บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกรำขาวก่ำทั้งหมด 7 ตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยข้าวก่ำลืมผัว ข้าวก่ำดอยสะเก็ด ข้าวก่ำพะเยา ข้าวก่ำเชียงราย ข้าวก่ำต่อ ข้าวก่ำปิ้งและข้าวก่ำปาอีคอ รำข้าวขาว 2 ตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยข้าวเหนียวสันป่าตองและข้าวขาวดอกมะลิ 105 นำมาเตรียมตัวอย่างน้ำมันรำข้าวด้วยการบีบเย็นและการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด (supercritical carbon dioxide extraction) จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและสารกลุ่มแอนโธไซยานินด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโทเมตรี วิเคราะห์ปริมาณแกมม่า-โอไรซานอลด้วยเทคนิค reversed-phase HPLC โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิดยูวี พัฒนาวิเคราะห์ปริมาณโทโคไตรอีนอลและโทโคเฟอรอลด้วยเทคนิค reversed-phase HPLC โดยใช้ตัวตรวจวัดชนิดฟลูออเรสเซนต์ วิเคราะห์ปริมาณโทโคไตรอีนอลและโทโคเฟอรอลด้วยเทคนิค reversed-phase HPLC โดยใช้ตัวตรวจวัดฟลูออเรสเซนต์ วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันด้วยเทคนิค GC-MS/MS จากนั้นคัดเลือกตัวอย่างน้ำมันรำข้าวที่มีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แคปซูลเคลือบเอนเทอริกเพื่อนำส่งสารสำคัญไปลำไส้เล็กและลดการสูญเสียสารสำคัญในกระเพาะอาหาร

การเตรียมตัวอย่างน้ำมันด้วยการบีบเย็นได้ปริมาณร้อยละ (%yield) ของน้ำมันรำข้าวอยู่ในช่วงระหว่าง 3.68 - 4.65 โดยที่รำข้าวก่ำลืมผัวได้ปริมาณร้อยละของน้ำมันรำข้าวสูงสุดเท่ากับ 4.65 $\pm$ 0.55 น้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวและน้ำมันรำข้าวก่ำปาอีคอมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 38.59 $\pm$ 1.47 และ 36.74 $\pm$ 1.37 มิลลิกรัม GAE/100 g ของน้ำมันรำข้าวตามลำดับ นอกจากนี้น้ำมันรำข้าวก่ำปาอีคอและน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวยังมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 16.25 $\pm$ 1.56 และ 15.77 $\pm$ 1.63 mg QAE/100 g ของน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ โดยพบว่าน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวและน้ำมันรำข้าวก่ำปาอีคอมีปริมาณสารประกอบแอนโธไซยานินสูงสุดเท่ากับ 6.23 $\pm$ 0.44 และ 6.12 $\pm$ 0.48 mg CAE/100 g ของน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ น้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวมีปริมาณแกมม่า-โอไรซานอลสูงสุดเท่ากับ 9.85 $\pm$ 0.55 mg/100 mg ของน้ำมันรำข้าว มีปริมาณเดลต้า-โทโคไตรอีนอล แกมม่า-โทโคไตรอีนอล แอลฟ่า-โทโคไตรอีนอล เดลต้า-โทโคเฟอรอล แกมม่า-โทโคเฟอรอลและแอลฟ่า-โทโคเฟอรอลสูงสุดเท่ากับ 0.12 $\pm$ 0.02, 1.63 $\pm$ 0.12, 0.24 $\pm$ 0.03, 0.15 $\pm$ 0.03, 1.19 $\pm$ 0.09, และ 0.54 $\pm$ 0.04 mg/g ของน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ

ในขณะที่การเตรียมตัวอย่างน้ำมันรำข้าวด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดได้ปริมาณร้อยละของสารสกัดอยู่ในช่วง 5.56 – 7.15 น้ำมันรำข้าวก่ำปาอีคอมีปริมาณสารประกอบฟี

นอลิกทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 28.24 ± 1.46 mg GAE/100 g ของน้ำมันรำข้าว น้ำมันรำข้าวก่ำบิ้ง น้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวและน้ำมันรำข้าวก่ำปาอีคอมีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูงสุดเท่ากับ 13.58 ± 1.33, 13.27 ± 1.29, และ 13.22 ± 1.16 mg QAE/100 g ของน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ น้ำมันรำข้าวก่ำบิ้งและน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวมีปริมาณสารประกอบแอนโธไซยานินทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 4.48 ± 0.42 และ 4.39 ± 0.38 mg CAE/100 g ของน้ำมันรำข้าว ในขณะที่น้ำมันรำข้าวก่ำปาอีคอมีปริมาณแกมม่า-โอไรซานอลสูงสุดเท่ากับ 10.11 ± 0.48 mg/100 mg ของน้ำมันรำข้าว โดยที่น้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวมีปริมาณเดลต้า-โทโคไตรอีนอล แกมม่า-โทโคไตรอีนอล แอลฟ่า-โทโคไตรอีนอล เดลต้า-โทโคเฟอรอล แกมม่า-โทโคเฟอรอลและแอลฟ่า-โทโคเฟอรอลสูงสุดเท่ากับ 0.13 ± 0.03, 1.57 ± 0.10, 0.22 ± 0.03, 0.12 ± 0.02, 1.06 ± 0.08, และ 0.48 ± 0.03 mg/g ของน้ำมันรำข้าว ตามลำดับ แต่เป็นที่น่าสนใจว่ามีการตรวจวิเคราะห์พบบีต้า-โทโคเฟอรอลในระดับที่ตรวจวัดได้ในน้ำมันรำข้าวก่ำดอยสะเก็ด โดยที่ตรวจวิเคราะห์ไม่พบในตัวอย่างน้ำมันรำข้าวอื่นๆ หรืออาจมีบีต้า-โทโคเฟอรอลเป็นองค์ประกอบแต่มีปริมาณต่ำกว่า LOQ ของวิธีการตรวจวิเคราะห์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23 นาโนกรัม

จากการประเมินต้นทุนการเตรียมตัวอย่างน้ำมันพบว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดนั้นจะมีต้นทุนสูงกว่าการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยการบีบเย็นอย่างน้อยประมาณ 5 เท่า นอกจากนี้จาการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญที่พบในน้ำมันรำข้าวที่สกัดด้วยสองเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่แตกต่างกัน คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้น้ำมันรำข้าวที่สกัดด้วยการบีบเย็นมาพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวแคปซูลชนิดเคลือบเอนเทอริกเพื่อนำส่งน้ำมันรำข้าวไปลำไส้เล็ก นอกจากนั้นยังช่วยป้องกันการปลดปล่อยสารสำคัญในกระเพาะอาหาร อีกทั้งหากพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเม็ดก็มีโอกาสเกิดการสลายตัวของสาระสำคัญเนื่องจากในการเคลือบเอนเทอริกชนิดเม็ดนั้นใช้อุณหภูมิสูง คณะผู้วิจัยจึงเลือกน้ำมันรำข้าวก่ำที่สกัดด้วยการบีบเย็นทั้งหมด 4 ตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัว น้ำมันรำข้าวก่ำปาอีคอ น้ำมันรำข้าวก่ำบิ้งและน้ำมันรำข้าวก่ำต่อมาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวเหนียวสันป่าตองและน้ำมันรำข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งตรวจวิเคราะห์พบกรดไขมันชนิด oleic acid (C18:1 n-9 cis) มากที่สุด รองลงคือ กรดไขมันชนิด linoleic acid (C18:2 n-6 cis), palmitic acid (C16:0), และ stearic acid (C18:0) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณกรดไขมันที่ตรวจวิเคราะห์พบนั้นมีปริมาณไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์สารสำคัญแล้วจะพบว่าน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวจะมีปริมาณสารสำคัญสูงสุด คณะผู้วิจัยจึงเลือกน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวที่สกัดด้วยเทคนิคการบีบเย็นมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แคปซูลชนิดเคลือบเอนเทอริกต่อไป

จากการที่น้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวมีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลว มีสีเข้ม มีความข้นหนืด การนำมาบรรจุแคปซูลจึงต้องหาสารเจือจางที่เหมาะสม ที่สามารถดูดซับน้ำมันรำข้าวก่ำ

ลืมผัวได้ดี เพื่อเปลี่ยนสภาพจากของเหลวข้นหนืดให้เป็นผงแห้งและสามารถไหลได้ดี เหมาะสมที่จะนำมาบรรจุแคปซูลซึ่งจะทำหน้าที่ได้สองอย่างในสูตรตำรับเดียวกันคือช่วยดูดซับและเพิ่มปริมาณ พบว่าสารดูดซับที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัว คือ ผงผสมของ Avicel® pH 101 และ colloidal silicon dioxide ในอัตราส่วนเท่ากับ 4:1 โดยน้ำหนัก โดยมีค่า Carr's Compressibility index เท่ากับ 9.68±1.18 และร้อยละของปริมาณความชื้น 4.46±0.35 จากนั้นนำมาเตรียมเป็นแกรนูลด้วยวิธีแกรนูลเปียกโดยใช้ polyvinyl pyrrolidone K90 ที่ละลายใน isopropyl alcohol เป็นสารยึดเกาะ แคปซูลที่ใช้ในการบรรจุน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวเป็นชนิด DR capsules หรือ delayed release หรือ enteric-coated capsule สำหรับการนำส่งตัวยาไปยังลำไส้เล็กส่วนต้น ขนาดแคปซูล เบอร์ 1 ซึ่งมีความจุโดยประมาณ 0.48 มิลลิลิตร ปริมาณสารที่สามารถบรรจุได้สูงสุดขึ้นกับความหนาแน่นของแกรนูล (ความหนาแน่นของแกรนูล 0.6-0.8 กรัม/มิลลิลิตร ปริมาณที่บรรจุมีน้ำหนัก 288-384 มิลลิกรัม) และเนื่องจากแกรนูลน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวมีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ (tapped density = 0.41±0.02) ปริมาณแกรนูลน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวที่บรรจุได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 364±14.1 มิลลิกรัม

จากการควบคุมคุณภาพของแคปซูลน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวที่ได้พบว่า:

1. ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักรวม ได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแคปซูลรวมเท่ากับ 364±14.1 มิลลิกรัมและน้ำหนักของแต่ละแคปซูลอยู่ในช่วงร้อยละ 90-110 ของน้ำหนักค่าเฉลี่ย คือ มีค่าร้อยละ 93.52-105.85 ของค่าเฉลี่ย จึงไม่มีแคปซูลใดมีน้ำหนักอยู่นอกช่วงร้อยละ 90-110 ของน้ำหนักค่าเฉลี่ย

2. ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักสุทธิ ได้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสุทธิของสารที่บรรจุเท่ากับ 364±14.1 มิลลิกรัมและน้ำหนักสุทธิของแต่ละแคปซูลมีค่าเท่ากับร้อยละ 93.52-107.83 มิลลิกรัม จึงไม่มีแคปซูลใดๆ ที่มีน้ำหนักสุทธิแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 10

3. จากน้ำหนักสุทธิของแกรนูลน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวที่บรรจุในแคปซูลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 364±14.1 มิลลิกรัม จากสูตรตำรับแกรนูลจำนวนนี้ จะเทียบเท่ากับปริมาณน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวเท่ากับ 90.48±3.50 มิลลิกรัมต่อแคปซูล (ตามทฤษฎี) ในการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในแคปซูลน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวนั้น คณะผู้วิจัยได้เลือกวิเคราะห์สารสำคัญ 4 ชนิดคือ แกมม่า-โอไรซานอล แกมม่า-โทโคไตรอีนอล แอลฟ่า-โทโคเฟอรอลและแกมม่า-โทโคเฟอรอล เนื่องจากเป็นสารสำคัญที่พบในปริมาณสูงในน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวในการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญโดยใช้ HPLC ได้ปริมาณสารสำคัญ ดังนี้

1)	แกมม่า-โอไรซานอล	8.70 ± 0.50	มิลลิกรัม/แคปซูล
2)	แกมม่า-โทโคไตรอีนอล	0.15 ± 0.03	มิลลิกรัม/แคปซูล
3)	แอลฟ่า-โทโคเฟอรอล	0.05 ± 0.01	มิลลิกรัม/แคปซูล
4)	แกมม่า-โทโคเฟอรอล	0.10 ± 0.02	มิลลิกรัม/แคปซูล

จากการศึกษาการปลดปล่อยสารสำคัญทั้ง 4 ชนิดจากแคปซูลน้ำมันรำข้าวก่ำลืมผัวชนิดเคลือบเอนเทอริกในสภาวะจำลองกระเพาะอาหารและสภาวะจำลองลำไส้เล็กส่วนต้น คือ แกมม่า-โอไรซานอล แกมม่า-โทโคไตรอีนอล แอลฟ่า-โทโคเฟอรอลและแกมม่า-โทโคเฟอรอล ตามลำดับ พบว่าในสภาวะจำลองกระเพาะอาหารมีการปลดปล่อยสารสำคัญทั้ง 4 ชนิดน้อยกว่าร้อยละ 10 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และการปลดปล่อยสารสำคัญเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ คือ มากกว่าร้อยละ 90 ที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) โดยการปลดปล่อยถึงจุดสูงสุดภายใน 60-90 นาที ในสภาวะจำลองลำไส้เล็กส่วนต้น