน ส่วนน้ำมันเมล็ดปาล์มมีกรดไขมันคล้ายน้ำมันมะพร้าวคือ กรดลอริก 46-52 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันไม่
 อิ่มตัวที่มีมากคือ โอเลอิก 10-19 เปอร์เซ็นต์ มักใช้ประโยชน์ทางด้านที่ไม่ใช่อาหาร (เนื้อทอง, 2546) ตารางที่
 2 แสดงชนิดและปริมาณกรดไขมันในน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดปาล์มตามลำดับ

ตาราง 2 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่พบในน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์ม (Kernel)

กรดไขมัน (%)	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันปาล์ม (Kernel)
Caprylic acid	1.4	-
Capric acid	2.9	-
Lauric acid	48.2	50.9
Myristic acid	18.4	1.2
Plamitic acid	8.7	46.8
Stearic acid	1.9	3.8
Oleic acid	14.6	37.5
Linoleic acid	1.2	10.0
Arachidonic acid	-	0.2
Eicosanoic acid	-	0.3

ที่มา : นิธิยา (2549)

คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มมีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์ม

	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันปาล์ม (Kernel)
Iodine Value	43-59	14-20
Acid Value (crude)	15	20
Saponification Value	195-210	240-257
Unsaponification metter%	1%	1%
Specific gravity 25/25 °C	0.893-0.905	0.900-0.913
Refractive Index 25 °C	1.449-1.445	1.449-1.452
Color (Lovibond)*	25Y : 2.5R	10Y : 1R

ที่มา : ไพจิตร (2530)

กระบวนการทอด

กระบวนการทอดเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนที่ใช้มานาน มีวัตถุประสงค์เพื่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร ถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์เอนไซม์ และลดค่า water activity (a_w) ที่ผิวอาหารหรือตลอดชิ้นอาหาร อาหารทอดจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบนอก นุ่มใน หรือกรอบทั้งชิ้น มีกลิ่นรสและลักษณะปรากฏที่ชวนให้รับประทานอาหารซึ่งทอดให้แห้งอย่างทั่วถึง เช่นมันฝรั่งทอดกรอบ ขนมขบเคี้ยวประเภทมันฝรั่ง ขนมขบเคี้ยวประเภทข้าวโพด จะมีอายุการเก็บรักษานานถึง 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง และสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้โดยการใช้บรรจุภัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม (วีไล, 2545)

ในการทอดเมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นไอ อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่าอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส ตัวควบคุมการถ่ายเทความร้อนคือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันและอาหาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิว ส่วนตัวควบคุมการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหารคือ ค่าการนำความร้อนของอาหาร (วีไล, 2545)

อาหารทอดจะมีเปลือกนอกที่มีลักษณะเป็นรูพรุนซึ่งประกอบด้วยท่อแคปิลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากแคปิลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันระหว่างการทอดความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณผิวอาหารและฟิล์มบางๆของน้ำมัน ความหนาของฟิล์มซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลและความร้อนจะถูกกำหนดจากความหนืดและความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำมัน ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมันจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้น (วีไล, 2545)

ส่วนใหญ่แล้วเวลาที่ใช้ในการทอดอาหารขึ้นอยู่กับ ชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีการทอด ความหนาของชิ้นอาหาร และความต้องการในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภค

วิธีการทอดในอุตสาหกรรมอาหารมี 2 วิธี โดยจำแนกตามวิธีการถ่ายเทความร้อน คือ การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) และการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying)

การทอดแบบน้ำมันตื้น

วิธีนี้เป็นการทอดอาหารในกระทะที่มีปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย น้ำมันจะไม่ท่วมชิ้นอาหารทั้งชิ้นเหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น ไช้ เบคอน เบอร์เกอร์ และพายชนิดต่างๆ ความร้อนจากผิวของกระทะจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นน้ำมันบางๆไปยังอาหาร การนำความร้อนจึงเป็นกลไกหลักในการถ่ายเทความร้อนในการทอดวิธีนี้ ความหนาของชิ้นน้ำมันจะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวหน้าอาหาร การทอดแบบนี้การกระจายความร้อนจึงไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผิวหน้าของอาหารที่ทอดมีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ แต่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทที่ผิวจะสูง (วีไล, 2545)

การทอดแบบน้ำมันท่วม

วิธีเป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนสู่ภายในอาหาร โดยให้อาหารสัมผัสกับน้ำมันร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 160-200 องศาเซลเซียส จนกระทั่งจุดกึ่งกลางของอาหาร หรือจุดที่ร้อนซ่าสุดมีอุณหภูมิสูง เพื่อให้มีอุณหภูมิเพียงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภคหรือเพียงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่ต้องการ นอกจากนี้การทอดด้วยวิธีนี้ทำให้ผิวของอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน จึงเกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ (วีไล, 2545)

ในการทอดแบบน้ำมันท่วม กระบวนการที่เกิดขึ้นมีทั้งการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล ส่งผลทำให้ลักษณะของอาหารเปลี่ยนไปทั้งสี รสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัส (Dana and Saguy, 2006)

ขั้นตอนของกระบวนการทอดอาหาร

กระบวนการทอดสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงดังนี้ (ศรีสุวรรณ, 2547)

1. ช่วงแรกของการให้ความร้อน จะเป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ
2. ช่วงการเดือดของน้ำที่ผิวอาหาร จะเป็นช่วงที่ผิวของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าเริ่มแห้งเกิดเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ
3. ช่วงอัตราการระเหยลดลง จะเป็นช่วงที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียไอน้ำจากภายในชิ้นอาหาร อัตราการระเหยน้ำจะเริ่มช้าลง อาหารจะเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ เช่น การเกิดเจลลิตไนซ์ของแป้ง
4. จุดยุติของการเกิดฟอง จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานาน น้ำระเหยได้ช้าลง ทำให้ปริมาณฟองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

ระบบการทอด

1. ระบบการทอดแบบกะ

ระบบนี้ใช้กับการทอดอาหารที่มีปริมาณน้อย เช่น เครื่องทอดที่ใช้ตามบ้าน หรือเครื่องทอดที่ใช้ในร้านอาหารฟาสต์ฟู้ด แหล่งความร้อนของการทอดระบบนี้มีทั้งแบบแก๊สและแบบไฟฟ้า โดยทั่วไปอุณหภูมิของน้ำมันขณะทอดจะอยู่ที่ 160-200 องศาเซลเซียส การทอดอาจกระทำภายใต้บรรยากาศปกติ หรือภายใต้ภาวะสุญญากาศ ไม่ควรใช้วัสดุประเภททองแดงหรือทองเหลือง เพราะจะทำให้เกิดการแตกตัวของน้ำมันเนื่องจากไอออนของโลหะดังกล่าว ระหว่างการทอดอาจเติมน้ำมันใหม่เข้าเป็นระยะๆ เพื่อรักษาระดับน้ำมันในหม้อทอด การกรองน้ำมันเพื่อแยกเศษชิ้นอาหารในน้ำมันออกจะช่วยให้สามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพของไขมันได้ การพิจารณาคุณภาพของน้ำมันอาจทำได้โดยการสังเกตจากการเกิดควัน การเกิดฟองมากขณะทอด และการสังเกตสีของน้ำมันที่เข้มข้นเป็นต้น (ศรีสุวรรณ, 2547)

2. ระบบการทอดแบบต่อเนื่อง

ระบบนี้ใช้กับการทอดอาหารที่มีปริมาณมาก เช่น เครื่องทอดอาหารในระดับอุตสาหกรรม โดยทั่วไประบบการทอดแบบนี้จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน (ศรีสุวรรณ, 2547) คือ

1. อ่างน้ำมันหรือแทงค์น้ำมัน
2. ส่วนให้ความร้อนพร้อมทั้งระบบควบคุม
3. ระบบลำเลียงอาหารเข้าและออกจากแทงค์น้ำมัน
4. ระบบน้ำมันสำหรับทอด
5. ระบบระบายไอน้ำและควันที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์

ในส่วนของระบบการให้ความร้อนสำหรับเครื่องทอดแบบต่อเนื่องมี 3 แบบ (ศรีสุวรรณ, 2547) คือ

1. ระบบการให้ความร้อนโดยตรง ความร้อนจะได้มาจากการไหม้แก๊ส น้ำมันเชื้อเพลิงหรือได้จากไฟฟ้า ท่อความร้อนหรือท่อไผ่จะถูกจัดวางไว้ในส่วนล่างของแทงค์น้ำมันและจมอยู่ในน้ำมัน ความร้อนจะส่งผ่านผนังท่อไปยังน้ำมัน

2. ระบบการให้ความร้อนทางอ้อม ระบบนี้ น้ำมันจะได้รับความร้อนจากของไหลร้อน เช่น คลอรีน เตตไฮโดรคาร์บอน ที่ถูกทำให้ร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก แล้วไหลเข้าไปในท่อที่อยู่ส่วนล่างของแท่งค้ำ น้ำมันเพื่อให้ความร้อนแก่น้ำมัน

3. ระบบการให้ความร้อนจากภายนอก ระบบนี้ น้ำมันจะถูกทำให้ร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ภายนอกเครื่องทอดแล้วไหลเข้าสู่แท่งค้ำน้ำมัน

ผลของความร้อนต่อน้ำมันและอาหารทอด

วีไล (2545) ได้อธิบายผลกระทบของความร้อนต่อน้ำมันและอาหารทอดไว้ดังนี้

1. ผลของความร้อนต่อน้ำมัน

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะมีผลต่อน้ำมันดังนี้

1. ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากมีความชื้นและออกซิเจนเคลื่อนที่ออกมาจากอาหาร ระหว่างทอด

2. ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีกลิ่นเหม็น เนื่องจากเกิดสารระเหยประเภทคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโต และกรดอีพอกซี

3. ทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้นเนื่องจากน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันในสภาพไม่มีออกซิเจนและให้โพลิเมอร์ที่มีอุณหภูมิสูง หรือให้สารประกอบไซคลิก ส่งผลให้ลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างการทอด และทำให้อาหารดูดซับน้ำมันมากขึ้น

4. ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ เพราะวิตามินที่ละลายได้ในไขมันเกิดการออกซิไดซ์ เรตินอล แครอทินอยด์ และโทโคเฟอรอลจะถูกทำลายไป

การเสื่อมสภาพของไขมันและน้ำมันในระหว่างการทอดสามารถป้องกันได้ในระดับหนึ่ง ดังนี้(ศรีสุวรรณ, 2547)

1. ไม่ควรให้ความร้อนจนน้ำมันมีอุณหภูมิสูงเกินไป เพราะปฏิกิริยาออกซิเดชันและไฮโดรไลซิสจะเกิดได้เร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2. ควรลดความชื้นของอาหารก่อนให้เหมาะสม เพราะความชื้นจะเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมัน

3. เครื่องทอดและระบบน้ำมันควรทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ

4. หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่เร่งอัตราการเกิดออกซิเดชัน

5. ใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่ออาหารที่เหมาะสม

2. ผลของความร้อนต่ออาหารทอด

ผลกระทบส่วนใหญ่จะมีต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการใช้น้ำมันอุณหภูมิสูงในการทอดอาหาร การทอดด้วยน้ำมันอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดเปลือกนอกเร็วและปิดกั้นผิวหน้าของอาหารไว้ อาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและรักษาค่าทางโภชนาการไว้ได้เป็นส่วนใหญ่

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของน้ำมันและอาหารทอด

1. ความหนืด

ความหนืด คือความฝืดภายในที่เกิดขึ้นภายในของไหล หรือเป็นการต้านทานต่อการไหล (Lewis, 1996) น้ำมันเป็นของไหลชนิด นิวโตเนียน คือ ของไหลที่มีความหนืดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือน (อภิชาติ, 2550) น้ำมันมีความหนืดกว่าน้ำมาก และน้ำมันต่างชนิดกันจะมีความหนืดแตกต่างกัน

โดยทั่วไปอุณหภูมิมีผลต่อความหนืดเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ในระหว่างการวัดความหนืด อีกทั้งในการรายงานค่าความหนืดต้องระบุอุณหภูมิในการวัดเสมอ ความหนืดของของเหลวทุกชนิดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังตารางที่ 4 โดยเฉลี่ยแล้วเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงประมาณ 2 เพอร์เซ็นต์ ยกเว้นของเหลวบางชนิดความหนืดอาจเปลี่ยนแปลงมากกว่า 2 เพอร์เซ็นต์ เช่นถ้าเพิ่มอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส เป็น 21 องศาเซลเซียส ความหนืดของน้ำมันละหุ่งจะลดลง 8 เพอร์เซ็นต์ ความหนืดของ pitch จะลดลง 30 เพอร์เซ็นต์ (Lewis, 1996) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมัน ปกติจะพบว่าความหนืดของน้ำมันพืชจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะลดลง จึงทำให้ความหนืดลดลง และพบว่าความหนืดของน้ำมันพืชจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ทอด เพราะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและโพลิเมอร์ไรเซชัน (Santos *et al.*, 2005)

ความหนืดของไขมันและน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไขมันและน้ำมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไขมันหรือน้ำมันเพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2549)

ตาราง 4 ความหนืดของไขมันและน้ำมันบางชนิด

ชนิดของน้ำมัน	ความหนืด (cP)			
	38°C	50°C	99°C	100°C
Lard	44	25	9	-
Beef tallow	-	34	-	10
Cottonseed oil	36	-	8	-
Soybean oil	29	8	-	-
Coconut oil	30	6	-	-
Sunflowerseed oil	33	8	-	-

ที่มา : Fennema (1985)

2. เนื้อสัมผัสของอาหารทอด

อาหารเมื่อผ่านการทอดจะมีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างจากอาหารก่อนการทอด คือ อาหารทอดจะมีเนื้อสัมผัสที่กรอบนอก นุ่มใน หรือกรอบทั้งชิ้น ซึ่งในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารทอดอาจทำได้หลายวิธี แต่โดยส่วนใหญ่แล้วการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารโดยทั่วไปจะเป็นการใช้แรงหรือความเค้นกระทำลงบนอาหาร แล้ววัดผลที่ผิดรูปซึ่งเกิดในอาหาร การผิดรูปนี้อาจเป็นลักษณะที่ไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ หรือสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ (อรุณี, 2548) ในการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของอาหารทอดส่วนใหญ่มักจะวิเคราะห์กันที่ค่าความแข็ง (hardness) ซึ่งหมายถึงแรงที่ทำให้เกิดการผิดรูป หรือ ค่าความเปราะ (brittleness) ซึ่งหมายถึงแรงที่ทำให้วัสดุแตก การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยวิธี compression test จะนิยมใช้วัดค่าความแข็งของอาหารโดยวิธีเจาะทะลุ โดยจะทำการเจาะลงในตัวอย่าง และวัดแรงต้านที่เกิดขึ้น ค่าความแข็งจะเป็นค่าแรงสูงสุดของการกดครั้งแรก เมื่ออาหารเริ่มแตกค่านี้อาจจะลดลง ส่วนค่าความเปราะจะเป็นจุดแรกของแรงที่ลดลงในการกดครั้งแรก

ความแข็งของอาหารทอดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระยะเวลา อุณหภูมิ วิธีการทอด เป็นต้น Garayo and Moreira (2002) พบว่าการทอด potato chips ที่สภาวะบรรยากาศปกติ เมื่อเวลาที่ใช้ทอด

potato chips เพิ่มขึ้น ค่า hardness ของ potato chips จะไม่ค่อยแตกต่างกัน นอกจากนี้การทอด potato chips ด้วย olive oil ที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่า hardness มากกว่า การทอดด้วย olive oil ที่อุณหภูมิสูง (Kita et al., 2007)

3. สีของอาหารทอด

สีเป็นสมบัติทางกายภาพอย่างหนึ่งของอาหาร และเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้บริโภคจะใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้ออาหารร่วมกับลักษณะปรากฏอื่นๆ นอกจากนี้สีของอาหารยังใช้ชี้บ่งถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล หรือการเกิดปฏิกิริยาการเมลเลชัน (นิธิยา, 2549) ในอาหารทอดสีของอาหารอาจจะบ่งบอกถึงลักษณะของ อาหารที่สุกแล้ว หรือลักษณะอาหารที่พร้อมบริโภค โดยทั่วไปพบว่าเมื่อทอดอาหารเป็นเวลานานขึ้นสีของอาหารทอดจะมีสีที่คล้ำมากขึ้นและอาจเกิดการไหม้ขึ้นได้ ส่งผลให้อาหารทอดไม่น่ารับประทาน ปัจจัยส่วนใหญ่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อาหารทอดคือ การใช้อุณหภูมิการทอดที่สูง การใช้ระยะเวลาทอดที่นาน หรืออาจจะมีผลจากองค์ประกอบบางชนิดในตัวของอาหารทอดเอง โดยปกติการทอดเป็นระยะเวลานานขึ้นจะทำให้สีของอาหารเข้มขึ้น หรือสว่างน้อยลง

Krokida et al. (2001) พบว่า ในการทอด French fries เป็นระยะเวลานานขึ้น ค่า L^* (ความสว่าง) จะมีแนวโน้มลดลง ค่า a^* (สีเขียว-สีแดง) และค่า b^* (สีน้ำเงิน-สีเหลือง) จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการทอดจึงทำให้อาหารมีสีเข้มขึ้น

การใช้น้ำมันทอดอาหารหลายๆซ้ำ ความชื้น แสงแดด ความไม่บริสุทธิ์ของน้ำมันและออกซิเจนจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีทางเคมีของไขมันหลายชนิด ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้จะส่งผลให้ไขมันนั้นมีสีดำขึ้น กลิ่นเหม็นหืน จุดเกิดควันต่ำลง มีฟองและเหนียวหนืดขึ้น หากน้ำมันนั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงมากเท่าใดการเสื่อมสภาพของน้ำมันจะเร็วขึ้นเท่านั้น จากปฏิกิริยาเหล่านี้ส่งผลให้เกิดสารพิษขึ้นในอาหารหลายชนิด คือ สารอนุมูลอิสระ (free radicals) สารไดออกซิน (dioxin) สารประกอบไนโตรซามีน (nitrosamines) สารประกอบไพโรไลเซส (pyrolysates) สารประกอบกลุ่มโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon) เป็นต้น สารพิษดังกล่าวที่เกิดมากขึ้นซึ่งสามารถปนเปื้อนไปกับอาหารและเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคต่างๆได้ เช่น ท้องร่วง โรคมะเร็งในเส้นเลือดซึ่งเป็นที่น่าเป็นห่วงในสุขภาพของผู้บริโภคอย่างยิ่ง น้ำมันที่ทอดซ้ำจะเกิดสารพิษขึ้นมี 2 กลุ่มใหญ่ๆ ทั้งฟรีเรดิคัล (free radicals) และสารประกอบกลุ่มไดออกซิน (dioxin) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งทั้งสิ้น สารพิษตัวแรกคือ อนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้เมื่อทอดอาหารที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของไขมันไม่อิ่มตัวจะจับกับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นแล้วตกตะกอนเป็นเขม่าในน้ำมัน ซึ่งสังเกตจากการเปลี่ยนสีไปของน้ำมันที่ผ่านการทอดซ้ำ สีของน้ำมันจะดำคล้ำ มีความหนืดสูงและมีสารปนเปื้อนอื่นๆมากขึ้น การเปลี่ยนสีของน้ำมันจากใสเป็นเหลืองและจากสีเหลืองเป็นสีดำมากขึ้น ซึ่งหมายถึงการเกิดสารพิษขึ้นแล้ว สารกลุ่มที่สองคือ ไดออกซินประกอบด้วย โมเลกุลของเบนซิน 2 วงที่เกาะเกี่ยวด้วยอะตอมของคลอรีนอีก 4 ตัว ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่ร้ายแรงในอาหาร ปิ้ง ย่าง ทอด เมื่อถูกความร้อนจัดๆจะเกิดเป็นโมเลกุลสารอินทรีย์ เช่น PAH (polycyclic aromatic hydrocarbon) ซึ่งเป็นสารกลุ่มเดียวกับไดออกซิน (Wetch, 2000) ตัวอย่างสารพิษอื่นๆ เช่น สารมาโลนัลดีไฮด์ (Malonedehyde) ทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังของหนูทดลองมีการเจริญเติบโตผิดปกติ ลำไส้ทำงานผิดปกติ ตับ และไต โลหิตจาง วิตามินอีในเลือดและตับของหนูทดลองลดลง สารประกอบ 4-hydroxy-2-noenol มีพิษต่อเซลล์ทั้งก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ได้เช่นกัน เป็นต้น สารประกอบมีขั้วเหล่านี้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอดอาหาร เรียกรวมว่า สารประกอบโพลาร์ทั้งหมด (Total polar compounds) ซึ่งเป็นสารพิษที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ ถ้าสารโพลาร์เกินขีดจำกัดที่มีอันตรายต่อสุขภาพร้อยละ 25-27 ทั้งนี้ ประเทศไทย โดย

กระทรวงสาธารณสุข กำหนดให้น้ำมันทอดซ้ำ ต้องมีค่าโพลาร์ ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก ผู้ประกอบการอาหารที่ใช้ไขมันทอดอาหาร ซึ่งมีค่าโพลาร์เกินร้อยละ 25 จำหน่ายแก่ผู้บริโภค ถือเป็นกาณ์จำหน่ายอาหารผิดมาตรฐาน ฝ่าฝืนมาตรา 25(3) ของพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ระวังโทษปรับไม่เกินห้าหมื่นบาท

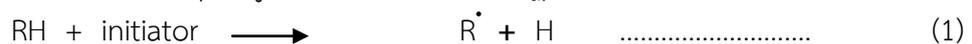
การใช้สมุนไพร/เครื่องเทศ เช่น ขมิ้น พริกไทย กระเทียม หรือรากผักชี เป็นส่วนผสมของเครื่องปรุงที่ใช้หมักเนื้อ ปลา หมู หรืออื่นๆ ก่อนการทอด เพื่อก่อให้เกิดรสชาติที่ดี และส่งผลให้อาหารเก็บได้นานขึ้น เป็นวิธีปฏิบัติของคนไทยเป็นระยะเวลานาน และจากการสำรวจข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า สารสกัดที่เตรียมได้จากพืชสมุนไพร/เครื่องเทศหลายชนิดที่ใช้ในการปรุงอาหารมีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Baril *et al.*, 1987; Wang *et al.*, 1997; Cheah and Abu Hasim, 2000; Javanamardi *et al.*, 2003) จึงเชื่อว่าการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศในการหมักอาหารทอดไม่เพียงแต่ทำให้อาหารทอดมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีเท่านั้น แต่องค์ประกอบในเครื่องปรุงซึ่งมีฤทธิ์ต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันและสามารถละลายในน้ำมัน มีผลให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในประเทศตะวันตกที่มีการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศ เช่น โรสแมรี่ (rosemary), ออริกาโน (oregano) หรือไทม์ (thyme) ซึ่งต่างก็มีสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเตรียมอาหารที่เป็นวิธีปฏิบัติตามปกติเช่นกัน และผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการใช้สมุนไพร/เครื่องเทศเหล่านี้สามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Nakatami, 1984; Cuvelier *et al.*, 1994; Hirasu and Takemasa, 1998; Lu and Foo, 2001)

การเพิ่มความคงตัวให้แก่ไขมันต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆในระหว่างการทอดอาหาร โดยเฉพาะจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยการนำสารสกัดจากสมุนไพร/เครื่องเทศเติมลงไปนน้ำมันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันแทนสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์เป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่ควรปฏิบัติ โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์สารต้านออกซิเดชันที่มีอยู่ตามธรรมชาติในสมุนไพร/เครื่องเทศชนิดต่างๆ โดยคาดหวังว่าการเติมสารสกัดเหล่านี้ จะทำให้องค์ประกอบของพืชสมุนไพร/เครื่องเทศที่มีสมบัติต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันละลายเข้าสู่ไขมัน ทำให้น้ำมันทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการทอดอาหารเพิ่มขึ้น

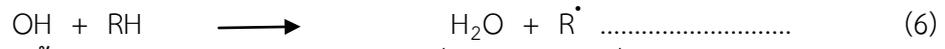
การเกิดออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันเป็นปฏิกิริยาที่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการ ความปลอดภัย สี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของอาหาร (Shahidi *et al.*, 1992) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันอาจเกิดขึ้นเอง เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Autoxidation) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมี 3 ขั้นตอน (Jadhav *et al.*, 1995) คือ

1.1 ขั้นตอนการเหนี่ยวนำ (initiation) เป็นระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยาโดยที่กรดไขมัน (RH) แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (R[•]) ซึ่งมีแสง อุณหภูมิ หรือโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการที่ 1



1.2 ขั้นตอนการเพิ่มจำนวน (propagation) เป็นระยะการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องของอนุมูลอิสระที่ได้จากขั้นตอนการเหนี่ยวนำทำปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (peroxy radical, ROO[•]) ซึ่งสามารถดึงไฮโดรเจนจากกรดไขมันเกิดเป็นไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) และไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถที่จะแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระได้อีกถ้ามีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ความร้อน และแสง อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระได้อีก ซึ่งจะเกิดเป็นลูกโซ่ปฏิกิริยาต่อเนื่องเรื่อยไป ดังสมการที่ 2-6



1.3 ขั้นตอนสิ้นสุด (termination) เป็นระยะที่เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ โดยอนุมูลอิสระทั้งหมดที่เกิดขึ้น รวมทั้งอนุมูลเพอร์ออกไซด์จะรวมตัวกันแล้วเกิดเป็นสารประกอบที่คงตัวไม่เหนียวนำไปปฏิกิริยาต่อไป ดังสมการ 7-9



ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

1. ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ถ้าระดับความไม่อิ่มตัวมากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์จากกรดไขมันที่มีพันธะคู่ตั้งแต่ 2 คู่ ต้องการพลังงานกระตุ้นต่ำส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเร็วขึ้น โดยทั่วไปพันธะคู่แบบคอนจูเกต (การเกิดพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่) สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าพันธะคู่ชนิดอื่นๆ (Nawar, 1996)
2. ออกซิเจน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และในสภาวะที่มีออกซิเจนและมีแสง เหล็กที่มีในฮีม (heme iron) และคลอโรฟิลล์ (chlorophylls) สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วยิ่งขึ้น (Nakatami and Ikeda, 1994)
3. ความร้อน มีบทบาทสำคัญในการเหนียวนำไปเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นการเก็บอาหารในอุณหภูมิต่ำสามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ (Jadhav et al., 1995)
4. แสงสว่าง ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดได้เร็วเมื่อระบบสัมผัสกับแสง (Nawar, 1996)
5. โลหะ โลหะทรานซิชันที่มีวาเลนซ์ 2-3 เช่น โคบอลต์ (Co), เหล็ก (Fe²⁺ or Fe³⁺), ทองแดง (Cu⁺ or Cu²⁺), แมงกานีส (Mn), และ นิกเกิล (Ni) เป็นต้น มีคุณสมบัติเป็นโปรออกซิแดนซ์ กลไกการทำงานของโลหะมีหลายแบบ เช่น ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารตั้งต้น หรือกระตุ้นโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็น singlet oxygen และอนุมูลเพอร์ออกไซด์ (Nawar, 1996)
6. ปัจจัยอื่นๆได้แก่ ความชื้น หรือค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Aw) ในผลิตภัณฑ์มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในอาหารแห้งที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำมากๆ (Aw < 0.1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดอย่างรวดเร็ว แต่ค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้นเป็น 0.3 จะยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน และอัตราการเกิดออกซิเดชันต่ำมาก ทั้งนี้เกิดจากปริมาณความชื้นในระดับนี้จะลดกิจกรรมของโลหะโดยจับกับอนุมูลอิสระ หรือป้องกันการสัมผัสของออกซิเจนกับไขมัน อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าวอเตอร์แอกติวิตีสูงขึ้น (Aw = 0.55-0.85) อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่ของคะตะลิสและออกซิเจน (Nawar, 1996)
7. ตั้งเร่งชีวภาพ จัดเป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหาร ได้แก่ เอนไซม์ โลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) เนื่องจากภายในโมเลกุลของเอนไซม์ชนิดนี้ประกอบด้วยเหล็ก 1 อะตอมที่อยู่ในรูป Fe²⁺ ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูป Fe³⁺ ได้โดย fatty acid hydrogen peroxides เกิดเป็น

ROX- Fe3+ สารตั้งต้นที่เป็นกรดสารตั้งต้นที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเข้ามาจากหมู่ methylene จะถูกดึงออกไปและ Fe3+ ของเอนไซม์จะถูกรีดิวซ์กลับมาอยู่ที่ Fe2+ เกิดเป็น enzyme-alkyl radical(ROX- Fe2+- R•) ที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้โดย O2 ให้อยู่ในรูปของ ROX- Fe2+- ROO เกิดเป็นวัฏจักรต่อไป (Gordon, 2001)

สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติและองค์ประกอบของอาหาร เช่น การเปลี่ยนแปลงสี เนื้อสัมผัส กลิ่น กลิ่นรส สูญเสียวิตามิน และทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของโปรตีน (Nakatani and Ikeda, 1994) ดังนั้นการใช้สารต้านออกซิเดชันจึงสามารถชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันส่งผลต่อการลดการสูญเสียต่างๆ ชะลอการเสื่อมเสีย การเกิดกลิ่นหืน หรือการเปลี่ยนแปลงสี อันเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Shahidi and Wanasundara, 1996) Yanishieva-Maslarova (2001) ได้แบ่งชนิดของสารต้านออกซิเดชันออกเป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้

1. **Radical scavenger/Hydrogen donor** เป็นสารที่สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน โดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมกับ peroxy radical เกิดเป็น hydroperoxide ซึ่งเป็นรูปที่เสถียรไม่เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาอีก ในขณะที่ตัวของสารยับยั้งจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระแทนและสามารถจับกับ peroxy radical ตัวอื่นให้อยู่ในรูปที่เสถียรได้อีก ดังสมการ 10-12



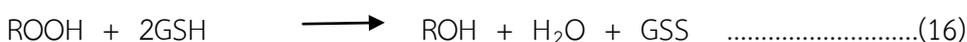
ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ BHA, BHT, tocopherol และ PG

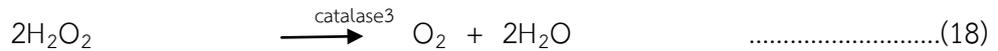
2. **Electron-acceptor compounds** เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชัน โดยการแข่งกับออกซิเจนในการจับกับอนุมูลอิสระของ alkyl ปฏิกิริยาการแข่งกันจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อความดันบรรยากาศออกซิเจนต่ำ
3. **Metal chelating agents** จะเป็นสารยับยั้งพวก pro-oxidant ที่เป็นอนุมูลอิสระของโลหะ ดังสมการที่ 14



ตัวอย่างสารยับยั้งออกซิเดชันในกลุ่มนี้ได้แก่ ascorbic acid, citric acid, tartaric acid, EDTA และ flavonoid

4. **Singlet oxygen quencher** จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนออกซิเจนที่อยู่ในรูปของ singlet oxygen ให้กลายเป็น triplet oxygen ซึ่งอยู่ในสถานะพื้นไม่สามารถทำปฏิกิริยากับไขมันได้และ Car (Singlet oxygen quencher: Carotenoids) จะเปลี่ยนเป็น $^3Car^*$ ซึ่งมีพลังงานจำนวนมาก จึงสลายต่อเป็น Car และ มีพลังงานความร้อนเกิดขึ้น
5. **Enzymatic peroxide destroyer** เป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันทางธรรมชาติที่นำมาใช้งานในด้านอาหาร เอนไซม์บางชนิดสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน โดยการเปลี่ยนออกซิเจนในรูปอนุมูลอิสระหรือไฮโดรเปอร์ออกไซด์ให้อยู่ในรูปที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ดังสมการที่ 16-18





ตัวอย่างสารยับยั้งออกซิเดชันในกลุ่มนี้ ได้แก่ Glutathione peroxidase (GSH), superoxide dismutase (SOD) และ catalase

ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน

a. สารสังเคราะห์ (Synthetic antioxidant)

สารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ที่นิยมใช้ในอาหารโดนทั่วไปในหลายๆประเทศ ได้แก่ butylated hydroxyanisole (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), propyl gallate (PG), octyl gallate (OG) และ dodecyl gallate (DG) อย่างไรก็ตามสารต้านออกซิเดชันเหล่านี้มีความเป็นพิษแตกต่างกัน (Ito *et al.*, 1986) ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ และในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสนใจในเรื่องของสุขภาพมากขึ้น ทำให้ในแต่ละประเทศออกกฎหมายเพื่อควบคุมการใช้สารต้านออกซิเดชันเหล่านี้ (Table 5) ซึ่งปริมาณที่กำหนดนี้ประเมินมาจากปริมาณที่ผู้บริโภคสามารถรับได้ในแต่ละวันในระดับที่ปลอดภัย

สันติ ทิพยางค์ (2535) กล่าวว่า สารยับยั้งออกซิเดชันที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ BHA, BHT, TBHQ และ PG หลายประเทศอนุญาตให้ใช้สารเหล่านี้กับน้ำมันและไขมันในปริมาณความเข้มข้นต่างกัน เช่นองค์การอาหารและยาในสหรัฐอเมริกา (FDA) อนุญาตให้ใช้สารกันหืนเหล่านี้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกันได้ในปริมาณความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 0.02 หรือ 200 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากสารยับยั้งออกซิเดชันสังเคราะห์เมื่อใช้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดการกลายพันธุ์และเกิดเนื้องอกในหนูทดลอง

ตาราง 5 Snapshot of some antioxidants in CODEX Alimentarius, America, Australia and New Zealand

Source	Antioxidant	Level
CODEX	BHA, BHT and PG in fat emulsions mainly of type oil-in-water, including mixed and/or flavoured products based on fat emulsions; emulsions containing less than 80% fat; and margarine and similar products	200 µg/g
USA	BHA, BHT and PG in rendered animal fat or a combination of such fat and vegetable fat BHA, BHT, PG, OG and DG in margarine or oleomargarine	100 µg/g individually or 200 µg/g in combination with other antioxidants approved for use 200 µg/g individually or in combination with other antioxidants approved for use
Australia	BHT, PG, OG and DG	100 µg/g
New Zealand	BHA in edible oil emulsions	200 µg/g

ที่มา : Sin และคณะ (2006)

i. Butylated hydroxyanisole (BHA) มี 2 แบบ คือ 2-tert-butyl-4- hydroxyanisole (2-BHA) และ 3- tert-butyl-4- hydroxyanisole (3-BHA) ใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์อาหารทอดและอบ เมื่อใช้ร่วมกับ BHT, TBHQ หรือ PG จะช่วยเสริมให้มีคุณภาพป้องกันการหืนสูงกว่าชนิดเดียว โดยเฉพาะ BHA ผสมกับ BHT แต่มีรายงานว่าเมื่อใช้ BHA เกินปริมาณที่ FDA กำหนด (175 ส่วนในล้านส่วน) ผสมกับ BHT อาจมีอันตรายทำให้เกิดสารก่อมะเร็งและเนื้องอก (Du and Li, 2008)

ii. Butylated hydroxytoluene (BHT) มีชื่อเรียกทางเคมีว่า 2, 6-di-tertiary-butyl-p-cresol หรือ 2, 6-di-tertiary-butyl-4-methyl phenol ใช้ได้ดีพอสมควรกับอาหารทอดและอบ สามารถใช้ร่วมกับ BHA หรือ PG

iii. Propyl gallate (PG) มีชื่อเรียกทางเคมีว่า 3, 4, 5-trihydroxybenzoic acid ใช้กับไขมันสัตว์ได้ดี แต่จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะทำให้เกิดเป็นสีดำหรือสีม่วงเข้ม ซึ่งจะป้องกันได้โดยการเติมสารพวก chelating agent ลงไปเพื่อรวมกับไอออนของโลหะ สารพวกนี้ได้แก่ กรดซิตริก กรดแอสคอร์บิก และ เลซิธิน เมื่อใช้ PG ร่วมกับ BHA และ BHT ให้ผลในการป้องกันการหืนได้ดี

b. สารสกัดจากธรรมชาติ (Natural antioxidant)

ผักและผลไม้มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค ทั้งยังเป็นแหล่งของสารประกอบ phenolics, flavonoids, anthocyanins และ carotenoids โดยที่ Iqbal และ Bhangar (2007) ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพความคงตัวของน้ำมันดอกทานตะวัน (Refined, bleached, deodorized (RBD) sunflower oil) เมื่อเติมสารสกัดเมทานอลของกระเทียม โดยวิเคราะห์ค่า Antioxidant activity index (AAI), Free fatty acid (FFA) content, Peroxide value (PV), Conjugated dienes (CD), Conjugated trienes (CT) และ Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) พบว่า สารสกัดจากกระเทียมที่ความเข้มข้น 1,000, 500 และ 250 ส่วนในล้านส่วน มีประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านออกซิเดชันแก่น้ำมันดอกทานตะวันดีกว่า BHA และ BHT ที่ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

ชลดา กุลสถาพร และอมรทิพย์ สมสุข (2545) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดเมทานอลของตะไคร้ด้วยเทคนิค NMR พบว่ามีสารกลุ่ม flavonoid คือ luteolin เป็นองค์ประกอบซึ่งเมื่อนำมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่า BHT ประมาณ 4 เท่า ส่วน Su และคณะ (2007) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการจับโลหะ และคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระของ พริกไทยดำ (black peppercorn), ลูกจันทร์เทศ (nutmeg), โรสฮิป (rosehip), อบเชย (cinnamon) และใบออริกาโน (oregano leaf) พบว่าสารสกัดพืชเหล่านี้มีคุณสมบัติต่อสุขภาพของผู้บริโภค เนื่องจากเป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสารสกัดอะซิโตนของอบเชย (cinnamon) เข้มข้นร้อยละ 50 มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในระบบ 2, 2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazolamine-6-sulfonic acid) (ABTS), Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC), ความสามารถในการจับโลหะ และปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก สูงสุดเมื่อเทียบกับสารสกัดจากพืชชนิดอื่นข้างต้น สำหรับ Maisuthisakul และคณะ (2007) ซึ่งทำการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของพืชพื้นเมืองของประเทศไทย 26 ชนิดเทียบกับเมล็ดองุ่นพบว่า ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ในสารสกัดจากเมล็ดองุ่นที่เหลือจากการทำไวน์ มีปริมาณสูงกว่าสารสกัดที่ได้จากผักและสมุนไพร และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในระบบ 1,

1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radicals (DPPH) Boskou (2006) ได้สรุปแหล่งของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันจากพืชแสดงดัง Table 6

ตาราง 6 Source of polyphenol antioxidant derived from plants

Source	Antioxidants
Fruit	
Berries	Flavanols, hydroxycinnamic acids, hydroxybenzoic acids, anthocyanins
Cherries	Hydroxycinnamic acids, anthocyanins
Blackgrapes	Anthocyanins, flavonols
Citrus fruit	Flavanones, flavonols, phenolic acids
Plums, prunes, apples, pears, kiwi	Hydroxycinnamic acids, catechins
Vegetable	
Aubergin	Anthocyanins, hydroxycinnamic acids
Chicory, artichoke	Hydroxycinnamic acids
Parsley	flavones
Rhubarb	Anthocyanins
Sweet potato leaves	Flavonols, flavones
Yellow onion, curly kale, leek	Flavonols
Beans	Flavonols
Spinach	Flavonoids, p-coumaric acid
Flours	
Oats, wheat, rice	Caffeic and ferulic acids
Teas	
Black, green	Flava-3-ols, flavonols
Alcoholic drinks	
Red wine	Flavan-3-ols, flavonols, anthocyanins
Cider	Hydroxycinnamic acids
Other drinks	
Orange juice	Flavonols
Coffee	Hydroxycinnamic acids
Chocolate	Flavonols

ตาราง 6 (Continued)

Source	Antioxidants
Herbs and spices	
Rosemary	Carnosic acid, carnosol, Rosmarinic acid, rosmanol
Sage	Rosmarinic acid, Carnosol, Carnosic acid, lateolin, rosmanol
Oregano	Rosmarinic acid, phenolic acids, flavonoids
Thyme	Thyme, carvacrol, Flavonoids, lubeolin
Summer savory	Rosmarinic acid, carnosol, carvacrol, flavonoids
Ginger	Gingerd

ที่มา : Boskou (2006)

จากรายงานพบว่าใบกระเพรา ใบโหระพา ใบมะกรูด กระเทียม หอมแดง ขมิ้น ข่า ตะไคร้ และใบเตย มีสารออกฤทธิ์ที่ทำหน้าที่ในการต้านออกซิเดชันแตกต่างกันไป แสดงดังตาราง 7 โดยสารออกฤทธิ์แต่ละชนิดมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน แสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 Antioxidative compound of nine herbs/spices used in this experiment

Herbs/spices	Antioxidative compounds	References
Holy basil	Usoic acid, Apigenin, Luteolin, Eugenol	Bhargava and Sing (1981)
Sweet basil	Rosemarinic acid, Caffeic acid, Linalool, Eugenol	
Kaffir lime leave	Citronella, β -carotene	Murakami <i>et al.</i> (1995)
Garlic	Organosulfer compounds, Gallic acid	Kamel and Saleh (2000)
Red onion	Organosulfer compounds (cysteine derivative, e.g. S-allyl cysteine sulfoxide.), Quercetin	Shahidul <i>et al.</i> (2008); Lombard <i>et al.</i> (2005)
Turmeric	Curcumin, Demethoxycurcumin, Bisdemethoxycurcumin	Tiwari (2006)
Galangal	Galangin, Kaempferide	Samart (2007)
Lemon grass	Luteoin, Eugenol, Linalool, Menthol,	Mutsuda <i>et al.</i> (2003)

6. การทอดอาหาร

การทอดเป็นวิธีการแปรรูปอาหารประเภทหนึ่ง ที่มีผลทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่ผู้บริโภคนิยมรับประทาน อาหารทอดไม่ว่าจะเป็น ไก่ทอด กุ้งชุบแป้งทอด ทอดมัน มันฝรั่งทอด และกล้วยแขก โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักผ่านการทอดใช้น้ำมันปริมาณมาก (deep frying) และเมื่ออาหารเหล่านี้ผ่านการทอดมีผลทำให้ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น เช่น มันฝรั่งทอดจะมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 17 และไก่ทอดจะมีไขมันประมาณร้อยละ 13.2-18.7 (USDA-ARS, 2005) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและสภาวะของการทอด ในขณะเดียวกันในระหว่างการทอดอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด เนื่องจากความร้อนที่ให้กับน้ำมันทอด การสัมผัสระหว่างน้ำมันกับอากาศ การสูญเสียน้ำและองค์ประกอบในอาหารสู่น้ำมันทอด ซึ่งระยะเวลาการทอดและจำนวนรอบของการทอดเพิ่มขึ้น การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดก็เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ผู้ผลิตอาหารทอดต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทอดตามการใช้งาน โดย Naz และคณะ (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง โดยวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ค่าอะซิไดน์ (*p*-anisidine) ค่าไอโอดีน (iodine value) ของน้ำมันที่ผ่านการทอดน้ำมันที่มีการสัมผัสกับอากาศ และน้ำมันที่สัมผัสแสงและอากาศ เป็นเวลา 30 วัน นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาแตกต่างกันคือ 30, 60 และ 90 นาที พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าอะซิไดน์ เพิ่มขึ้นตามลำดับคือ น้ำมันที่ผ่านการทอด > น้ำมันที่สัมผัสอากาศและแสง > น้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ โดยค่าดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของน้ำมันคือ น้ำมันถั่วเหลือง > น้ำมันข้าวโพด > น้ำมันมะกอก การลดลงของค่าไอโอดีน เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน คือ น้ำมันที่ผ่านการทอด > น้ำมันที่สัมผัสอากาศและแสง > น้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ โดยมีการลดลงของค่าไอโอดีนตามชนิดของน้ำมันคือ น้ำมันถั่วเหลือง > น้ำมันข้าวโพด > น้ำมันมะกอก สำหรับปริมาณไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการทอด

a. การเปลี่ยนแปลงของไขมันระหว่างทอด

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของน้ำมันหรือไขมันระหว่างการทอดซึ่งเห็นได้ชัด คือ น้ำมันเป็นสีดำ ความหนืดเพิ่มขึ้น จุดเกิดควันลดลง เกิดฟองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อไขมันได้รับความร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีใน 3 รูปแบบ คือ

i. Hydrolysis เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน โดยน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งปฏิกิริยา ซึ่งน้ำทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์และได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอล

ii. Oxidation เป็นการออกซิไดซ์ไขมัน ทำให้สารประกอบหลายชนิดที่ระเหยได้ เช่น hydroperoxide, conjugated dieonoic acid, epoxide, hydroxyl และ ketone สารประกอบเหล่านี้อาจเกิดการแตกตัวต่อไปอีก หรือจะยังคงเป็นโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ที่สูงขึ้น

iii. Polymerization เป็นการเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนโดยไม่มีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลไขมัน โมเลกุลไขมัน ถ้าพันธะเหล่านี้เกิดขึ้นในกรดไขมัน 1 โมเลกุล จะทำให้เกิดกรดไขมันแบบต่อกันเป็นวง (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดระหว่างกรดไขมัน 2 โมเลกุล อาจเกิดภายในโมเลกุลเดียวกัน

หรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ และถ้าเกิดพันธะข้ามระหว่างโมเลกุลเหล่านี้ต่อไปทำให้เกิดโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นอีก

b. ประเภทของสารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไขมัน

สารประกอบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันทอดที่กล่าวแล้วข้างต้น สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

i. สารประกอบจากการเสื่อมสลายที่ระเหยได้ (Volatile decomposed product) สารประกอบที่ระเหยได้มีผลต่อกลิ่นรสของอาหารที่ผ่านการทอด อย่างไรก็ตามธรรมชาติของสารประกอบเหล่านี้จะระเหยออกมาจากน้ำมันระหว่างการทอด ในรูปควันและสารประกอบต่างๆ อาทิเช่น Hydrocarbons, Aldehydes, Ketones, Furans และ Carboxylic acids เป็นต้น ดังนั้นหากหายใจเอาสารเหล่านี้เข้าไปอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว

ii. สารประกอบจากการเสื่อมสลายที่ไม่ระเหย (non volatile decomposed product) สารประกอบจากการเสื่อมสลายที่ไม่ระเหย อาทิเช่น Polar and nonpolar, Cyclic monomer, Noncyclic monomer, Dimers, Trimers และ Higher molecular weight compounds เป็นต้น สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้ไขมันนี้ทอดอาหาร และอาหารดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ เชื่อกันว่าถ้าใช้น้ำมันทอดหลายๆครั้ง ทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น สะสมอยู่ในน้ำมัน ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป คือ ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบชนิดต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส, ออกซิเดชัน และพอลิเมอไรเซชันของน้ำมันระหว่างการอบทอด

c. การใช้สารสกัดธรรมชาติ (Natural antioxidant) เป็นสารต้านออกซิเดชันในน้ำมันทอด ในการผลิตน้ำมันหลังจากที่มีการสกัดแยกและทำน้ำมันบริสุทธิ์ จะมีการใช้สารป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน (antioxidant) โดยทั่วไปมักจะใช้ butylated hydroxytoluene (BHT), butylated hydroxyanisole (BHA) และ propyl gallate (PG) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ มีประสิทธิภาพดี ราคาไม่แพง ไม่มีสี กลิ่นและรส อย่างไรก็ตามสารกันหืนเหล่านี้มักจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่อมีการใช้น้ำมันที่อุณหภูมิสูง เช่น อุณหภูมิการทอด (150-200 องศาเซลเซียส) สารเหล่านี้มักเสื่อมประสิทธิภาพ โดยที่อุณหภูมิสูง BHA และ BHT จะระเหยไปกับไอน้ำ ในขณะที่ PG จะเสื่อมสภาพเมื่อน้ำออกมาจากอาหารในขณะทอด ดังนั้นจึงทำให้น้ำมันทอดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตัวเอง เกิดการเสื่อมสภาพ มีความหนืดและสีเพิ่มขึ้น (Zhang *et al.*, 2004) ดังนั้นจึงมีการใช้สารป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันจากธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งมีผู้ที่ทำการศึกษาไว้ดังนี้

Shymala และคณะ (2005) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน โดยการใช้สารสกัดจากใบพืช ได้แก่ กะหล่ำปลี, ผักชี และผักโขม ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่ผ่านการให้ความร้อนระหว่างการเก็บรักษา โดยการเติมสารสกัดจากเอทานอลของพืชดังกล่าวในน้ำมันทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง ให้ความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิการทอดและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่า ปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอลในกะหล่ำปลี มีค่าเท่ากับ 5 มิลลิกรัม ส่วนในผักโขมมีค่าเท่ากับ 69.5 มิลลิกรัม คุณสมบัติในการให้อิเล็กตรอน (reducing power) เพื่อทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระมีค่าแตกต่างกันเรียงตามลำดับคือ ผักโขม < กะหล่ำปลี < ผักชี ตามลำดับ โดยสารสกัดจากพืชใบทั้งหมดแสดงคุณสมบัติที่ดีในการจับอนุมูลอิสระ ทั้งในระบบ

Hydroxyl radical และ DPPH ทั้งนี้สารสกัดจากพืชดังกล่าวแสดงฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งสามารถใช้แทนสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันสังเคราะห์ได้เนื่องจากสามารถคงตัวได้ดีที่อุณหภูมิสูง

Zandi และ Gordon (1999) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดเมทานอลจากใบชาแก่ (methanolic extracts of old tea leaves) ต่อความคงตัวของน้ำมัน rapeseed oil ระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระหว่างการทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส พบว่าสารสกัดเมทานอลจากใบชาแก่สามารถต้านการเสื่อมสภาพของน้ำมันระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยวิเคราะห์จากค่าเพอร์ออกไซด์, ค่า *p*-anisidine, และค่า conjugate diene โดยประสิทธิภาพต้านการเสื่อมสภาพของน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ที่ความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.02-0.25) นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดเมทานอลจากใบชาแก่ร้อยละ 0.01 มีประสิทธิภาพต้านการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดซ้ำไม่ต่างกับการใช้สารสกัดจากโรสแมรี่ร้อยละ 0.1

Nor และคณะ (2008) ศึกษาคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบเตย (*Pandanus amyrillifolius*) ในน้ำมันทอดที่มีการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากผลการศึกษารูปได้ว่า สารสกัดจากใบเตยซึ่งมีปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด 102 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสม (ร้อยละ 0.02) มีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0-40 ชั่วโมง ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่เติม BHT (ร้อยละ 0.02) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งค่าที่ทดสอบได้แก่ peroxide value, anisidine value, iodine value, free fatty acid, oxidative stability index (OSI), polar และ non polymer compound contents ดังนั้นจึงอาจใช้สารสกัดจากใบเตยแทนสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ นอกจากนี้ Che Man และ Jaswir (2000) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจาก rosemary และ sage ที่เติมลงไป ในน้ำมันปาล์มระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) พบว่าสารสกัดทั้งสองชนิดสามารถยับยั้งการเสื่อมเสียของน้ำมันทอดได้เป็นระยะเวลา 6 วัน ($p < 0.05$) อีกทั้งสารสกัดทั้งสองชนิดยังสามารถปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (ยกเว้นคุณลักษณะทางด้านความกรอบ) ของมันฝรั่งทอด (Fried potato crisps) ได้อีกด้วย

วิธีตรวจสอบการเกิดออกซิเดชันของไขมัน

Frankel (1984) กล่าวว่า การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อนและมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีของไขมัน การตรวจสอบเพื่อวัดค่าการเกิดออกซิเดชันที่นิยมมี 4 วิธีคือ

1. การหาค่า Peroxide value (POV)

ค่าเพอร์ออกไซด์ หมายถึง มิลลิกรัมสมมูล (milliequivalent) ของเพอร์ออกไซด์ที่มีในน้ำมัน 1 กก. ค่าเพอร์ออกไซด์จะบอกให้ทราบถึงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นสารประกอบเพอร์ออกไซด์ ถ้ามีสารประกอบเพอร์ออกไซด์เกิน 20 meq of peroxide/kg of oil ในน้ำมันจะทำให้เกิดกลิ่นหืน ซึ่งการวัดค่าเพอร์ออกไซด์ มีหลายวิธี ได้แก่

i. การหาค่าเพอร์ออกไซด์โดยวิธีวัดค่าไอโอดีน คือ เมื่อไอโอด (iodide) ถูกออกซิไดซ์เป็นไอโอดีน (iodine) โดยสารประกอบเพอร์ออกไซด์หรือออกซิเจนในไขมัน แล้วไตเตรทไอโอดีนที่เกิดขึ้นกับสารละลายมาตรฐาน sodium thiosulphate หลังจากนั้นนำไปคำนวณหาค่า peroxide value

ii. การหาค่าเพอร์ออกไซด์ในตัวอย่งน้ำมัน โดยให้ทำปฏิกิริยากับ ammonium thiocyanate และ ferrous chloride ได้สารประกอบที่มีสีแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาค่าเพอร์ออกไซด์จากกราฟมาตรฐาน

2. การหาค่า free fatty acid (FFA)

ค่ากรดของไขมันและน้ำมันหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระในตัวอย่งไขมันและน้ำมันหนึ่งกรัมมีสภาพเป็นกลาง โดยทั่วไปอาจจะแสดงผลในรูปของเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ ค่ากรดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาไลโปไลซิส โดยมีเอนไซม์และ/หรือความร้อนและ/หรือแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งผลของปฏิกิริยานี้จะทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น และสอดคล้องในทิศทางส่งเสริมให้เกิดกลิ่นหืนในไขมันและน้ำมันได้ นอกจากนี้ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันด้วย การวิเคราะห์ค่ากรดและปริมาณกรดไขมันอิสระใช้เทคนิคการไตเตรทด้วยสารละลายต่างที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยมีฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ได้จุดยุติสีชมพูคงที่ ค่าที่เหมาะสมของกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดมีค่าประมาณร้อยละ 0.5-0.8 (Thompson and Aust, 1983)

3. Thiobarbituric acid test (TBA)

วัดความเข้มข้นของสีที่เกิดจาก malonaldehyde [$\text{CH}_2(\text{CHO})_2$] ซึ่งเป็นอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจากน้ำมันหรือไขมันที่ถูกออกซิไดส์ ทำปฏิกิริยากับ 2-thiobarbituric acid เกิดเป็นสารประกอบ TBA chromagen ให้สีแดง ที่สามารถตรวจวัดได้ที่มีความยาวคลื่นแสง 532 นาโนเมตร

อย่างไรก็ตามอัลดีไฮด์อื่นๆ ที่อาจจะเกิดจากโปรตีนที่ถูกออกซิไดส์ ก็สามารถทำปฏิกิริยากับสาร 2-thiobarbituric acid ได้เช่นกัน ดังนั้นการวัดสถานะของน้ำมันโดยวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่จำกัดใช้ตรวจสอบเฉพาะไตรกลีเซอไรด์ที่ไม่มีสารอาหารอื่นปนอยู่เท่านั้น

ขิง (Ginger) เป็นทั้งพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ มีสรรพคุณด้านการรักษาโรคได้ เช่น รักษาโรคท้องอืดเพื่อ คลื่นไส้ อาเจียน รักษาอาการไอที่มีเสมหะ รักษากลากเกลื้อน เป็นยาอายุวัฒนะ การผลิตขิงแบ่งออกเป็น การปลูกขิงเพื่อบริโภคสด ส่งโรงงานอุตสาหกรรม และการปลูกเพื่อผลิตพันธุ์ ขิงเป็นพืชที่ปลูกได้ดีในเขตร้อนแหล่งที่ปลูกที่สำคัญได้แก่ อินเดีย และสาธารณรัฐประชาชนจีนรองลงมาได้แก่ ออสเตรเลีย ฟิจิ ไต้หวัน และไทย น้ำมันหอมระเหยอยู่ประมาณ 1 - 3 % ขึ้นอยู่กับวิธีปลูกและช่วงการเก็บรักษา ในน้ำมันประกอบด้วยสารเคมี ที่สำคัญคือ ซิงจิเบอริน (Zingiberene), ซิงจิเบอร์อล (Zingiberol), ไบซาโบลี (bisabolene) และแคมฟิน(camphene) น้ำมัน (oleo - resin) ในปริมาณสูง เป็นส่วนที่ทำให้ขิงมีกลิ่นฉุน และมีรสเผ็ด ส่วนประกอบสำคัญ ในน้ำมันขิง ได้แก่ จินเจอร์อล (gingerol), โวกาออล (shogaol), ซิงเจอโรน (zingerone) มีคุณสมบัติเป็นยาแก้ปวด กันหื่น ไข้ในน้ำมันหรือไขมัน เพื่อป้องกันการหืน สารที่ทำให้ขิงมีคุณสมบัติเป็นสารกันหื่นได้คือ สารจำพวกฟีนอลิก

ณัฐพร และ ตริชฎา (2549) ได้ศึกษาผลของสมุนไพรบางชนิดต่อการป้องกันการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอด พบว่า กระเทียมเป็นสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการประยุกต์ใช้กับน้ำมันทอดไก่ทอด

พรอนันต์ และ สุชาติ (2549) ศึกษาผลของสมุนไพรต่อคุณภาพอายุการเก็บรักษาของทอดมันเนื้อหมู พบว่า การใช้โหระพา จะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทดสอบ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การศึกษาชนิด ปริมาณ และอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ใช้ในสมุนไพรไทยในน้ำมันทอด

1.1 การเตรียมตัวอย่างสมุนไพร

สมุนไพรไทย ได้แก่ กระเทียม ขิง ข่า ใบมะกรูด และโหระพา



ทำความสะอาด



อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 7



เตรียมตัวอย่างให้มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดต่างๆ

1.2 การศึกษาปริมาณ และอัตราส่วนที่เหมาะสม

ศึกษาปริมาณและอัตราส่วนที่เหมาะสมของสมุนไพรแต่ละชนิดที่ระดับ 5% 10% และ 15% โดยนำมาเติมลงในน้ำมันทอดที่ให้ความร้อนที่ 175 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที ตามลำดับ

2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพของน้ำมันทอดที่ผสมสมุนไพรไทย

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนที่ 175 องศาเซลเซียส ที่ 15 30 และ 45 นาทีมาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- Peroxide value (Buge and Augt, 1978)
- Free fatty acid value
- TBA (Buge and Augt, 1978)
- ค่าความหนืด
- ค่าพาราแอนนิซิดีน (*p*-Anisidine value, AOCS, 2009)
- ค่าโพลาร์
- วัดค่าสี $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่องวัดสี Hunter LAB (DP 9000)

3. ศึกษาคุณภาพบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันผสมสมุนไพรที่เหมาะสม

ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคด้วยการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9- hedonic scale นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบความแตกต่างเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธีผลต่างน้อยที่สุดตามวิธีDuncan's New Multiple Range Test

วัสดุอุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
2. เครื่องปั่นเหวี่ยงอุณหภูมิต่ำ (Refrigerated centrifuge)
3. เครื่องวัดสี Hunter lab (DP 9000)
4. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ความชื้น ได้แก่ ถ้วยวิเคราะห์ความชื้น (Moisture can) และ โถดูดความชื้น (Desiccator)
5. อุปกรณ์และห้องปฏิบัติการการทดสอบทางประสาทสัมผัส
6. หม้อทอดควบคุมอุณหภูมิ
7. ชุดคอมพิวเตอร์ พร้อมเครื่องพิมพ์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล

ผลการทดลอง

ผลของปริมาณและอัตราส่วนที่เหมาะสมของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกัน

การศึกษาผลของปริมาณและอัตราส่วนที่เหมาะสมของสมุนไพรแต่ละชนิดที่ระดับ 5% 10% และ 15% โดยนำมาเติมลงในน้ำมันทอดที่ให้ความร้อนที่ 175 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 30 และ 45 นาที โดยเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่เติมสมุนไพรกับน้ำมันปาล์มที่เติมสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารสังเคราะห์ BHT ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วนเป็นตัวควบคุม วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน โดยการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) ร้อยละของกรดไขมันอิสระ (FFA), TBA, ค่าความหนืด ค่าสีของน้ำมัน (L^* , a^* , b^*) และค่าโพลาร์ สำหรับคุณภาพของน้ำมันทอดเริ่มต้นแสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 คุณภาพเริ่มต้นของน้ำมันปาล์มก่อนการให้ความร้อน

คุณลักษณะ	ปริมาณ
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq of peroxide/Kg of lipid)	0.13±0.05
ร้อยละของกรดไขมันอิสระ (% as oleic acid)	0.09±0.01
TBA (mg of malonaldehyde/Kg of lipid)	0.01±0.01
ค่าความหนืด (cp)	80.60±0.01
L^* (lightness value)	99.64±0.04
a^* (redness value)	-7.21±0.01
b^* (yellowness value)	43.94±0.04
พาราแอนนิซิติน	8.00±0.02
ค่าโพลาร์	8.04±0.05

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ

น้ำมันก่อนการให้ความร้อนมีร้อยละของกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกเท่ากับ 0.09 ± 0.01 และเมื่อความร้อนแก่น้ำมันเป็นระยะเวลา 15 30 และ 45 นาที โดยมีการเติมสมุนไพรในระดับร้อยละ 5 10 และ 15 พบว่าชนิดของสมุนไพรที่ใช้ในน้ำมันทอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณอัตราส่วนระหว่างน้ำมันทอดกับสมุนไพรและระยะเวลาในการทอดอาหารไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ ($p > 0.05$) พบว่าโหระพา ให้ค่ากรดไขมันอิสระน้อยที่สุด รองลงมาคือใบมะกรูด และกระเทียมมีค่า ตามลำดับ (ตาราง 9)

ตาราง 9 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกัน
ต่อค่ากรดไขมันอิสระ

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระ (% as oleic acid)		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชุดควบคุม	5	0.10±0.01	0.13±0.01	0.13±0.01
	10	0.10±0.01	0.12±0.01	0.13±0.01
	15	0.10±0.01	0.12±0.01	0.13±0.01
ใบมะกรูด	5	0.16±0.02	0.15±0.01	0.17±0.01
	10	0.13±0.01	0.14±0.01	0.16±0.03
	15	0.18±0.03	0.17±0.06	0.15±0.01
ขิง	5	0.16±0.06	0.16±0.03	0.20±0.03
	10	0.20±0.01	0.19±0.01	0.19±0.03
	15	0.17±0.06	0.19±0.01	0.20±0.03
ข่า	5	0.20±0.01	0.17±0.06	0.14±0.06
	10	0.21±0.03	0.19±0.03	0.19±0.06
	15	0.20±0.06	0.19±0.05	0.21±0.01
กระเทียม	5	0.15±0.06	0.15±0.01	0.15±0.03
	10	0.16±0.03	0.15±0.06	0.17±0.03
	15	0.18±0.01	0.19±0.01	0.20±0.01
โหระพา	5	0.13±0.01	0.12±0.01	0.12±0.06
	10	0.14±0.01	0.13±0.01	0.13±0.03
	15	0.14±0.03	0.14±0.03	0.15±0.03

ค่ากรดไขมันอิสระที่วิเคราะห์ได้เป็นตัวบ่งชี้ว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันถูกทำลายด้วยเอนไซม์ไลเปสเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเพียงใด ถ้าค่ากรดไขมันอิสระสูงแสดงว่าโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกทำลายได้เป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่ามี hydrolytic rancidity เกิดขึ้นที่ไขมันหรือน้ำมันนั้น ความร้อนและแสงช่วยเร่งให้เกิดการหืนได้เร็วขึ้น (นิธิยา, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Che Man and Jaswir (2000 อ้าง โดย Choe and Min, 2007) เนื่องจากน้ำมันได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ น้ำมันที่ผ่านการทอดหลายครั้ง ปริมาณกรดไขมันอิสระก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย (Aurand, 1987) นอกจากนี้ Lee และคณะ (2002) พบว่า การเติม spinach powder ลงในน้ำมันถั่วเหลืองในปริมาณสูงคือร้อยละ 0 5 15 และ 25 ทำให้น้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส มีค่ากรดไขมันอิสระสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระดังกล่าวเกิด

จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ triacylglycerols โดยมีสาเหตุจาก thermostable phospholipase หรือ galactolipase ที่มีอยู่ใน spinach power

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์

น้ำมันที่เติมสมุนไพรได้แก่ ใบมะกรูด และขิง เมื่อผ่านการให้ความร้อนระยะเวลาต่างๆ กันมีค่าเพอร์ออกไซด์ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมุนไพรชนิดอื่นๆ ($p < 0.05$) โดยพบว่ากระเทียมและโหระพาจะให้ค่าเพอร์ออกไซด์เวลาสูง ตาราง 10 และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการให้ความร้อน พบว่า ระยะเวลาในการให้ความร้อนกับน้ำมันทอดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเพอร์ออกไซด์ ($p > 0.05$) ตาราง 10 แต่การเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนของสมุนไพรที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 5 10 และ 15) ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ อาจเนื่องมาจากการเกิดขึ้นของสารออกฤทธิ์ตัวใหม่และการทำลายสารออกฤทธิ์อาจเกิดขึ้นในอัตราส่วนที่สมดุลกันส่งผลให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยรวมไม่เปลี่ยนแปลง

ตาราง 10 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกันต่อค่าเพอร์ออกไซด์

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	ค่าเพอร์ออกไซด์ (meq of peroxide/Kg of lipid)		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชุดควบคุม	5	0.36±0.03	0.52±0.05	0.56±0.05
	10	0.32±0.07	0.51±0.01	0.57±0.04
	15	0.35±0.03	0.51±0.03	0.58±0.04
ใบมะกรูด	5	0.26±0.04	0.35±0.04	0.53±0.08
	10	0.35±0.01	0.41±0.04	0.46±0.01
	15	0.34±0.04	0.49±0.04	0.15±0.09
ขิง	5	0.33±0.09	0.35±0.01	0.38±0.01
	10	0.33±0.03	0.41±0.01	0.44±0.05
	15	0.38±0.09	0.45±0.02	0.58±0.03
ข่า	5	0.45±0.07	0.58±0.08	0.63±0.01
	10	0.45±0.03	0.59±0.01	0.61±0.02
	15	0.54±0.02	0.57±0.06	0.62±0.07
กระเทียม	5	0.43±0.04	0.60±0.07	0.64±0.01
	10	0.52±0.04	0.55±0.01	0.57±0.05
	15	0.59±0.01	0.60±0.08	0.63±0.03
โหระพา	5	0.57±0.06	0.58±0.09	0.62±0.02
	10	0.52±0.03	0.57±0.08	0.62±0.07
	15	0.53±0.06	0.57±0.06	0.62±0.04

ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหรือไขมัน เป็นการวัดค่าตีกริการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน โดยการหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีในน้ำมันหรือไขมัน สารเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันหรือไขมันเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันหรือไขมันได้รับความร้อนและสัมผัสกับอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นในน้ำมันหรือไขมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในโมเลกุล เมื่อผ่านการทอดจะมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้น้ำมันที่ผ่านการทอดมีโอกาสเกิดกลิ่นหืนได้ (Bowers, 1992) ทั้งนี้จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า จะให้ค่าเปอร์ออกไซด์สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมุนไพรชนิดอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องจากอัตราส่วนของขิงต่อน้ำมันที่มากเกินไปอาจทำหน้าที่เป็นโปรออกซิแดนซ์มากกว่าจะทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Nor และคณะ (2009) พบว่า การเติมสารสกัดจากใบขมิ้นปริมาณร้อยละ 0.1 สามารถต้านการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการให้ความร้อน 180 องศาเซลเซียสได้ดีกว่าการเติมสารสกัดจากใบขมิ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 0.3 และ 0.4

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TBA

จากการวิเคราะห์ค่า TBA ของน้ำมันพบว่า น้ำมันทุกชุดการทดลองมีค่า TBA เพิ่มขึ้นจากการการผ่านให้ความร้อน โดยน้ำมันชุดควบคุมมีค่า TBA ไม่แตกต่างจากน้ำมันที่เติมสมุนไพรทุกชนิด นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนของสมุนไพรที่เติมในน้ำมันทอดและระยะเวลาไม่มีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ($p > 0.05$) ตาราง 11

ตาราง 11 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกัน ต่อค่า TBA

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	ค่า TBA (mg of malonaldehyde/Kg of lipid)		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชุดควบคุม	5	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
	10	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01
	15	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01
ใบมะกรูด	5	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01
	10	0.02±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01
	15	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
ขิง	5	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01
	10	0.03±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01
	15	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01
ข่า	5	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
	10	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
	15	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01
กระเทียม	5	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01
	10	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01
	15	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01
โหระพา	5	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01
	10	0.02±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01
	15	0.02±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพาราแอนนิซิดีน (*p*-Anisidine value)

ค่าพาราแอนนิซิดีนเป็นค่าที่วัดผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่เป็น conjugated dienals และ 2-alkenals แอลดีไฮด์ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เป็นผลให้กลิ่นรสในน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนแปลงไป แอลดีไฮด์บางตัว (2-alkenal และ 2,4-dienals) ทำปฏิกิริยากับพาราแอนนิซิดีนให้สารที่มีสีเหลือง วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตรและความ เป็นสีเหลืองของสารขึ้นอยู่กับปริมาณแอลดีไฮด์ (Warner, 1996) จากการศึกษาพบว่า ชนิดของสมุนไพรที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าพาราแอนนิซิดีน โดยน้ำมันทอดที่มีการเติมสมุนไพรคือ ขิงจะมีค่าพาราแอนนิซิดีนสูงที่สุด ในขณะที่น้ำมันทอดที่มีการเติมโหระพา และกระเทียมจะมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะเวลาในการทอดที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการพาราแอนนิซิดีนเช่นเดียวกัน โดย

พบว่าระยะที่ 45 นาทีจะให้ค่าพาราแอนนิซิดีนสูงที่สุด ($p < 0.05$) ส่วนอัตราส่วนของสมุนไพรต่อน้ำมันทอดนั้นพบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ตาราง 12

ตาราง 12 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกันต่อค่าพาราแอนนิซิดีน

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	ค่าพาราแอนนิซิดีน		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชุดควบคุม	5	11.43±0.02	11.69±0.47	13.60±0.18
	10	12.43±0.16	12.99±0.11	13.07±0.23
	15	12.73±0.05	12.95±0.23	13.33±0.27
ใบมะกรูด	5	11.14±0.07	8.90±0.07	14.79±0.13
	10	12.61±1.07	13.70±0.23	14.94±0.31
	15	11.24±0.61	13.78±0.33	12.55±0.91
ขิง	5	12.55±0.60	16.13±1.41	16.68±0.90
	10	14.38±1.32	14.83±0.28	15.77±1.19
	15	15.26±0.34	16.20±0.18	16.44±0.58
ข่า	5	12.71±1.15	13.54±0.41	10.79±0.44
	10	12.12±0.54	12.91±0.62	12.55±0.57
	15	8.83±0.12	9.88±1.13	12.61±0.60
กระเทียม	5	10.75±1.11	12.55±0.72	12.79±1.85
	10	10.81±0.52	12.51±0.16	12.95±0.52
	15	11.15±0.42	11.74±0.21	12.96±0.69
โหระพา	5	10.71±0.18	11.49±0.12	11.44±0.78
	10	11.05±0.09	11.66±0.29	11.50±0.82
	15	11.56±0.45	12.15±0.90	12.44±0.68

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Naz และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันบริโภค (น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง) หลังจากการทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 60 และ 90 นาที พบว่าค่าพาราแอนนิซิดีนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ไฮโดรเปอร์ออกไซด์) มีความคงตัวน้อย สามารถสลายตัวแล้วก่อให้เกิดเป็นสารประกอบอื่นได้ (สารประกอบแอลดีไฮด์)

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี

การเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำมันทอดที่มีชนิด อัตราส่วนของสมุนไพรและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลง โดยค่า L^* ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสว่าง หรือคล้ำของน้ำมัน มีค่าตั้งแต่ 100 (สีขาว) ถึง 0 (สีดำ) พบว่าเมื่อนำน้ำมันทุกตัวอย่างไปให้ความร้อนที่อัตราส่วนของสมุนไพรและระยะเวลาต่างกันนั้น ค่า L^* มีค่าลดลงในทุกชนิดน้ำมันทอด น้ำมันทอดที่มีขิง และใบมะกรูดจะมีค่าความสว่างสูงที่สุด ในขณะที่น้ำมันที่ผสมกระเทียมจะมีค่าความสว่างน้อยที่สุด ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่า อัตราส่วนของสมุนไพรไม่มีผลต่อค่าความสว่าง ($p > 0.05$) สำหรับระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่าความสว่างของน้ำมันทอด ($p < 0.05$) ตาราง 13

ตาราง 13 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกันต่อค่าสี L^*

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	ค่า L^*		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชุดควบคุม	5	4.76±0.27	3.72±0.22	3.45±0.06
	10	4.48±0.13	3.54±0.22	3.34±0.13
	15	4.65±0.09	3.45±0.08	3.45±0.08
ใบมะกรูด	5	9.67±0.72	6.43±0.38	3.86±0.01
	10	8.16±0.75	8.17±1.65	6.26±0.28
	15	6.95±1.27	5.32±0.77	3.34±0.01
ขิง	5	7.53±0.04	7.47±0.06	7.02±0.09
	10	11.74±0.32	9.84±0.98	9.85±0.02
	15	11.27±0.05	11.09±0.32	10.70±0.03
ข่า	5	13.02±0.37	13.14±0.44	12.39±0.61
	10	12.42±0.34	12.78±1.15	12.85±0.24
	15	1.49±0.01	1.40±0.02	0.89±0.02
กระเทียม	5	1.17±0.01	1.61±0.03	1.62±0.03
	10	1.72±0.01	1.49±0.03	1.51±0.00
	15	1.84±0.01	1.68±0.00	1.64±0.01
โหระพา	5	2.02±0.01	1.99±0.02	2.18±0.01
	10	1.54±0.04	1.56±0.02	1.48±0.05
	15	1.76±0.00	1.62±0.03	1.54±0.04

จากการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันทอดนานขึ้นส่งผลให้น้ำมันเสื่อมเสียคุณภาพมากขึ้น โดยสีของน้ำมันทอดที่เข้มขึ้นอาจเกิดจากสารประกอบพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดการรวมตัวกันส่งผลให้น้ำมันสีเข้มขึ้น (Tan *et al.*, 1985) นอกจากนี้อาจเกิดเนื่องมาจากความร้อนเป็นสาเหตุของการหลุดออกของธาตุแมกนีเซียมที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของสารประกอบ

คลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในสมุนไพร ส่งผลให้สารประกอบคลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นฟิโอฟิตินซึ่งมีสีน้ำตาล (Chen and Chen, 1993) จึงส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้ม

ค่า a^* เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นสีแดง ($a > 0$) จนถึงความเป็นสีเขียว ($a < 0$) จากการทดลองพบว่าค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบอัตราส่วนสมุนไพร และเวลาที่ต่างกัน ($p > 0.05$) สำหรับชนิดของสมุนไพรในน้ำมันทอด พบว่า ขิง และข่าให้ค่า a^* ในน้ำมันทอดมีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) ตาราง 14

ตาราง 14 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกัน ต่อค่าสี a^*

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	ค่า a^*		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชูดควบคุม	5	-0.67±1.22	4.32±3.16	-0.24±0.95
	10	-0.67±0.93	3.09±2.66	-0.46±0.84
	15	-0.68±0.79	2.88±2.18	0.30±0.29
ใบมะกรูด	5	1.34±0.96	1.81±0.17	3.22±0.23
	10	1.53±0.38	1.29±1.07	1.13±0.60
	15	1.10±2.10	0.58±0.31	2.94±0.60
ขิง	5	2.88±0.20	3.70±0.33	4.94±0.12
	10	4.40±1.71	6.53±1.18	8.91±0.12
	15	9.02±0.16	8.82±0.64	9.63±0.61
ข่า	5	4.38±0.57	-0.27±0.26	0.53±0.01
	10	0.43±0.01	-1.42±0.02	-0.97±0.04
	15	1.23±0.01	1.17±0.01	0.75±0.02
กระเทียม	5	1.70±0.00	1.52±0.01	1.55±0.01
	10	1.61±0.01	1.45±0.02	1.35±0.01
	15	1.67±0.01	0.17±0.00	1.27±0.01
โหระพา	5	3.74±0.02	3.54±0.05	3.63±0.03
	10	3.57±0.07	3.45±0.05	3.34±0.08
	15	3.09±0.01	3.06±0.03	3.11±0.08

ค่า b^* เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นสีเหลือง ($a \geq 0$) จนถึงความเป็นสีน้ำเงิน ($a < 0$) จากการทดลองพบว่าค่า a^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนสมุนไพร และเวลาที่ต่างกัน ($p > 0.05$) สำหรับชนิดของสมุนไพรในน้ำมันทอด พบว่า ขิงให้ค่า b^* ในน้ำมันทอดมีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) ตาราง 15

ตาราง 15 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกัน ต่อค่าสี b*

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	ค่า b*		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชุดควบคุม	5	2.72±0.08	3.24±0.03	2.40±0.17
	10	2.61±0.02	3.15±0.04	2.31±0.01
	15	2.64±0.09	3.18±0.36	2.38±0.21
ใบมะกรูด	5	6.74±0.19	5.97±0.19	5.60±0.04
	10	4.45±0.18	6.47±0.04	5.16±0.31
	15	5.45±1.17	4.85±0.13	2.39±0.01
ขิง	5	10.19±0.15	10.42±0.06	10.00±0.12
	10	10.90±1.46	10.85±0.25	14.34±0.05
	15	16.09±0.22	14.03±0.77	11.76±0.66
ข่า	5	13.98±0.32	12.60±1.13	11.43±0.66
	10	14.12±0.15	12.90±0.19	11.74±0.62
	15	0.37±0.02	0.36±0.02	0.29±0.02
กระเทียม	5	0.34±0.01	0.28±0.01	0.30±0.01
	10	0.24±0.00	0.26±0.01	0.16±0.00
	15	0.21±0.01	0.17±0.00	0.11±0.01
โหระพา	5	2.50±0.02	2.45±0.03	2.76±0.03
	10	1.85±0.03	1.59±0.01	1.73±0.04
	15	2.09±0.01	1.89±0.01	1.68±0.02

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าโพลาร์

ปริมาณสารโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันทอดซ้ำ เป็นตัวบ่งชี้ที่ตีถึงภาพรวมของการเสื่อมสภาพของน้ำมัน ซึ่งเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ในกลุ่มประเทศยุโรป และเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค กระทรวงสาธารณสุข (2547) ได้กำหนดสารโพลาร์ทั้งหมดในน้ำมันทอดอาหาร โดยเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 25 หากเกินกำหนดต้องเปลี่ยนน้ำมันใหม่ สารโพลาร์เป็นสารประกอบที่มีประจุซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการทอดอาหาร โดยไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีประจุในน้ำมัน (นอนโพลาร์) เกิดการไฮโดรไลซิส และออกซิเดชัน ได้เป็นสารประกอบที่มีประจุ เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ออกซิไดซ์ไตรกลีเซอไรด์ สารทุติยภูมิของออกซิเดชัน ไซคลิกโมโนเมอร์ ไดเมอร์และโพลีเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกออกซิไดซ์ (Fennema, 1985)

จากรายงานการวิจัยพบว่าสารโพลาร์ เป็นสารที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งได้ หากรับประทานอาหารทอดที่มีการใช้น้ำมันทอดซ้ำ และใช้ความร้อนสูงในการทอดเป็นประจำ (Hageman et al., 1990)

จากการวิเคราะห์ค่าโพลาร์ของน้ำมันพบว่า น้ำมันทอดทุกชุดการทดลองมีค่าโพลาร์เพิ่มขึ้นจากการให้ความร้อน โดยน้ำมันที่มีการเติมสมุนไพรได้แก่ โหระพา จะมีค่าโพลาร์เกิดขึ้นน้อยที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันที่มีการผสมกระเทียม และข่า ตามลำดับ โดยเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าน้ำมันที่มีการเติมสมุนไพรดังกล่าวทั้ง 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่พบว่าน้ำมันที่มีการเติมสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดนี้จะให้ค่าโพลาร์ที่น้อยกว่าน้ำมันชุดควบคุม ($p < 0.05$) สำหรับอัตราส่วนของสมุนไพรและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันนั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ตาราง 16

ตาราง 16 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกันต่อค่าโพลาร์

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	Total polar component (%)		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชุดควบคุม	5	10.7±0.02	11.8±0.01	12.2±0.01
	10	13.5±0.02	12.7±0.04	12.0±0.04
	15	16.8±0.02	16.3±0.05	17.3±0.04
ใบมะกรูด	5	12.3±0.02	11.3±0.03	11.5±0.04
	10	15.2±0.05	12.5±0.03	13.0±0.04
	15	17.3±0.05	19.2±0.06	15.0±0.04
ขิง	5	12.0±0.01	13.0±0.08	14.8±0.02
	10	18.8±0.05	21.7±0.05	20.7±0.05
	15	24.3±0.05	27.7±0.06	23.7±0.09
ข่า	5	11.5±0.001	12.5±0.02	12.0±0.03
	10	14.5±0.02	14.5±0.02	14.0±0.05
	15	16.8±0.02	16.3±0.03	16.0±0.02
กระเทียม	5	13.2±0.02	13.7±0.01	12.5±0.01
	10	12.7±0.02	13.5±0.02	14.2±0.04
	15	12.8±0.02	14.5±0.02	14.5±0.05
โหระพา	5	11.7±0.01	10.5±0.01	10.8±0.02
	10	11.7±0.05	11.8±0.01	11.5±0.02
	15	11.8±0.02	12.2±0.04	11.8±0.01

ผลของการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด

การเปลี่ยนแปลงความหนืดในน้ำมันทอดแสดงดังตาราง 17 พบว่าทั้งการให้ความร้อนกับน้ำมันที่ใส่สมุนไพรและไม่มีการใส่สมุนไพรความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อพิจารณาอัตราส่วนปริมาณของสมุนไพร และระยะเวลาที่ให้ความร้อนพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสมุนไพรที่ใส่น้ำมันพบว่าไม่มีความแตกต่างเช่นเดียวกัน ($p > 0.05$) ความหนืดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเพิ่มความยาวของสายกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและการสะสมของสารที่ไม่ระเหยในน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้น (Moreira, *et al.*, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sanchez-Gimeno (2008) ที่ศึกษาการทอดมันฝรั่งในน้ำมันมะกอกและน้ำมันดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ครั้งละ 3 นาที ติดต่อกัน 60 ครั้ง โดยไม่มีการเติมน้ำมันระหว่างทอด พบว่ามีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนในการทอดเพิ่มขึ้น

ตาราง 17 ผลของอัตราส่วนของสมุนไพรแต่ละชนิดและระยะเวลาในการให้ความร้อนน้ำมันทอดที่แตกต่างกันต่อค่าความหนืด

ชนิดสมุนไพร	อัตราส่วน	ค่าความหนืด (cp)		
		ระยะเวลาในการให้ความร้อน		
		15 นาที	30 นาที	45 นาที
ชุดควบคุม	5	112.0±2.56	117.0±3.41	117.0±5.69
	10	105.0±2.35	108.0±2.01	109.0±1.12
	15	113.0±2.52	114.0±2.78	115.0±0.69
ใบมะกรูด	5	101.0±1.36	106.0±2.69	111.0±6.02
	10	113.0±5.00	113.0±4.50	114.0±3.20
	15	113.0±2.00	115.0±2.50	119.0±2.90
ขิง	5	109.0±3.00	112.0±5.00	114.0±3.00
	10	116.0±4.00	117.0±3.00	119.0±3.00
	15	101.0±1.00	106.0±3.10	110.0±2.00
ข่า	5	112.0±3.00	113.0±2.50	114.0±3.00
	10	114.0±3.20	115.0±2.30	115.0±3.20
	15	107.0±3.00	110.0±5.00	112.0±3.00
กระเทียม	5	110.0±3.00	111.0±3.00	113.0±3.00
	10	97.9±3.20	104.0±3.40	109.0±3.10
	15	112.0±2.00	114.0±2.30	115.0±3.20
โหระพา	5	105.0±3.20	108.0±3.20	110.0±1.10
	10	111.0±3.00	115.0±4.30	117.0±2.50
	15	116.0±2.90	116.0±3.80	117.0±4.70

สรุปผลการทดลอง

การคัดเลือกสมุนไพรที่ใช้ในการผสมลงในน้ำมันทอดอาหารซึ่งได้แก่ กระเทียม ขิง ข่า ใบมะกรูด และ โหระพา โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของน้ำมันทางด้านเคมี ภายใต้อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส นั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทอดอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส น้อยที่สุด ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาจากค่ากรดไขมันอิสระ ค่าพาราแอนนิซิติน และค่าโพลาร์ ส่วนเมื่อพิจารณาจากค่า TBA และค่าความหนืด พบว่าโหระพาก็ให้ผลที่ไม่แตกต่างจากสมุนไพรชนิดอื่นๆ ดังนั้นโหระพาจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในน้ำมันทอดอาหารได้

เนื่องจากสีเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพมาตรฐานน้ำมันทอดอีกอย่างหนึ่ง พบว่าสมุนไพรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีผลต่อค่าสีของน้ำมันทอดอาหารทุกชนิดสมุนไพร ซึ่งส่งผลทำให้สีของน้ำมันทอดอาหารมีสีที่คล้ำ

สำหรับปริมาณอัตราส่วนของสมุนไพรที่ใช้เติมในน้ำมันทอดอาหารและระยะเวลาในการให้ความร้อนกับน้ำมันทอดอาหารนั้น พบว่าสามารถใช้ได้ในอัตราส่วนตั้งแต่ ร้อยละ 5 10 และ 15 และระยะเวลาในการให้ความร้อนคือ 15 30 และ 45 นาที จะส่งผลต่อการเปลี่ยนทางเคมี ภายใต้อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส ที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นการเปลี่ยนแปลงค่าพาราแอนนิซิตินที่พบว่าเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ในการนำสมุนไพรพื้นบ้านของประเทศไทยที่สามารถหาได้ง่าย ราคาถูกมาประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดอาหาร ดังนั้นจึงได้เลือกที่จะนำสมุนไพรที่ผ่านการลดปริมาณความชื้นมาศึกษา ผลจากการศึกษาพบว่าสมุนไพรเหล่านั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี ซึ่งเป็นปัจจัยด้านคุณภาพของน้ำมันทอดด้านหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจ ดังนั้นจึงควรที่จะศึกษาในรูปของสารสกัดจากสมุนไพรเหล่านี้ ซึ่งอาจจะส่งผลในทำให้การยืดอายุการใช้งานน้ำมันทอดอาหารมีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้สมุนไพรที่ใช้ผสมลงในอาหารมีลักษณะกลิ่นเฉพาะ จึงเป็นข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารบางประเภท ดังนั้นอาหารที่มีลักษณะกลิ่นคาว ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์ประมง จึงมีความเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- ชลดา กุลสถาพร และอมรทิพย์ สมสุข. 2544. การศึกษาฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ ตะไคร้. รายงานการวิจัยเภสัชศาสตร์บัณฑิต. ภาควิชาเภสัชเวชและเภสัชพฤกษศาสตร์, คณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. *วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินติ้งเฮาส์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. 2549. *เคมีอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินติ้งเฮาส์.
- เนื่อทอง วนานวัช. 2546. *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประกาศกระทรวงสาธารณสุข 2547. กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดประกอบอาหารเพื่อการจำหน่าย ฉบับที่ 283.
- ไพจิตร จันทรวงค์. 2530. *คู่มือการใช้ประโยชน์และตรวจสอบคุณภาพของพืชน้ำมันและน้ำมันพืช 52 ชนิด*. สายงานเคมีพืชน้ำมันและสารธรรมชาติ กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร.
- วีไล รังสาดทอง. 2545. *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.
- ศรีสุวรรณ นฤนาทวงศ์สกุล. 2547. *เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร*. บรรณาธิการ นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ไพโรจน์ วิริยจารี. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: TRIO Advertising & Media Co., Ltd.
- สันติ ทิพย์วงค์. 2535. สารกันหืนสำหรับอาหาร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- อภิชาติ ศรีปาน. 2550. *เอกสารประกอบการสัมมนา: การใช้เครื่องบดและการคัดขนาดอนุภาค การวัดความหนืด การใช้งานและการดูแลตู้ควบคุมอุณหภูมิ และเครื่องชั่งความละเอียดสูงสำหรับห้องปฏิบัติการ*. บริษัท ไชแอนติพิค โปรโมชัน จำกัด
- อรุณี อภิชาติสร่างกูร. 2548. *การวิเคราะห์อาหารชั้นสูง*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- AOCS. 2009. Official Method and Recommended Practices. American Oil Chemists' Society Champaign.
- Aurand, L.W. 1987. Lipids. Food Composition and Analysis. Van Nostrand reinhold Company New York, 178-231.
- Barik, B.A., Kunda, A.B. and Dey, A.K. 1987. Teo phenolic content from *Alpinia galangal* rhizome. J. Phytochem. 26:1216.
- Bhargava, K.P. and Sing, N. 1981. Anti-stress activity of *Ocimumcanum*. Ind. J. Med. Res. 73:443-451.
- Boskuo, D. 2006. Source of natural phenolic antioxidant. J. Food Sci. Tech. 17:505-512.
- Bowers, J. 1992. Fats and Oils in Foods. Food Theory and Applications. 2nd ed., Maxwell Macmillan International Editions.

- Buge, J.A. and Aust, S.D. 1978. Microsomal lipid peroxidation, *Method in Enzymology*. 52: 302-310.
- Cheah, P.B. and Abu-Halim, N.H. 2000. Natural antioxidant extract from galangal (*Alpinia galangal*) for mined beef. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1565-1571.
- Chen, B.H. and Chen, Y.Y. 1993. Stability of chlorophylls and carotenoids in sweet potato leave during microwave cooking. *J. Agri. Food Chem.* 41: 1315-1320.
- Che Man, Y.B. and Jaswir, I. 2000. Effect of rosemary and sage extracts on frying performance on refined, bleached and deodorized (RBD) palm olein during deep-fat frying. *Food Chem.* 69:301-307.
- Choe, E. and Min, D.B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science.* 72:77-86.
- Cuvelier, M.E., Berer, C. and Richard, H. 1994. Antioxidant constituent in sage (*Salvia officinalis*). *J. Agri. Food Chem.* 42: 665-669.
- Dana, D. and Saguy, I. S. 2006. Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surface effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, 128-130: 267-272
- Du, H. and Li, H. 2008. Antioxidant effect of Calia essential oil deep-fried beef during the frying processing. *J. Meat Sci.* 78:461-468.
- Fennema, O. R. 1985. *Food Chemistry*. 2^{ed}. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Frankel, E.N. 1984. Lipidoxidation: mechanism, products and biological significance. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61: 1908-1917.
- Garayo, J. and Moreira, R. 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55:181-191.
- Godon, H.M. 2001. The development of oxidative rancidity in Food. *In Antioxidant in Food*. (Porkorny, J., Yanihlie, N. and Godon, M.H., ed.) p. 7-20. CRC Press. New York.
- Hageman, G., Verhagen, H., Schutte, B. and Kleinjans, J. 1990. Biological effects of short-term feeding to rats of used deep-frying fats in relation to fat mutagen content. *Food Chem. Toxicol.* 28: 75-80.
- Hirasa, K. and Takemasa, M. 1998. *Spice Science and Technology*. Dekker. New York.
- Ito, N., Hirote, M., Fukushima, S., Tsuda, H., Shirai, T. and Tatematsu, M. 1986. Studies on antioxidant: their carcinogenic and modifying effects on chemical carcinogenic. *J. Food chem.. Toxi.* 24: 1071-1082
- Jadhav, S.J. Nimbalkar, S.S. Kulkarni, A.D. and Madhavi, D.L. 1995. Antioxidant activity of selected commercial seaweed. *In Food Antioxidant: technological, toxicology and health perspective*. (Madhavi, D.L. ed.) p. 5-53. Marcel Dekker. New York.
- Javanamardi, J., Stuhnoff, C., Locke, E. and Vianco, J.M. 2003. Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian (*Ocimum sp.*) acceleration. *J. Food Chem.* 83: 547-550.

- Kamel, A. and Saleh, M. 2000. Recent studies on the chemistry and biological activities of the organosulfur compounds of garlic (*Allium sativum*). J.Nat. Pro. Chem. 23: 455-486.
- Kita, A., Lisin' ska, G. and Golubowska, G. 2007. The effect of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato chips. *Food Chemistry*, 102: 1-5.
- Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. and Marrinos-Kouris, D. 2001. Color changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48:219-225.
- Lee, J., Lee, S., Lee, H., Park, K. and Choe, E. 2002. Spinach (*Spinacia oleracea*) powder as a natural food-grade antioxidant in deep-fat fried products. J. Agric. Food Chem. 50:5664-5669.
- Lewis, M.J. 1996. *Physical Properties of Foods and Processing Systems*. England: Woodhead Publishing Limited.
- Lombard, K., Peffley, E., Geoffriau, E., Thompson, L. and Herring, A. 2005. Quercetin in onion (*Allium cepa* L.) after heat-treatment simulating home preparation. J. Food Comp. Anal. 18: 571-581.
- Lu, Y. and oo, L.Y. 2001. Antioxidant activities of polyphenol from sage (*Salvia officinalis*) J. Food Chem. 75: 197-202.
- Maisuthaisakul, P., Suttajit, S. and Pongsawatmanit, R. 2007. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. J. Food Chem. 100:1409-1418.
- Matusda, H., Pongpiriyadacha, Y., Morikawa, T., Ochi, M. and Yoshikawa, M. 2003. Gastroprotective effects of phrnylpropanoids from the rhizome of *Alpinia galangal* in rat: structural requirement and mode of action. Eur. J. Pharmacol. 471: 59-67.
- Murukami, A, Nakamura, Y., Koshimizu, K. and Ohigashi, H. 1995. Glyceroglycolipid from *Citrus hystrix*, a tradition herb in Thailand, potently inhibit the tumor-promoting activity of 12-O-tetradecanoylphorbol 13-acetate in mouse kin. J. Agri. Food. Chem. 43: 2779-2783.
- Moreira, R., Yi, C.T. and Sun, X. 1996. Total frying use time effects on soybean oil deterioration and on tortilla chips quality. Inter. J. Food Sci. &Technol. 31:287-294.
- Nakatami, N. and Ikeda, K. 1984. Isolation of antioxidative lignin from papua mace. J. Food Sci. Nutr. 32: 67-103.
- Nawar, W.W. 1996. Lipid. In Food Chemistry. (Fennema, O.R. ed). P. 210-243. New York.
- Naz, S., Sheikh, H., Siddiqi, R. and Sayeed, S.A. 2004. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions. Food Chem. 88:253-259.
- Naz, S., Sheikh, H., Siddiqi, R. and Sayeed, S.A. 2005. Deterioration of olive, corn and soybean oil under different conditions. Food Chem. 88: 253-259.
- Nor, F.M., Mohamed, S., Idri., Nor, A.I. and Ismail, R. 2008. Antioxidatives properties of *Pandanus amaryllifolius* leaf extracts in accerated oxidation and deep frying studies. J. Food Chem. 110: 319-327.

- Nor, F.M., Mohamed, S., Idri., Nor, A.I. and Ismail, R. 2009. Antioxidatives properties of *Curcuma longa* leaf extract in accerated oxidation and deep frying studies .J. Am.Oil chem.. Soc. 86:141-147.
- Sanchez-Gimeno, A.C., Negueruela, A. I., Benito, M., Vercet, A. and Oria, R. 2008. Some physical changes in Bajo Arogon extra virgin olive oil during the frying process. Food Chem. 110: 654-658.
- Santos, J.C.O., Santos, I.M.G. and Souza, A.G. 2005. Effect of heating and cooling on rheological parameters of edible vegetable oils. *Journal of Food Engineering*, 67: 401-405.
- Samart, N. 2007. Isolation and identification off alangin and other compounds from *Alpinia galangal* Linnaeus wild. and *Alpinia officinarum* hance. Suranaree University of Technology.
- Shahidi, F., Janitha, P.K. and Wanasundara, P.D. 1992. Phenolic antioxidant. J. Food Sci. Nutr. 32: 67-103.
- Shahidi, F. and Wanasundara, U.N. 1996. Stabilization of seal blubber and menhaden oils with green tea catechin. J. Am. Soc. Chem. 73: 1183-1190.
- Shahidul, M.I., Choi, H. and Loot, D.T. 2008. Effects of dietary onion (*Allium cepa* L.) in a high-fat diet Streptozotocin-induced diabetes rodent model. J. Ann. Nutr. Metab. 53: 6-12.
- Shyamala, B.N., Sheetal, Gupta. J., Lakshmi, A. and Jamuna, P. 2005. Leafy vegetable extracta-antioxidant activity and effect on storage stability of heated oil. J. Food. Sci. Emerg. Tech. 6: 239-245.
- Sin, W.W., Wong, Y.C., Mak, C.Y. and Yao, W.Y. 2006. Determination o five phenolic antioxidant in edible oil: Method validation and determination o measurement uncertainly. J. Food Comp. Anal. 19: 784-791.
- Su, L., Yin. J-J., Charlei, D., Zhou, K., Moore, J. and Yu, L. 2007. Total phenolic content chelation capacities and radical-scavenging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip, cinnamon and oregano leaf. J. Food Chem. 100: 990-997.
- Tan, Y.A., Ong, S.H., Berger, K.G., Oon, H.H. and Poh, B.L. 1985. A study of cause o rapid color development o heated refined palm oil. J.Am. Oil Chem. Soc. 62:999-1006.
- Thompson, L.U. and Aust, R. 1983. Lipid changes in French fried and heated oil during commercial deep frying and their nutritional and toxicological implications. J. Food Sci. Tech.: 246-253.
- Tiwari, V., Shanker, R., Srivatasa, J. and Vanker, S.P. 2006. Change in antioxidant activity of spice-tumeric and ginger on heat treatment. J. Environ. Agric. Food Chem. 5: 1313-1317.
- USDA-ARS. 2005. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18. Nutrient Data Laboratory (online). Available: Http: www.ar.usda.gov/sba/bhnrc/ndl (January , 2008)

- Wang, T.Y., chen, M.T., Liu, D.C. and Guo, S.L. 1997. Effects of procedure, pieces, herb and ankarice on quality of Chinese marinated and pieced pork hank. *J. Chem. Soc. Animal Sci.* 26:211-222.
- Warner, K. 1996. Evaluation of lipid quality and stability. *In Food Lipids and Health.* (McDonald, R.E. and Min, D.B., eds.) P. 345-369.. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Yanishieva, N. 2001. Inhibiting oxidation. *In Antioxidant in Food* (Pokory, J., Yanishieva, N. and Godon, M. ed.) p. 22-70. Cambridge. CRC Press, Boca Rston, Woodhead Publishing Limited.
- Zandi, P. and Gordon, H.M. 1999. Antioxidant activity of extracts from old tea leaves. *J. Food Chem.* 64: 285-288.
- Zang, H., Wu, H. and Weng, X.C. 2004. Two novel synthetic antioxidants for deep frying oils. *J. Food Chem.* 84: 219-222.

ภาคผนวก ก

กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(ฉบับที่ 283) พ.ศ. 2547

เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย

ด้วยปรากฏข้อมูลว่าน้ำมันที่นำมาทอดอาหารเพื่อจำหน่าย เมื่อมีการใช้ทอดซ้ำหรือนำไปประกอบอาหารอาจมีสารโพลาร์ในปริมาณสูงและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นจึงสมควรกำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันดังกล่าว

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 39 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้ “น้ำมัน” หมายความว่า น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ และใช้เป็นอาหารได้

ข้อ 2 น้ำมันตามข้อ 1 ที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย มีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก

ข้อ 3 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2547

(ลงชื่อ) สุดารัตน์ เกยุราพันธุ์

(นางสุดารัตน์ เกยุราพันธุ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(คัดจากราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 121 ตอนพิเศษ 125 ง. ลงวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ.2547)

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์

p-Anisidine value

สารที่ใช้

1. Isooctane (2,2,4-trimethylpentane)
2. Glacial acetic acid
3. *p*-Anisidine

การเตรียมสาร

1. เตรียม *p*-Anisidine โดยชั่ง *p*-Anisidine 0.25 g ใส่ Glacial acetic acid 100 ml

ข้อควรระวัง

Isooctane เป็นสารไวไฟ มีพิษถ้ากลืนหรือสูดดมเข้าไป เวลาใช้งานต้องใส่ใน hood *

วิธีการ

1. ชั่งสารตัวอย่าง 0.5-4.0 g ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 ml
2. เจือจางด้วย Isooctane ให้ได้ 25 ml
3. วัด absorbance ที่ 350 nm (A_b) สารที่ใช้วัดนี้จะให้เป็น blank
4. ปิเปตสารตัวอย่างน้ำมันที่เตรียม 5 ml ใส่ในหลอดทดลองที่ 1 และปิเปต Isooctane 5 ml ใส่ในหลอดทดลอง หลอดที่ 2 หลังจากนั้นปิเปต *p*-Anisidine 1 ml ใส่ทั้ง 2 หลอด เขย่าให้เข้ากัน
5. ทิ้งไว้ 10 นาที
6. นำไปวัด absorbance ที่ 350 nm โดยหลอดทดลอง หลอดที่ 2 เป็น blank และหลอดทดลองหลอดที่ 1 เป็น A_s

$$p - A. V. = \frac{25 \times (1.2 A_s - A_b)}{m}$$

TBA (2-Thiobarbituric acid value)

สารที่ใช้

1. 1-butanol
2. TBA (2-Thiobarbituric acid)

การเตรียมสาร

ชั่ง TBA 200 mg ละลายใน butanol 100 ml

ข้อควรระวัง

สาร TBA ไม่ควรเก็บไว้เกิน 1 สัปดาห์

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่าง 50 – 200 mg ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 ml
2. เจือจางด้วย butanol (ค่อยๆ ละลาย)
3. ปิเปตตัวอย่างสารละลายที่เตรียมแล้ว มา 5 ml ใส่ในหลอดทดลองที่แห้ง แล้วปิเปตสารละลาย TBA ที่เตรียมมา 5 ml ปิดฝาและเขย่าให้เข้ากัน เตรียม blank โดยปิเปต TBA 10 ml
4. นำไปแช่ในน้ำร้อน 95 °C นาน 2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นโดยเปิดน้ำไหลผ่าน 10 นาที
5. นำไปวัด absorbance ที่ 530 nm

$$TBA \text{ value} = \frac{50 \times (A - B)}{m}$$

PV (Peroxide value)

สารที่ใช้

1. อะซิติก
2. คลอโรฟอร์ม
3. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
4. แคลเมียมอะซิเตต

การเตรียมสาร

1. เตรียมสารละลาย อะซิติก : คลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 300 : 200 ml เตรียมใน hood นะ
2. เตรียม KI โดยชั่ง KI 5 g ใส่บีกเกอร์ นำบีกเกอร์ไปวางบนภาชนะที่ใส่น้ำแข็ง แล้วเทน้ำกลั่น 5 ml คนให้เข้ากัน (ถ้าไม่ทำในที่เย็นจะไม่ละลาย)
3. เตรียมแคลเมียมอะซิเตต โดยชั่งแคลเมียมอะซิเตต 0.5 g เติมน้ำกลั่น 100 ml

วิธีการ

1. ชั่งน้ำมัน 10 mg ลงในหลอดทดลอง (กลาง)
2. เติมน้ำกลั่นละลายอะซิติก : คลอโรฟอร์มที่เตรียม ลงไป 5 ml
3. เติมน้ำกลั่นละลาย KI 0.25 ml อย่างรวดเร็ว ผสมโดยใช้ vortex
4. ทิ้งไว้ในที่มืดนาน 5 นาที
5. เติมน้ำกลั่นละลายอะซิติก 15 ml ผสมโดยใช้ vortex
6. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 3000 rpm นาน 20 นาที 25°C
7. นำไปวัดค่า absorbance ที่ 353 nm

ภาคผนวก ค

รายชื่อผู้เข้ารับการอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีการยืดอายุน้ำมันทอดอาหาร