เทคนิคเอนแคปซูเลชันของสารประกอบฟีนอลิก
Encapsulation Techniques for Phenolic Compounds

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญอร ไทมสุทธิสกุล
คณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สาขาวิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

Assistant Professer Dr. Pitchaon Maisuthisakul
Dean, School of Science and Technology
Department of Agro-Industrial Product Development Technology
School of Science and Technology
University of the Thai Chamber of Commerce
E-mail: pitchaon__mai@utcc.ac.th

บทคัดย่อ

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่มีคุณค่าซึ่งมีสมบัติในการกำจัดอนุมูลอิสระและจับอย่างซับซ้อนกับโปรตีน จึงทำให้สารนี้ได้รับความสนใจในการป้องกันโรค เช่น มะเร็ง รวมทั้งเป็นสารชะลอความแก่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางหรือโภชนเภสัช เป็นที่น่าเสียดายที่สารนี้ไม่มีความคงตัวต่อแสงและความร้อน รวมทั้งมีความสามารถในการกระจายตัวต่ำหรือละลายน้ำได้ยาก นอกจากนี้ สารกลุ่มนี้ยังมีรสฝาดและขม จึงได้มีการนำเทคนิคเอนแคปซูเลชันมาใช้เพื่อลดข้อเสียดังกล่าว ในบทความนี้ได้นำเสนอหลายหลักการของเอนแคปซูเลชัน ซึ่งได้รับความสำเร็จในการใช้กับสารฟีนอลิกจากพืช โดยเริ่มจากการอธิบายโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดที่นิยมอย่างกว้างขวาง และกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่ใช้โดยย่อ รวมทั้งการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม อาหารและเครื่องสำอาง

คำสำคัญ: เอนแคปซูเลชัน สารประกอบฟีนอลิก อาหาร

Abstract

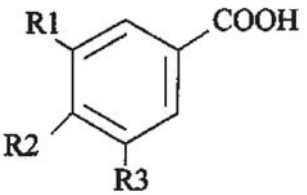
Phenolic compounds are valuable compounds possessing scavenging and complexing properties towards proteins. These abilities make them interesting compounds for the treatment of various diseases like cancer, and for anti-ageing purposes in cosmetic formulations, or nutraceutical applications. Unfortunately, these compounds lack long-term stability, making them very sensitive to light and heat. Moreover, phenolics often present a poor dispersion, mainly due to low water solubility. Lastly, many of these molecules possess a very astringent and bitter taste, which limits their use in food. Encapsulation would appear to be a promising approach to circumvent these drawbacks. Many encapsulation methods are described in this article, among which some have been successfully applied to plant phenolic compounds. After a general presentation of the chemical structure of widely famous phenolic compounds, encapsulation processes applied to polyphenols are reviewed. After a brief description of each encapsulation process, their applications to polyphenol encapsulation for garment, food and cosmetic purposes are presented.

Keywords: Encapsulation, Phenolic Compound, Food

1. สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compounds)

สารประกอบฟีนอลิก คือ สารประกอบที่มีหมู่ฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญ และอาจมีหมู่เคมีอื่น ๆ เข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่างๆ โครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวน (Aromatic Ring) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group) เข้ามาแทนที่ ซึ่งอาจเข้ามาแทนที่ 1 หมู่ หรือมากกว่า สารประกอบฟีนอลิกสามารถจำแนกเป็นกลุ่มได้จากโครงสร้างที่แตกต่างกัน ได้แก่ จำนวนคาร์บอน และหมู่ที่เข้ามาแทนที่ในตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งมีการจำแนกชนิดของสารประกอบฟีนอลิกแล้วมากกว่า 8,000 ชนิด (Kris-Etherton, et al., 2002: 71S-88S) โดยจำแนกเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ กรดฟีนอลิก (Phenolic Acids) ลิกนิน (Lignin) กรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธ์ (Hydroxycinnamic Acid and Derivatives) และ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกแต่ละกลุ่มมีโครงสร้างและองค์ประกอบแตกต่างกัน ซึ่งพบได้ในผักหรือผลไม้ชนิดต่าง ๆ ฟีนอลจากพืชสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มหลัก ๆ โดยใช้จำนวนของคาร์บอนที่เชื่อมต่อกับโครงสร้างหลักของสารประกอบฟีนอลิกเป็นเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1 (Robards, et al., 1999: 401-436)

ตารางที่ 1 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกและอนุพันธ์ที่พบในพืชทั่วไป



Acid	R_1	R_2	R_3
α-Hydroxybenzoic acid	H	OH	H
Protocatechuic acid	H	OH	OH
Vanillic acid	H	OH	OCH_3
Gallic acid	OH	OH	OH
Syringic acid	OCH_3	OH	OCH_3

ที่มา: Robards, et al. (1999: 401-436)

สมบัติที่ได้รับความสนใจอย่างมากของสารประกอบฟีนอลิก คือการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านการกลายพันธุ์ (Anti-mutagens) ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ (Free Radical) โดยสารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่น ๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว (Rice-Evans, Miller and Paganga, 1996: 933-956) ดังนั้นสารประกอบพีนอลิกจึงได้รับความสนใจอย่างมากเพื่อช่วยในการป้องกันการเป็นมะเร็ง และชะลอความแก่ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และอื่น ๆ แต่การใช้สารประกอบพีนอลิกจากธรรมชาติมีปัญหาในเรื่องความไม่คงตัวทั้งจากแสงและอุณหภูมิ และการละลายของสาร รวมทั้งรสฝาดและขมที่มีในสารประกอบฟีนอลิก จึงมีการนำเทคนิคเอนแคบซูเลชันเข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

2. เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)

เอนแคปซูเลชัน คือ กระบวนการที่อนุภาคขนาดเล็กถูกล้อมรอบด้วยการเคลือบ (Coat) หรือเก็บไว้ภายใน (Embed) ในโครงร่างที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้ได้ลักษณะอนุภาคที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ สารที่ถูกเคลือบหรือที่เรียกว่า Core นั้นอาจเป็นสารชนิดเดียวหรือมีส่วนประกอบหลากหลายก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นสารให้กลิ่นหรือ สารที่ไม่ละลายน้ำ แต่สารที่ละลายน้ำ รวมถึงเชื้อจุลินทรีย์ ก็สามารถนำมาห่อหุ้มได้ ส่วนสารที่ใช้ห่อหุ้มหรือ สารเคลือบ (Wall/Coat Material) อาจอยู่ในรูปแบบชั้นเดียว หรือ สองชั้น และมีหลายขนาดหลายรูปร่างขึ้นกับสารที่ใช้เป็น

สารเคลือบ (Gharsallaoui, et al., 2007: 1107-1121)

2.1 สารเคลือบ (Wall Material)

สารเคลือบส่งผลต่อประสิทธิภาพในการห่อหุ้ม รวมถึงความคงตัวของสารที่ถูกห่อหุ้มในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งนี้ สารเคลือบที่นิยมใช้ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเดกซ์ตริน อย่างไรก็ตาม สารเคลือบดังกล่าวมักขาดสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ซึ่งอาจต้องทำการดัดแปรทางเคมีเพื่อเพิ่มสมบัติดังกล่าว ในขณะที่โปรตีนมีสมบัติดังกล่าว จึงถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบ เช่น เวย์โปรตีน โซเดียมเคซิเนต เป็นต้น (Madene, et al., 2006: 1-21)

สารเคลือบจะช่วยป้องกันสารที่ถูกกักเก็บ เช่น วิตามิน สารให้กลิ่นรส และน้ำมันหอมระเหย จากสภาวะแวดล้อมภายนอกและควบคุมการปลดปล่อยสารที่ถูกกักเก็บออกมาจากภายใน ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติของสารเคลือบ สารที่นิยมนำมาใช้เป็นสารเคลือบแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติของสารเคลือบที่ใช้ในการห่อหุ้ม

สารเคลือบ	**สมบัติ**
มอลโตเดกซ์ตริน (DE<20)	สร้างฟิล์ม (Film Forming)
สตาร์ชดัดแปร	อิมัลซิไฟเออร์
กัมอะราบิก	อิมัลซิไฟเออร์ และสร้างฟิล์ม
เซลลูโลสดัดแปร	สร้างฟิล์ม
เจลาติน	อิมัลซิไฟเออร์ และสร้างฟิล์ม
ไซโคลเดกซ์ตริน	ห่อหุ้ม และเป็นอิมัลซิไฟเออร์
เลซิติน	อิมัลซิไฟเออร์
เวย์โปรตีน	อิมัลซิไฟเออร์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Madene, et al. (2006: 1-21)

2.2 เทคนิคเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation Techniques)

เทคนิคในการเอนแคปซูเลชันทำได้หลายวิธี โดยเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) ส่วนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) รวมถึงอิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple Emulsion) ก็เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประยุกต์ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมอาหาร

Encapsulation techniques	Encapsulated form	Application area
Coacervation	Paste/Powder/Capsule	หมากฝรั่ง ยาสีฟัน อาหารอบ
Spray Drying	Powder	ลูกอม นมผง ของหวานกึ่งสำเร็จรูป กลิ่นรสของอาหาร เครื่องดื่มกึ่งสำเร็จรูป
Fluid Bed Drying	Powder/Granule	Prepared dishes, ลูกอม
Spray Cooling/Chilling	Powder	Prepared dishes, น้ำแข็ง
Extrusion	Powder/Granule	เครื่องดื่มกึ่งสำเร็จรูป ลูกอม ชา
Molecular Inclusion	Powder	Confectionery, เครื่องดื่มกึ่งสำเร็จรูป ขนมอบกรอบ
Freeze Drying	Powder	นมผงที่มีเชื้อจุลินทรีย์
Multiple Emulsion	Liquid	ครีมเค็ม aromatic mayonnaise

ที่มา: ดัดแปลงจาก Madene, et al. (2006: 1-21) และ Jimnez-Colmenero (2013)

3. เอนแคปซูเลชันสารประกอบฟีนอลิก

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันของสารประกอบฟีนอลิกนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเสริมและเภสัชกรรมเป็นส่วนใหญ่ (Scalbert, et al., 2005: 2155-2175) สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ทางชีวภาพหลายอย่าง เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านการอักเสบ สารต้านจุลชีพ และสารต้านไวรัส (Bennick, 2002: 184-196) จากข้อมูลงานวิจัยพบว่าสารประกอบฟีนอลิกสามารถลดอัตราการเกิดมะเร็ง หลอดเลือดหัวใจตีบ การเสื่อมของสมอง และเบาหวาน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกมีศักยภาพเป็นสารป้องกันทางเคมีและสารป้องกันมะเร็งในมนุษย์ได้ (Arts and Hollman, 2005: 317-325)

โดยทั่วไป สารประกอบฟีนอลิกมีความไวต่อแสง ความร้อน จึงทำให้สารดังกล่าวมีการเสื่อมเสียได้ง่าย การประยุกต์เทคนิคเอนแคปซูเลชันมาใช้ในการห่อหุ้มสารประกอบฟีนอลิกจึงเป็นการยืดอายุสารประกอบฟีนอลิก ทำให้สารดังกล่าวมีฤทธิ์ทางชีวภาพยาวนานขึ้น รวมทั้งคงไว้ซึ่งกลิ่นรส นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ของสารประกอบฟีนอลิกอีกด้วย ซึ่งปกติเป็นข้อจำกัดของการนำสารประกอบฟีนอลิกมาใช้ที่ความเข้มข้นสูง ๆ ปัญหาอีกประการหนึ่งของการนำสารประกอบฟีนอลิกมาใช้ประโยชน์ คือ ความสามารถในการละลายต่ำ จึงไม่สามารถใช้ปริมาณสารในความเข้มข้นที่สูงได้ ทำให้สารออกฤทธิ์ได้ไม่เพียงพอ รวมทั้งต้องการความจำเพาะเจาะจงในการออกฤทธิ์ เช่น ต้องการให้สารประกอบฟีนอลิกออกฤทธิ์ที่บริเวณลำไส้เล็ก จึงมีการนำเทคนิคเอนแคปซูเลชันมาประยุกต์ใช้ เพื่อห่อหุ้มสารดังกล่าวให้ออกฤทธิ์ในบริเวณที่ต้องการและใช้ได้ในความเข้มข้นที่สูงขึ้น เนื่องจากการเอนแคปซูเลชันเป็นการช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของสารประกอบฟีนอลิก

ในอนาคต งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเอนแคปซูเลชันสารประกอบฟีนอลิกจะมุ่งเน้นไปที่กระบวนการ

นำส่ง และศักยภาพการนำหลักการโคเอนแคปซูเลชันมาใช้ นั่นคือการนำสารออกฤทธิ์มากกว่าหนึ่งชนิดมาห่อหุ้มเพื่อให้เกิดการเสริมฤทธิ์ของสารดังกล่าว

4. การประยุกต์ใช้การเอนแคปซูเลชันในผลิตภัณฑ์

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เอนแคปซูเลชันสารออกฤทธิ์ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น อาหาร เครื่องสำอาง ยา และอุตสาหกรรมสิ่งทอ

Harris, et al. (2011: 803-806) ศึกษาการใช้ไคโตซานในการเอนแคปซูเลชันสารสกัดธรรมชาติจาก Yerba Mate ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกจากธรรมชาติเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ซึ่งอนุภาคนาโนของ Yerba Mate เตรียมโดยการทำเจลไอออนของไคโตซานไฮโดรคลอไรด์และโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟส สารออกฤทธิ์ ถูกเติมลงในสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟสและหยดลงในสารละลายไคโตซานไฮโดรคลอไรด์ จากนั้นนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอย นำผงเอนแคปซูเลทที่ได้ไปวิเคราะห์ความคงตัวของสารออกฤทธิ์และความสามารถในการปลดปล่อย จากนั้นนำผงเอนแคปซูเลทของสารออกฤทธิ์ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ทางยาและเครื่องสำอาง

Rodrigues, et al. (2008: 4142-4147) ศึกษาการทำไมโครแคปซูลที่บรรจุกลิ่นลิโมนิน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกจากธรรมชาติ และการนำส่งเข้าเส้นใยผ้า ขั้นตอนการเตรียมไมโครแคปซูลใช้พอลิเมอร์ชนิด Polyurethane-urea ที่เตรียมด้วยวิธี Interfacial Polymerization โดยกระบวนการในขั้นแรกจะเริ่มจากการผสมเฟสของน้ำมัน (ซึ่งประกอบไปด้วย Limonene และ Hexamethylene Diisocyanate) ลงในเฟสน้ำที่ 1 ซึ่งมี Polyvinylalcohol เป็นองค์ประกอบอยู่และทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว นำส่วนผสมดังกล่าวไปผสมด้วยเครื่องผสมที่ความเร็ว 11,000 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เกิดเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาต่อโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ผสมโดยกวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ในระหว่างนี้เติม Polyethylene Glycol, Dibuthyltindilaurate, Ethylenediamine และ Hydrazine แล้วนำไปปั่นแยกโดยเครื่องเซนตริฟิวจ์และชะด้วยสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 และน้ำกลั่นอีก 2 รอบ เพื่อขจัดสิ่งตกค้างจากการทำปฏิกิริยา ไมโครแคปซูลที่ได้จะอยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่มี Triton CA เป็น Wetting Agent อยู่ ขั้นตอนที่สองคือการนำส่งไมโครแคปซูลเข้าเส้นใยผ้า (ใช้วิธี Pad-thermofixed) โดยผสมไมโครแคปซูลที่บรรจุกลิ่นหอมแล้วเข้ากับ Binder และระเหยน้ำออกไป ทำให้ไมโครแคปซูลถูกฝังเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเส้นใยเนื้อผ้า ดังนั้น ผ้าจึงมีกลิ่นหอม

Goula และ Adamopoulos (2012: 639-652) ศึกษาการทำไมโครแคปซูลน้ำมันจากเมล็ด Pomegranate ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารฟีนอลิก เมล็ดดังกล่าวเป็นของเสียจากอุตสาหกรรม โดยใช้นมผงขาดมันเนยเป็นสารห่อหุ้มเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันจากเมล็ด Pomegranate ต่อสารห่อหุ้มคือ 1:9 โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยคือ 187 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 22.80 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถเอนแคปซูเลทสารได้สูงถึงร้อยละ 95.6

Deladino, et al. (2008: 126-134) ศึกษาเทคนิคเอนแคปซูเลชันสารสกัดจาก Llex Paraguariensis เพื่อใช้ประโยชน์เป็นอาหารเสริม พืชชนิดนี้นิยม

บริโภคในอเมริกาใต้ ประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกแร่ธาตุ และวิตามินในปริมาณสูง สารสกัดด้วยน้ำมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูง โดยใช้แคลเซียมอัลจิเนตและไคโตแซนเป็นสารห่อหุ้ม โดยพบว่า การเกิด Alginate Beads และลักษณะเนื้อสัมผัสขึ้นอยู่กับเวลาที่สัมผัสกับสารละลายแคลเซียม อากาศ และเวลาในการสัมผัสกับสารละลายไคโตแซน ซึ่งสามารถเอนแคปซูเลทสารได้สูงถึงร้อยละ 87.1

Ersus และ Yurdagel (2007: 805-812) ศึกษาเทคนิคเอนแคปซูเลชัน สารสกัดแอนโธไซยานินจากแครอทดำ เพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร โดยการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นผนังห่อหุ้ม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียสที่ความเร็วลม 25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ การใช้มอลโตเดกซ์ตริน DE20 มีประสิทธิภาพดีกว่า DE10

Ferreira et al. (2009: 1908-1915) ศึกษาเทคนิคเอนแคปซูเลชัน สารประกอบฟีนอลิกจากแบล็คเบอรี โดยใช้โซเดียมอัลจิเนต เปกติน และ Curdlan เป็นสารห่อหุ้ม พบว่า Curdlan เป็นสารห่อหุ้มที่ดีที่สุดซึ่งสามารถเอนแคปซูเลทสารได้สูงถึงร้อยละ 96.7

สรุป

จากปัญหาเรื่องการละลายและความคงตัวของสารประกอบพีนอลิกทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นจึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหา โดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันเพื่อทำให้สารสกัดมีความคงตัวและง่ายต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ โดยเอนแคปซูเลชัน คือ กระบวนการที่อนุภาคขนาดเล็กถูกล้อมรอบด้วยการเคลือบ หรือเก็บไว้ภายในในโครงร่างที่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้ได้ลักษณะอนุภาคที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ สารที่ถูกเคลือบ หรือที่เรียกว่า Core นั้นอาจเป็นสารชนิดเดียว หรือมีส่วนประกอบหลากหลายก็ได้ ส่วนสารที่ใช้ห่อหุ้มหรือสารเคลือบ มีหลายชนิดทั้งโปรตีนและพอลิแซคคาไรด์ เทคนิคเอนแคปซูเลชันได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อาหาร ยา เครื่องสำอาง และสิ่งทอ

References

Arts, Ilia CW., and Hollman, Peter CH. 2005. “Polyphenols and Disease Risk in Epidemiologic Studied” **The American Journal of Clinical Nutrition.** Vol. 8: 317-325.

Bennick, A. 2002. “Interaction of Plant Polyphenols with Salivary Proteins” **Critical Reviews Oral Biology and Medicine** Vol.13: 184-196.

Deladino, L., et al. 2008. “Encapsulation of Natural Antioxidants Extracted from Llex Paraguariensis” **Carbohydrate Polymers** vol. 71: 126-134.

Ersus, S., and Yurdagel, U. 2007. “Microencapsulation of Anthocyanin Pigments of Black Carrot by Spray Drier” **Journal of Food Engineering** vol. 80: 805-812.

Ferreira, D.S., et al. 2009. “Encapsulation of Blackberry Anthocyanins by Thermal Gelation of Curdlan” **Journal of Brazillian Chemistry** vol. 20: 1908-1915.

Gharsallaoui, A., et al. 2007. " Application of Spray-Drying in Microencapsulation of Food Ingredients: An Overview" **Food Research International** vol. 40: 1107-1121.

Goula, A.M., and Adamopoulos, K.G. 2012. "A Method for Pomegranate Seed Application in Food Industries: Seed Oil Encapsulation" **Food and Bioproduct Process** vol. 90: 639-652

Harris, R., et al. 2011. "Chitosan Nanoparticles and Microspheres for the Encapsulation of Natural Antioxidants Extracted from *Ilex paraguariensis*" **Carbohydrate Polymers** vol. 84: 803–806.

Jimnez-Colmenero, F. 2013. "Potential Applications in the Development of Healthy and Functional Foods" **Food Research International** [On-line serial]. doi:10.1016/j.foodres.2012.02.040.

Kris-Etherton, P. M., et al. 2002. "Bioactive Compounds in Foods: Their Role in the Prevention of Cardiovascular Disease and Cancer" **American Journal of Medicine** vol. 9: 71S-88S.

Madene, A., et al. 2006. "Flavor Encapsulation and Controlled Release: a Review" **International Journal of Food Science and Technology** vol. 41: 1-21.

Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., and Paganga, G. 1996. "Structure-Antioxidant Activity Relationships of Flavonoids and Phenolic Acids" **Free Radicals and Biological Medicine** vol. 20: 933-956.

Robards, K., et al. 1999. "Phenolic Compounds and Their Role in Oxidative Processes in Fruits" **Food Chemistry** vol. 66: 401-436.

Rodrigues, S. N., et al. 2008. "Microencapsulation of Limonene for Textile Application" **Industrial Engineering and Chemical Research** vol. 47: 4142–4147.

Scalbert, A., et al. 2005. "Polyphenols: Antioxidants and Beyond" **American Journal of Clinical Nutrition** vol. 81: 2155-2175.

Assistant Professor Dr. Pitchaon Maisuthisakul graduated with a Ph.D in Product Development from Kasetsart University, Thailand. She is Dean of the School of Science and Technology, University of the Thai Chamber of Commerce. Her main interest is plant phenolic compounds and antioxidant sensory analysis, product development, especially in oral care product including antimicrobial and anti-inflammation capacity of plant extract.