

การห่อหุ้มน้ำมันงาจี๋ม่อนโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และการฉีดพ่นฝอยร่วมกับตู้อบลมร้อน

Perilla Oil Encapsulation by Spray Drying and Foggy Spraying, Combined with Hot air Oven

ฤทัยวรรณ วงศ์ตลาด และ ศิริธร ศิริอมรพรรณ *

Rutaiwan Wongtalad and Sirithon Siriamornpun *

Received: 31 May 2021, Revised: 25 June 2021, Accepted: 14 July 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการห่อหุ้มน้ำมันงาจี๋ม่อน โดยใช้สารห่อหุ้มที่มีอัตราส่วนของมอลโตเดกซ์ตริน และ โปรตีนถั่วเหลือง 9:1 ในน้ำ เพื่อใช้ห่อหุ้มน้ำมันงาจี๋ม่อนทั้งหมด 3 ระดับ ที่ระดับ 10, 20 และ 30% (w/v) โดยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยและการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน เพื่อประเมินคุณสมบัติในการห่อหุ้มน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา และความสามารถในการละลาย ผลการทดลองพบว่าสูตรที่เหมาะสม คือ ไมโครแคปซูลที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย สูตรใช้ปริมาณน้ำมันงาจี๋ม่อน ที่ระดับ 20% (w/v) เนื่องจากมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงที่สุด (80.73%) มีค่าความสามารถในการละลายน้ำได้ดีที่สุด (84.97%) และมีค่าเพอร์ออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 20 มิลลิกรัมสมมูลออกซิเจนต่อกรัมตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าปริมาณความชื้น (4.71%) a_w (0.31) มีค่าสีความสว่าง (L^*) เท่ากับ 91.85 ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) เท่ากับ -0.57 และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) เท่ากับ 9.89 จากการวิเคราะห์คุณลักษณะด้านจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ผิวของไมโครแคปซูลที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย มีการเกาะติดกัน มีรอยบุบตรงกลาง หรือรอยยื่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำมันงาจี๋ม่อน ส่วนไมโครแคปซูลที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ไม่มีรอยบุบตรงกลาง และมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้น ไมโครแคปซูลน้ำมันงาจี๋ม่อนที่ได้จากศึกษาในครั้งนี้ เหมาะสมที่จะนำไปเติมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อเสริมคุณค่าทางอาหารต่อไป

คำสำคัญ: การห่อหุ้ม, น้ำมันงาจี๋ม่อน, มอลโตเดกซ์ตริน, โปรตีนถั่วเหลือง, การละลาย

ABSTRACT

The aim of this study was to develop an encapsulation method for perilla oil, using an encapsulation substance of a mix maltodextrin and soy protein (with the ratio of 9: 1) in water to encapsulate three levels of perilla oil at 10, 20 and 30% w/v. Two encapsulation methods were studied: (1) a spray-drying method and (2) a foggy spray combined with a hot-air oven. The methods were evaluated for their respective ability to encapsulate oil during storage and for the resulting solubility. We found that the optimum formula for encapsulating perilla oil was using 20% (w/v) by spray drying. It gave the highest encapsulation efficiency (80.73%) and solubility (84.97%), plus ac peroxide value (P.V.) of not more than 20% meq oxygen / kg. The final product contained the moisture content of 4.7%, aw of 0.31 and color parameters of L* (91.85), a * (-0.57) and b * (9.89). The microstructure of the samples encapsulated with oil showed (using SEM) that the adhesion, dimples or wrinkles increased with increasing oil content. The microcapsules dried with the hot-air oven had no dent in the middle and had larger particle sizes than those produced by spray drying. Therefore, we succeeded in producing microcapsules of perilla oil suitable for adding to beverage products, thereby providing nutritional quality improvement.

Key words: encapsulation, perilla oil, maltodextrin, soy protein, solubility

บทนำ

งาช้าง (Perilla frutescens) เป็นที่รู้จักกันมานานแล้วว่าเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยกรด α -linolenic (18:3, n-3) มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วประเทศไทย มีรายงานข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบของไขมันและกรดไขมันในพืชจากภูมิภาคต่างๆ พบว่างาช้างมีปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง 34-36% (w/w) ไตรอะซิลกลีเซอรอลเป็นไขมันที่โดดเด่นในเมล็ดงาช้าง 97% (ของไขมันทั้งหมด) และไฟโตสเตอรอล 3% (ของไขมันทั้งหมด) อัตราส่วนของความอิ่มตัว (saturates) : ความไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (monounsaturated) : ความไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturates) อยู่ที่ประมาณ 1: 1: 8 กรดไขมันส่วนใหญ่ คือ กรดอัลฟาไลโนเลนิก (α -linolenic acid ;18:3, n-3) ซึ่งมีปริมาณทั้งหมด 55-60% (Siriamornpun *et al.*, 2006)

กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) เป็นโครงสร้างสายโซ่ที่มีพันธะคู่และส่วนประกอบของ น้ำมันของเหลวบางชนิดที่อุณหภูมิแวดล้อม (Timilsena *et al.*, 2017) กรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่มีอยู่ในน้ำมันพืชและน้ำมันปลาและเราต้องบริโภคเข้าไปเพราะร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้หรือที่เรียกว่า กรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential fatty acid) ซึ่งได้แก่ กรดลิโนเลอิก และ กรดอัลฟาไลโนเลนิก (Domi *et al.*, 2018) ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันชนิดโอเมก้า 6 (ω -6) และโอเมก้า 3 (ω -3) ตามลำดับ กรดไขมันเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพ การศึกษาล่าสุดพบว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวมีส่วนช่วยในการป้องกันโรคเกี่ยวกับระบบและอาการต่างๆ ของร่างกาย รวมถึงโรคหลอดเลือดหัวใจ ความดันโลหิตสูง ไขมันในเลือดสูง มะเร็ง (ถ้าใส่ใหญ่ เต้านม และต่อมลูกหมาก) โรคไต

อักเสบ เบาหวานและความผิดปกติของระบบประสาท (Goyal *et al.*, 2015; Encina *et al.*, 2016; Azizi *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตาม กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีหรือเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหาร รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาร่วมกับส่วนประกอบอื่นๆ ในอาหาร ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวถือว่ามีความไวต่อความร้อนแสงและออกซิเจนเนื่องจากมีพันธะคู่หลายตัว (Albert *et al.*, 2015) การเกิดออกซิเดชันของไขมัน ส่งผลให้เกิดการผลิตเพอร์ออกไซด์ที่เป็นพิษต่อมนุษย์ (Alamed *et al.*, 2009) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เพื่อรักษาคุณภาพของน้ำมันหรือเพื่อป้องกันการก่อตัวของสารพิษจากน้ำมัน (Tan *et al.*, 2017)

การห่อหุ้ม (Encapsulation) เป็นกระบวนการห่อหุ้มสารให้อยู่ในรูปของแคปซูลขนาดเล็ก เรียกว่า ไมโครแคปซูล ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 จนถึง 800 ไมโครเมตร เป็นกระบวนการห่อหุ้มสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการถูกทำลายโดยความร้อน แสง ความชื้น และอากาศ จึงช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา อีกทั้งช่วยเปลี่ยนสถานะสารจากของเหลวเป็นของแข็ง จึงช่วยเพิ่มความเสถียรในกระบวนการขนส่งและเก็บรักษา นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีความสามารถในการควบคุมการปลดปล่อย (Kausadikar *et al.*, 2015) โดยใช้สารห่อหุ้มประเภทโพลีแซ็กคาไรด์และโปรตีน ซึ่งในกระบวนการห่อหุ้ม โดยส่วนใหญ่นิยมใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม เนื่องจากคุณสมบัติด้านการละลาย และระหว่างกระบวนการห่อหุ้มที่มีส่วนผสมที่เป็นอิมัลชัน (น้ำกับน้ำมัน) จึงจำเป็นต้องมีสารที่มีคุณสมบัติที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ได้ ที่ทำหน้าที่ประสานระหว่างน้ำกับน้ำมัน ซึ่งได้แก่สารจำพวก

โปรตีน โดยมีหลายงานวิจัยที่นิยมใช้โปรตีนถั่วเหลืองมาใช้เป็นส่วนผสมของสารห่อหุ้ม (Nesterenko *et al.*, 2013) ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การห่อหุมน้ำมันงาขึ้นม้วน โดยใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอย และการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันงาขึ้นม้วน และยังมีคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดี เพื่อที่จะสามารถนำไปเติมในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์

การทดลองนี้ใช้สารห่อหุ้ม ได้แก่ มอลโตเดกซ์ตริน (DE10) และผงโปรตีนถั่วเหลือง จากบริษัทเคมีภัณฑ์ จำกัด และใช้น้ำมันงาขึ้นม้วน (สกัดเย็น) ตราคอยตุงชัยพืช อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเตรียมอิมัลชันของสารห่อหุ้ม ใช้วิธีการที่ ดัดแปลงวิธีจาก Chang *et al.* (2016) โดยใช้สารห่อหุ้มที่มีอัตราส่วนของ มอลโตเดกซ์ตริน และโปรตีนถั่วเหลือง 9:1 ละลายในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ใช้ห่อหุมน้ำมันงาขึ้นม้วน 3 ระดับ ที่ระดับ 10, 20 และ 30% w/v แล้วโฮโมจีไนส์ ความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที นาน 3 นาที ทั้งหมด 2 ครั้ง จนเกิดเป็นอิมัลชันเพื่อเตรียมนำไปเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อไป

2.2 การห่อหุ้มโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ใช้วิธีการตามวิธีจาก Chang *et al.* (2016) โดยอิมัลชันถูกพ่นฝอยให้แห้งโดยใช้ เครื่องพ่นฝอยขนาดเล็กแบบตั้งโต๊ะ Buchi-290 (Buchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) โดยติดตั้งหัวฉีดละออง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 มิลลิเมตร) อิมัลชันถูกฉีดเข้าไปใน Chamber ขนาด (65 × 110 × 70 เซนติเมตร) ผ่านปั๊ม peristaltic ภายใต้ค่าคงที่ พร้อมการกวาดที่

300 รอบต่อนาที อัตราการไหลของอากาศ คือ 35,000 ลิตร / ชั่วโมง และปรับความดันอากาศอัด เป็น 5 บาร์ กำหนดอุณหภูมิเข้าไว้ที่ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิออก กำหนดไว้ที่ 90 ± 1 องศาเซลเซียส โดยการปรับอัตราปั๊ม (5% - 20%) จากนั้นนำไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อนที่ได้บรรจุ ในถุงอูมิเนียมฟลอยด์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

2.3 การห่อหุ้มโดยวิธีการฉีดพ่นฝอยร่วมกับตู้อบลมร้อน โดยใช้สารห่อหุ้มที่มีอัตราส่วนของ มอลโตเดกซ์ตริน และ โปรตีนถั่วเหลือง 9:1 ใช้ ห่อหุ้มน้ำมันงาขี้ม้อน 3 ระดับ ที่ระดับ 10, 20 และ 30% w/v โดยใช้ขวดฉีดพ่นฝอย (Foggy Spray bottle) เพื่อฉีดพ่นละอองน้ำมันงาขี้ม้อน จากนั้นผสม ด้วยเครื่องตีผสม เป็นเวลา 5 นาที แล้วอบแห้งด้วย ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5 ชั่วโมง คัดแปลงจากวิธีของ Wannarot (2019) นำไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อนที่ได้ บรรจุในถุงอูมิเนียมฟลอยด์ เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

2.4 คุณสมบัติของไมโครแคปซูล โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลนั้นถูกกำหนดโดยวิธี Gravimetric โดยใช้การอบไมโครแคปซูลในตู้อบลมความร้อนด้วย ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นานข้ามคืน ขณะที่วัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ของไมโครแคปซูล โดยใช้ AquaLab Series 3 Water Activity Meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และค่าสีของไมโครแคปซูลจะถูกวัดโดยใช้

Chroma meter และรายงานในรูปของ L^* (ความสว่าง) a^* (สีแดง-สีเขียว) และ b^* (สีเหลือง-น้ำเงิน) และความชื้น รวมถึงค่าวอเตอร์แอคทิวิตี และค่าสี ได้รายงานเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทำการทดลองสามซ้ำ ($n = 3$)

การทดสอบความสามารถในการละลายตามวิธีของ Wongsawat *et al.* (2003) โดยนำผงไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน ~ 1 กรัม มาละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำกระดาษกรองมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนที่ละลายและไม่ละลายน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพการห่อหุ้มน้ำมัน โดยใช้ไมโครแคปซูล ~ 1 กรัม ลงในหลอดเซนติฟิวซ์ ขนาด 50 มิลลิลิตร และเติมเฮกเซน 15 มิลลิลิตร แล้วเขย่าเป็นเวลา 15 วินาที เพื่อสกัดน้ำมันผิว จากนั้นตัวทำละลายจะถูกกรองสองครั้งผ่านกระดาษกรองเบอร์ 3 ด้วยตัวทำละลายจะถูกกรองลงในปิเกตอร์ ขนาด 30 มิลลิลิตร จากนั้นระเหยตัวทำละลายในตู้ดูดควันตลอดคืน จนกว่าเฮกเซนจะระเหยออกหมด จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งน้ำมันเหลือจะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (Encapsulate efficiency, EE%) คำนวณโดยสูตรต่อไปนี้ (Anwar and Kunz, 2011)

$$EE (\%) = (\text{Total oil-Surface oil}) / \text{Total oil} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ Total oil คือความเข้มข้นของน้ำมันในไมโครแคปซูล ข้อมูลถูกรายงานว่าเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ($n = 3$)

การวัดค่าเพอร์ออกไซด์ (PV) โดยใช้ไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน ~ 1 กรัม ผสมกับสารละลายกรดแอซิดิก / คลอโรฟอร์ม (3:2, v/v) 30 มิลลิลิตร ในขวด Erlenmeyer flask ปริมาตร 125 มิลลิลิตร

ตามด้วยการเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว (KI) 0.5 มิลลิลิตร เขย่าสารให้เข้ากัน ตั้งพักไว้เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเติมไอโอดีนและเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยา แล้วเติมสารละลายแป้ง 1% (w/v) 0.5 มิลลิลิตร ที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดมา

ผสมลงในน้ำกลั่น จากนั้นไตเตรทด้วยโซเดียมไนโอไทโอสัลเฟต 0.001 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) จนกระทั่งสีน้ำเงินที่ได้จากการเติมไอโอดีนหายไป โดยที่ค่า PV ของไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน คำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้ (Pegg, 2005)

$$PV = (S-B) \times N \times 1000/W \quad (2)$$

โดยที่ S คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไตเตรทไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน

B คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไตเตรท

N คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

W คือ น้ำหนักน้ำมัน (กรัม) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ($n = 3$)

ลักษณะของโครงสร้างระดับจุลภาค ซึ่งโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน โดยกำหนดที่ (S) คือไมโครแคปซูลที่ผ่านทำแห้งแบบพ่นฝอย และ (H) คือไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน แล้วทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน ตามปริมาณของน้ำมันงาขี้ม้อน 10, 20 และ 30% (w/v) ตามลำดับ ซึ่งถูกถ่ายภาพโครงสร้างใช้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (HITACHI -TM 4000 PLUS, Japan) ทำงานที่ 15 กิโลโวลต์ โดยมีแรงดันห้องตัวอย่าง 4.0×10^{-6} ทอร์ ซึ่งไมโครแคปซูลถูกเคลือบด้วยทองคำประมาณ 200 Å (Edwards S-150B Plasma Sputter Coater) เพื่อให้ตัวอย่างนำไฟฟ้าและสังเกตได้ที่กำลังขยาย 500x ด้วยระยะการทำงาน 7 มิลลิเมตร

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ จากการทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละวิธีด้วยวิธีแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p value < 0.05) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows version 19.0 และรายงานว่าเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ หนึ่งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(ยกเว้นการทดสอบความสามารถในการละลายน้ำ และการวัดค่าเพอร์ออกไซด์ (PV))

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม้อน ดังตารางที่ 1 พบว่าค่าปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) ของไมโครแคปซูลของทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 4.70% - 4.73% และมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี อยู่ในช่วง 0.31-0.33 ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามรายงานของ Jay (2000) ระบุว่าคุณสมบัติสำคัญและลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คืออาหารแห้งเป็นอาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีต่ำ (low water activity food) มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีน้อยกว่า 0.6 เพื่อป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งรา ยีสต์ และแบคทีเรีย ในขณะที่ค่าสี ค่าความสว่าง (L^*) ของแต่ละระดับน้ำมันงาขี้ม้อน ทั้งวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกันของทั้ง 2 วิธี พบว่ามีค่าความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่

ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a^*) และค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b^*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้คุณภาพด้านประสิทธิภาพในการห่อหุ้ม พบว่าทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย

วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงกว่าวิธีฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chang *et al.* (2016) ที่พบว่าวิธีการห่อหุ้มน้ำมันคาโนล่าด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มที่สูง

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันงาจี๋ม่อน โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย และวิธีการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน

Formulations	ความชื้น (%) ^{ns}	a_w^{ns}	ค่าสี			ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (%)
			L*	a^*	b^*	
S 10%	4.70±0.21	0.31±0.01	95.29±0.23 ^a	-0.56±0.02 ^b	9.17±0.17 ^d	80.47±0.15 ^a
S 20%	4.71±0.02	0.31±0.00	91.85±0.58 ^a	-0.57±0.01 ^b	9.89±0.32 ^d	80.73±0.21 ^a
S 30%	4.72±0.02	0.32±0.01	92.00±1.08 ^a	-0.47±0.04 ^a	12.18±0.63 ^c	79.90±0.40 ^b
H 10 %	4.71±0.10	0.31±0.00	85.15±3.92 ^b	-0.51±0.06 ^{ab}	13.85±2.12 ^b	57.90±0.61 ^c
H 20%	4.72±0.13	0.32±0.00	86.88±0.62 ^b	-0.45±0.01 ^a	14.96±0.19 ^{ab}	57.97±0.31 ^c
H 30%	4.73±0.01	0.33±0.02	85.54±0.18 ^b	-0.58±0.07 ^b	16.50±0.13 ^a	53.57±0.40 ^d

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, (a,b,c) หมายถึง อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), (ns) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), (S) หมายถึง ไมโครแคปซูลที่ทำแห้งแบบพ่นฝอย และ (H) หมายถึง ไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน ตามปริมาณของน้ำมันงาจี๋ม่อน ที่ระดับ 10, 20 และ 30% (w/v)

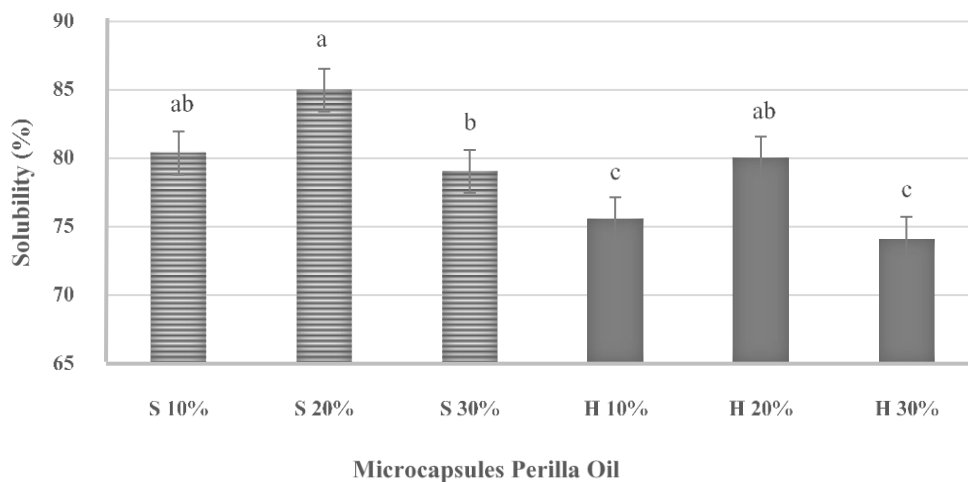
จากผลการทดสอบความสามารถในการละลายในน้ำของไมโครแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยและไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน พบว่าทั้งค่าความสามารถในการละลายในน้ำของทั้ง 2 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นไมโครแคปซูลน้ำมันงาจี๋ม่อน สูตร (H 20 %) ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย (ภาพที่ 1) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าไมโครแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีความสามารถในการละลายในน้ำได้สูงกว่า ไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการทำแห้ง

แบบตู้อบลมร้อน เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าสูตรที่ทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

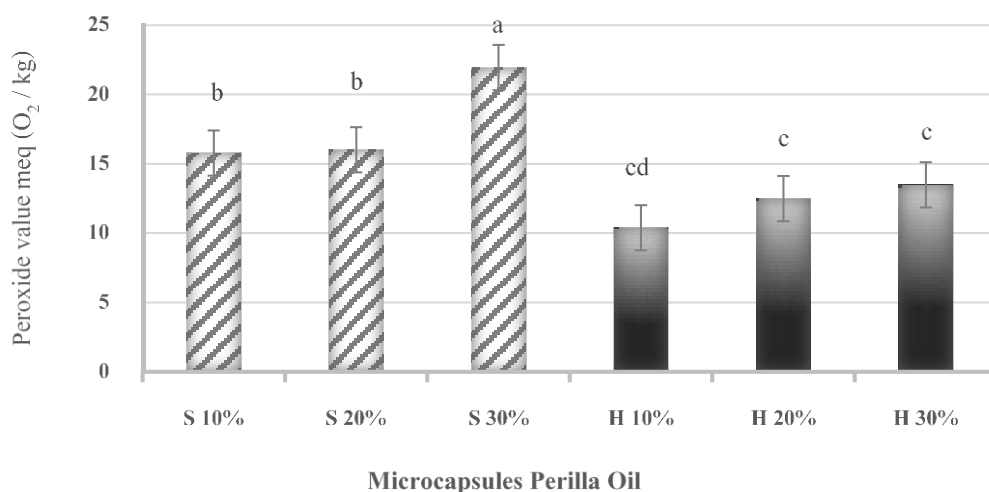
นอกจากนี้ไมโครแคปซูลของทั้ง 2 วิธีมีค่าเพอร์ออกไซด์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และจะเห็นว่าไมโครแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าเพอร์ออกไซด์สูงกว่าไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน (ภาพที่ 2) ซึ่งอาจเกิดจากใช้อุณหภูมิทำแห้งที่สูง ทำให้เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไมโครแคปซูลน้ำมันงาจี๋ม่อน และสูตรที่สามารถละลายน้ำได้ดีที่สุดคือสูตรที่มีปริมาณน้ำมันงาจี๋ม่อน 20% (w/v) ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีความสามารถน้ำได้ดีที่สุด (84.97%) และยัง

มีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 20 มิลลิกรัมสมมูลย์

ออกซิเจนต่อกิโลกรัมตัวอย่าง



ภาพที่ 1 การทดสอบความสามารถในการละลายน้ำของไมโครแคปซูลของน้ำมันงาขี้ม่อน โดยที่ (S) หมายถึง ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ (H) หมายถึง ไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน ตามปริมาณของน้ำมันงาขี้ม่อน ที่ระดับ 10, 20 และ 30% (w/v)



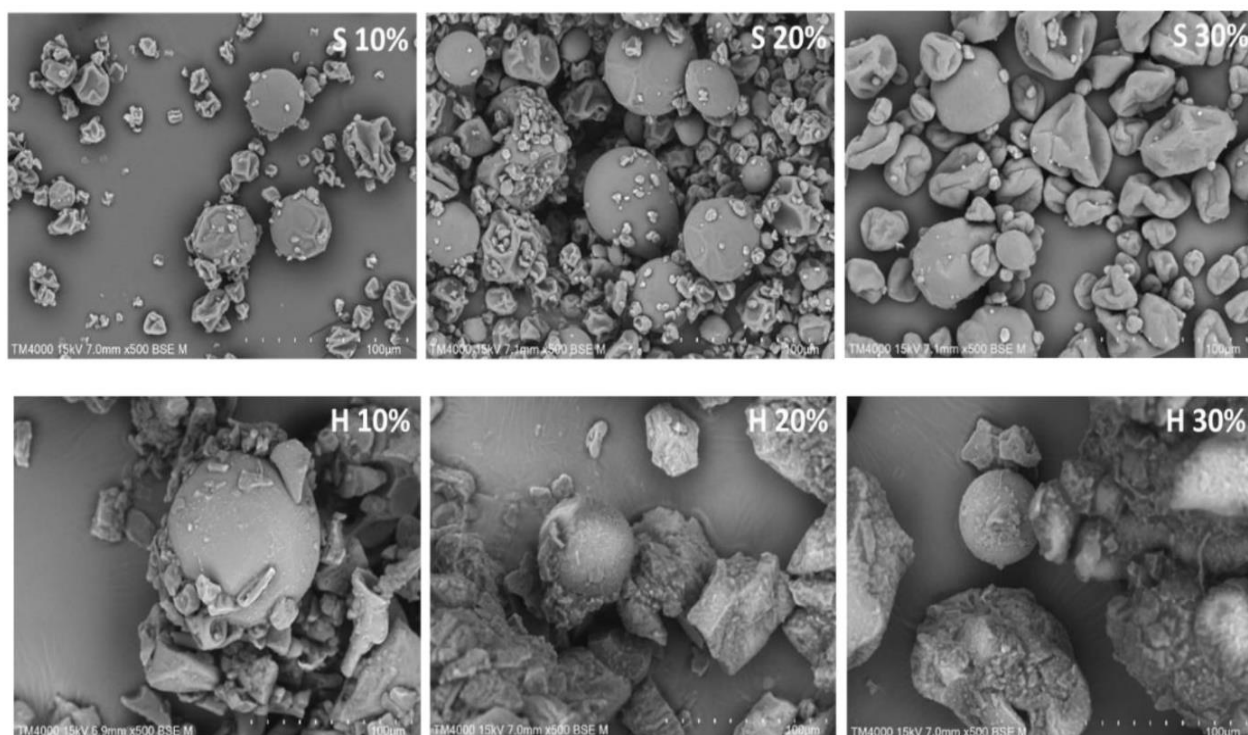
ภาพที่ 2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม่อนระหว่างการเป็นรักษาเวลา 30 วัน โดยที่ (S) หมายถึง ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ (H) หมายถึง ไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน ตามปริมาณของน้ำมันงาขี้ม่อน ที่ระดับ 10, 20 และ 30% (w/v)

ลักษณะโครงสร้างและพื้นผิวของไมโครแคปซูลน้ำมันงาขี้ม่อน ซึ่งถ่ายภาพโดยใช้กล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มและทำแห้ง

แบบพ่นฝอย อนุภาคมีลักษณะเกาะติดกัน และรูปทรงแตกต่างกันออกไป โดยมีทั้งรูปทรงคล้ายทรงกลมที่เกิดจากการพองตัวขึ้น และบางส่วนมีการหดตัว ทำให้เกิดรอยบุบตรงกลาง นอกจากนี้จะเห็นว่าเมื่อปริมาณน้ำมันงาจืดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ลักษณะพื้นผิวรอยบุบตรงกลาง และขนาดไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากความร้อนที่สูงทำให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว และสูญเสียความชื้น (Silva *et al.*, 2013) จึงทำให้มีรอยยุบ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการขยายตัวและความเร็วถือเป็นผลมาจากการหดตัวของผนังที่ไม่สม่ำเสมอในระหว่างการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Sheu

and Rosenberg, 1998) ในขณะที่ ไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยร่วมกับตู้อบลมร้อน พบว่ามีขนาดอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอ รูปทรงแตกต่างกันออกไป และมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งรูปทรงที่มีทรงกลมเป็นอนุภาคส่วนที่มีห่อหุ้มน้ำมันอยู่ และมีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างจากไมโครแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งอาจเกิดการใช้อุณหภูมิการทำแห้งที่ต่ำกว่า ทำให้มอดโตเดกซ์ตรินไม่เกิดการพองตัว และเกิดการหดตัวที่จะทำให้เกิดรอยบุบและเว้าลงไป



ภาพที่ 3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500x โดยที่ (S) หมายถึง ไมโครแคปซูลที่ทำห่อหุ้มด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ (H) หมายถึง ไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยน้ำมันร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน ตามปริมาณของน้ำมันงาจืดที่ระดับ 10, 20 และ 30% (w/v)

สรุป

จากการศึกษาการห่อหุ้มน้ำมันงาจืด โดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และ

การฉีดพ่นฝอยน้ำมัน โดยใช้ขวดฉีดพ่นฝอย (foggy spray bottle) แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อน พบว่า มีค่าปริมาณความชื้น และค่าออสโมติกแอคติวิตี (a_w) ของไม

โครแคปซูลของทุกสูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าปริมาณความชื้น อยู่ในช่วง 4.70% -4.73% และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี อยู่ในช่วง 0.31-0.33 มีค่าสี ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ของทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม พบว่าวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีทำแห้งแบบการฉีดพ่นฝอยน้ำมัน ร่วมกับการใช้ตู้อบลมร้อน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงกว่าวิธีทำแห้งแบบการฉีดพ่นฝอย น้ำมัน ร่วมกับการ ใช้ตู้อบลมร้อน และค่าความสามารถในการละลายในน้ำ พบว่าไมโครแคปซูลของทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) และไมโครแคปซูลที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความสามารถละลายน้ำได้ดีกว่า แต่สูตรที่ใช้การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าเพอร์ออกไซด์สูงกว่าสูตรใช้การทำแห้งแบบตู้อบลมร้อน ส่วนลักษณะพื้นผิวของไมโครแคปซูลน้ำมันงาจีมีออน พบว่าไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มและทำแห้งแบบพ่นฝอย อนุภาคมีลักษณะของเกาะติดกัน และรูปทรงแตกต่างกันออกไป โดยมีทั้งรูปทรงคล้ายทรงกลมที่เกิดจากการพองตัวขึ้น และบางส่วนมีการหดตัว ทำให้เกิดรอยบุบตรงกลาง ในขณะที่ไมโครแคปซูลที่ผ่านการฉีดพ่นฝอยร่วมกับตู้อบลมร้อน มีขนาดอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอ รูปทรงแตกต่างกันออกไป มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย และมีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างจากไมโครแคปซูลที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นไมโครแคปซูลน้ำมันงาจีมีออนที่ได้จากศึกษาในครั้งนี้เหมาะสมที่จะนำไปเติมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อเสริมคุณค่าทางอาหารต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการพัฒนานักวิจัย และงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท 2562 และ วิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านเหม้า ตำบลสระคู อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Alamed, J., Chaityasit, W., McClements, D.J. and Decker, E.A. 2009. Relationships between Free Radical Scavenging Antioxidant Activity in Foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 57: 2969-2976.
- Albert, B.B., Derraik, J.G.B., Cameron-Smith, D., Hofman, P.L., Tumanov, S., Villas-Boas, S.G., Garg, M.L. and Cutfield, W.S. 2015. Fish oil supplements in New Zealand are highly oxidised and do not meet label content of n-3 PUFA. **Scientific Reports** 5(1): 7928.
- Anwar, S.H. and Kunz, B. 2011. The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: comparison of spray granulation, spray drying, and free drying. **Journal of Food Engineering** 105: 367-378.
- Azizi, N., Najafpour, G. and Younesi, H. 2017. Acid pretreatment and enzymatic saccharification of brown seaweed for polyhydroxybutyrate (PHB) production using *Cupriavidus necator*. **International Journal of Biological Macromolecules** 101: 1029-1040.

- Chang, C., Varankovich, N. and Nickerson, M.T. 2016. Microencapsulation of canola oil by lentil protein isolate- based wall Materials. **Food Chemistry** 212: 264-273.
- Dorni, C., Sharma, P., Saikia, G. and Longvah, T. 2018. Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India. **Food Chemistry** 238: 9-15.
- Encina, C., Vergara, C., Gimenez, B., Oyarzun-Ampuero, F. and Robert, P. 2016. Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil. **Trends in Food Science and Technology** 56: 46-60.
- Goyal, A., Sharma, V., Sihag, M.K., Tomar, S.K., Arora, S. and Sabikhi L. 2015. Development and physico-chemical characterization of microencapsulated flaxseed oil powder: a functional ingredient for omega-3 fortification. **Powder Technology** 286: 527-537.
- Jay, J.M. 2000. **Modern Food Microbiology**. 6th Edition. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg.
- Kausadikar, S., Gadhave, A.D. and Wanghmare, J. 2015. Microencapsulation of lemon oil by spray drying and its application in flavor tea. **Advances in Applied Science Research** 6(4): 69-78.
- Nesterenko, A., Alric, I., Silvestre, F. and Durrie, V. 2013. Vegetable proteins in microencapsulation: A review of recent interventions and their effectiveness. **Industrial Crops and Products** 42: 469-479.
- Pegg, R.B. 2005. Measurement of primary lipid oxidation products, pp 515-564. In Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D.M. and Sporns, P., eds. **Handbook of food analytical chemistry**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. **Journal of Food Science** 63(3): 491-494.
- Silva, P.L., Stringheta, P.C., Teófilo, R.F. and Oliveira, L.R. 2013. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering** 117(4): 538-544.
- Siriamornpun, S., Li, D., Yang, L., Suttajit, S. and Suttajit, M. 2006. Variation of lipid and fatty acid compositions in Thai Perilla seeds grown at different location. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 28(Suppl. 1): 17-21.
- Tan, S.Y., Teh, C., Ang, C.Y., Li, M., Li, P., Korzh, V. and Zhao, Y. 2017. Responsive mesoporous silica nanoparticles for sensing of hydrogen peroxide and simultaneous treatment toward heart failure. **Nanoscale** 9(6): 2253-2261.
- Timilsena, Y. P., Vongsivut, J., Adhikari, R. and Adhikari, B. 2017. Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil. **Food Chemistry** 228: 394-402.
- Wannarot, N. 2019. Product Development of low fat-creamer powder using Hom Mali Rice substitution. Master's Thesis, Mahasarakham University. (in Thai)

Wongsawat, P., Nopparat, M., Ruangdej, K., Phapan, W. and Lertrungpanit, A. 2003. Physical properties of spray dried and reconstituted soya milk, pp. 242-250. **41th Kasetsart University Annual Conference: Agro-**

Industry. Department of Agro Industry, Faculty of Agro Industry, Kasetsart University. (in Thai)