บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าความสามารถในการพองตัว (swelling capacity) ของเมล็ดแมงลักบดมีค่าสูงกว่าของเมล็ดแมงลักปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการบดทำให้เกิดการแตกออกของส่วนเปลือก และส่วนสีดำของเมล็ดแมงลักจึงส่งผลให้น้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปทำให้สารเมือกในเมล็ดแมงลักพองตัวได้ดีขึ้น อีกทั้งภายในส่วนเอนโดสเปิร์มของเมล็ดแมงลักซึ่งแตกออกมาเนื่องจากการบด อาจมีสารพอลิแซคคาไรด์ที่สามารถเกิดการพองตัวกับน้ำได้เช่นเดียวกับที่บริเวณเปลือกอยู่เช่นเดียวกับที่พบในเอนโดสเปิร์มของพืชเมล็ดต่างๆ เช่น กัวกัม โลคัสบีนกัม เป็นต้น จึงทำให้มีการพองตัวดีขึ้น ค่า swelling capacity จึงสูงขึ้น ดังนั้นจึงอาจสามารถใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของเมล็ดแมงลักบดที่มีค่าความสามารถในการพองตัวดีกว่าเมล็ดแมงลักที่ไม่ผ่านการบด ในการเพิ่มร้อยละของผลผลิต (%yield) ในการผลิตผงเมือกเมล็ดแมงลักได้ต่อไป

5.1.2 องค์ประกอบทางเคมี

จากตารางที่ 4.2 พบว่า เมล็ดแมงลักทั้งเมล็ดมีปริมาณสารอาหารพวกเส้นใยหยาบ (crude fiber) โปรตีน และไขมันอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ อวย เกตุสิงห์ และ อุไร อรุณลักษณ์ (2493) แต่ในส่วนของเมือกเมล็ดแมงลักจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นใยอาหาร (dietary fiber) แต่มีโปรตีนและไขมันในปริมาณต่ำ จึงทำให้คาดคะเนได้ว่าปริมาณโปรตีน และไขมันที่อยู่ในเมล็ดแมงลักนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนที่เป็นส่วนสีดำของเมล็ดแมงลัก ดังนั้นถ้าจะใช้ประโยชน์จากใยอาหารที่มีในเมล็ดแมงลักจึงควรแยกส่วนเมือกออกจากส่วนสีดำซึ่งมีปริมาณโปรตีน และไขมันสูง และส่วนเม็ดสีดำของเมล็ดแมงลักอาจให้สีและลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ได้ จึงควรแยกส่วนเม็ดสีดำออกเพื่อให้ได้ผงเมือกเมล็ดแมงลักที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน

5.2 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงเมือกเมล็ดแมงลัก

5.2.1 ภาวะที่เหมาะสมในการแยกเมือกเมล็ดแมงลัก

5.2.1.1 การแยกเมือกเมล็ดแมงลักแบบแห้งจากเมล็ดแมงลักและเมล็ดแมงลักบด

จากการทดลองแปรอุณหภูมิของน้ำแช่เมล็ดแมงลักเป็น 30-90°C และเวลาในการแช่เป็น 1-6 ชั่วโมง เมื่อนำมาวัดค่าร้อยละของผลผลิต และค่าสี (L,a,b) ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการแช่มีผลต่อร้อยละของผลผลิต และค่าความสว่าง (L) ของผงเมือกเมล็ดแมงลักที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิของน้ำแช่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของผลผลิตจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิสูงในการแช่ทำให้เมล็ดแมงลักพองตัวได้เร็วขึ้น (สมชาย ประยูรรักษ์, 2535) จึงทำให้ %yield เพิ่มขึ้นในเวลารวดเร็วขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ 90°C จะทำให้ %yield ลดลง อีกทั้งการแช่เมล็ดแมงลักที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้ %yield และค่า L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักลดลงอีกด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการละลายของสารพวก mucilage ออกมาในส่วนน้ำที่แช่มากขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสกัด mucilage จากเมล็ดป่าน (Mazza and Biliaderis,1989) ซึ่งพบว่าเมื่อทดลองใช้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงสกัด mucilage จากเมล็ดป่านทำให้ได้ปริมาณ mucilage ละลายออกมาในน้ำที่สกัดมากขึ้น แต่ในวิธีการแยกแบบแห้งที่เลือกใช้นี้เป็นการแยกเมือกออกจากส่วนที่พองอยู่กับเมล็ดแมงลักโดยตรงจึงทำให้ค่า %yield ลดลง รวมทั้งการที่ค่า L ลดลงเมื่อใช้น้ำแช่ที่มีอุณหภูมิสูงนั้นเมื่อนำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา Maillard Browning ได้ผลดังตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิสูงและเวลาในการแช่เมล็ดแมงลักนานขึ้น จะเกิดปฏิกิริยานี้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงอาจมีการแตกตัวของสารพอลิแซคคาไรด์ออกมาเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ที่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนที่อาจเกิดจากการแตกตัวของโปรตีนที่มีอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูงในเมล็ดแมงลักที่อุณหภูมิสูง (Fennema,1985) เกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น อีกทั้งการแช่น้ำที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานอาจเป็นการสกัดสารสีดำที่มีอยู่ในเมล็ดแมงลักให้ละลายออกมาในน้ำแช่มากขึ้น จึงทำให้ผงเมือกเมล็ดแมงลักที่ได้มีสีคล้ำ

จากการทดลองแปรอุณหภูมิของน้ำแช่เมล็ดแมงลักบดเป็น 30-90°C และเวลาในการแช่เป็น 1-6 ชั่วโมง เมื่อนำมาวัดค่าร้อยละของผลผลิต และค่าสี (L,a,b) ได้ผลดังตารางที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการแช่มีผลต่อร้อยละของผลผลิต และ L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)) โดยผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่เมล็ดแมงลักบด ต่อค่า %yield และ ค่า L ในทำนองเดียวกันกับการแยกเมือกเมล็ดแมงลักแบบแห้งจากเมล็ดแมงลักที่ไม่ผ่านการบด แต่ค่า %yield และค่า L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักที่ได้จากการแยกด้วยวิธีนี้จะมีค่าต่ำกว่าการแยกโดยวิธีข้างต้น เมื่อใช้สภาวะเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่การใช้เมล็ดแมงลักบดทำให้มีพื้นที่ผิวให้น้ำแทรกตัวเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารในเมล็ดแมงลักได้มากขึ้น สารเมือกเมล็ดแมงลักจึง

สามารถละลายลงไปในส่วนของน้ำที่แช่มากขึ้น โดยเมื่อกรองน้ำแช่ทิ้งไปจะทำให้เสียสารเมือกส่วนหนึ่งไปด้วย ทำให้ %yield ลดลงมากกว่าการแยกโดยใช้เมล็ดแมงลักที่ไม่ผ่านการบด อีกทั้งการบดนอกจากจะเป็นการลดขนาดทำให้ส่วนสีดำของเมล็ดแมงลักมีขนาดเล็กลง แล้วติดปะปนไปกับผงเมือกได้มากขึ้นแล้ว ยังทำให้มีการแตกออกของเมล็ดสีดำและมีส่วนเอนโดสเปิร์มแยกออกมามากขึ้น ซึ่งเมื่อแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงอาจเกิดการแตกตัวของพอลิแซคคาไรด์พวกแป้ง (starch) และโปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดแมงลัก จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลจากน้ำตาลรีดิวซ์ และหมู่อะมิโนของโปรตีนได้ดีขึ้นกว่าการใช้เมล็ดแมงลักที่ไม่ผ่านการบด (ดังแสดงในตารางที่ 4.5) ผงเมือกเมล็ดแมงลักที่ได้จากการใช้เมล็ดแมงลักบดจึงมีสีคล้ำกว่า (ค่า L ต่ำกว่า) การใช้เมล็ดแมงลักที่ไม่ผ่านการบดทุกสภาวะ

ดังนั้นจึงเลือกภาวะที่เหมาะสมในการแยกเมือกเมล็ดแมงลักแบบแห้งได้เป็น เมล็ดแมงลักที่ไม่ผ่านการบด แช่ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 1 ชั่วโมง และเมล็ดแมงลักบด แช่ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 6 ชั่วโมง

5.2.1.2 การแยกเมือกเมล็ดแมงลักแบบเปียก

จากการทดลองแปรอุณหภูมิของน้ำแช่เป็น 30-60°C เวลาในการแช่เป็น 1-6 ชม. และเวลาในการตีปั่นเมล็ดแมงลักที่พองตัวแล้วเพื่อแยกส่วนเมือกออกจากส่วนสีดำเป็น 1-10 นาที เมื่อนำมาวัด %yield และค่าสี (L,a,b) ได้ผลดังตารางที่ 4.6 พบว่า ที่อุณหภูมิและเวลาในการแช่เท่ากัน เวลาในการตีปั่นจะมีผลต่อ %yield และ L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเวลาในการตีปั่นเพิ่มขึ้น %yield จะเพิ่มขึ้น แต่ค่า L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้เวลาในการตีปั่นนานขึ้นจะส่งผลให้มีการแยกเมือกออกมาจากส่วนเมล็ดดำได้มากขึ้นค่า %yield จึงเพิ่มขึ้น แต่ก็ทำให้ส่วนสีดำของเมล็ดแมงลักถูกปั่นเป็นชิ้นเล็กๆ มากขึ้น เมื่อบีบแยกเมือกออกจึงลอดผ่านผ้ากรองและติดมากับส่วนเมือกได้มากขึ้น ค่า L จึงลดลง แต่ค่า %yield ที่ได้จากการปั่นแยกเมือกที่เวลา 10 นาที จะมีค่าสูงกว่าที่เวลา 1 และ 5 นาทีมาก ดังนั้นแม้ว่าค่า L ที่ได้จะมีค่าค่อนข้างต่ำ จึงเลือกภาวะที่เหมาะสมในการแยกเมือกเมล็ดแมงลักแบบเปียกเป็น แช่ที่อุณหภูมิ 60°C นาน 1 ชั่วโมง และเวลาในการตีปั่นนาน 10 นาที

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Completely Randomized Design เพื่อเปรียบเทียบภาวะการแยกทั้ง 3 วิธี พบว่า การแยกแบบเปียกที่อุณหภูมิ 60°C นาน 1 ชั่วโมง และตีปั่นเมล็ดแมงลักที่พองตัวแล้วนาน 10 นาที เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากให้ค่า %yield สูงกว่าภาวะการแยกอื่นๆ มากซึ่งมีแนวโน้มที่จะประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้มากกว่า แม้ว่าสีของผงเมือก

เมล็ดแมงลักที่ได้จะไม่ดีนัก ดังนั้นจึงมีการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการฟอกสีเมือกเมล็ดแมงลักต่อไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น

5.2.2 ภาวะที่เหมาะสมในการฟอกสีเมือกเมล็ดแมงลัก

เมื่อนำเมือกเมล็ดแมงลักที่ได้จากการแยกที่สภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 5.2.1 มาฟอกสีด้วยวิธี Alkaline Hydrogen Peroxide (AHP) โดยแปร pH ในการทำปฏิกิริยาเป็น 9.0 และ 11.5 และแปรปริมาณ H_2O_2 เป็น 0.1-2.0%(w/v) และเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 1-3 ชม. แล้ววัดค่า L และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ของผงเมือกเมล็ดแมงลัก ได้ผลดังตารางที่ 4.7 พบว่า pH ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณ H_2O_2 มีผลต่อค่า L และปริมาณเกลือของผงเมือกเมล็ดแมงลักอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และไม่พบปริมาณ H_2O_2 ตกค้างในผงเมือกเมล็ดแมงลักที่ทุกภาวะการฟอกสี ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อนำเมือกเมล็ดแมงลักไปอบในตู้อบลมร้อนก็จะทำให้ H_2O_2 สลายตัวเป็นน้ำและออกซิเจน และระเหยไปในที่สุดจึงไม่พบ H_2O_2 ตกค้างอยู่ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการฟอกสีเป็นดังนี้

ปฏิกิริยา AHP (Gould,1985)

สภาวะปกติ : $2\,H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$

สภาวะด่าง : $H_2O_2 \longrightarrow HOO^- + H^+$

(hydroperoxy anion)

$H_2O_2 + HOO^- \longrightarrow OH\bullet + O_2^{-}\bullet + H_2O$

(reactive hydroxyl radical) (superoxide)

มี lignin : $OH\bullet + O_2^{-}\bullet$ + lignin $\longrightarrow$ oxidized lignin degradation products

(น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ละลายน้ำได้ดี สีขาวขึ้น)

โดยการฟอกสีที่ pH 11.5 จะให้ค่า L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักสูงกว่าที่ pH 9.0 ในทุกภาวะเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยา AHP มีค่า pKa ของปฏิกิริยาเท่ากับ 11.5 (Gould ,1985a) จึงทำให้เกิดการแตกตัวของ H_2O_2 ไปเป็นสารพวก reactive radical ที่เข้าทำปฏิกิริยากับ lignin ที่คาดว่าจะเป็นสารให้สีดำในพืช มากขึ้น ปฏิกิริยาการฟอกสีจึงเกิดได้ดี ค่า L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักจึงสูงขึ้น แต่การใช้ pH 11.5 จะให้มีปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เกิดขึ้นในผงเมือกเมล็ดแมงลักสูงกว่าที่ pH 9.0 ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้ pH สูงจำเป็นต้องใช้กรด-ด่างในการปรับ pH ในปริมาณที่สูงขึ้น ดังนั้นในช่วงที่ทำให้เป็นกลางจึงเกิดเกลือมากขึ้นกว่าการใช้ pH ต่ำ และการใช้ปริมาณ H_2O_2 มากขึ้น ทำให้ค่า L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้นที่ทุกค่า pH เนื่องจากเมื่อปริมาณสารตั้งต้นการการเกิดปฏิกิริยามีมากขึ้น ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงเลือกภาวะที่

เหมาะสมในการฟอกสีเมือกเมล็ดแมงลัก คือ ปริมาณ H_2O_2 2.0%(w/v) ที่ pH 9.0 เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง เนื่องจากมีปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นต่ำกว่าที่ pH 11.5 มาก จึงมีข้อดีในการที่ไม่ต้องกำจัดเกลือออก

5.2.3 ภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งเมือกเมล็ดแมงลักด้วยตู้อบลมร้อน

เมื่อนำเมือกเมล็ดแมงลักที่ผ่านการฟอกสีในข้อ 5.2.2 มาแปรอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเป็น 50-70°C วัดค่าสี (L,a,b) และค่าการดูดซับน้ำของผงเมือกเมล็ดแมงลัก พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบด้วยตู้อบลมร้อนมีผลต่อค่า L และค่าการดูดซับน้ำของผงเมือกเมล็ดแมงลักอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบสูงขึ้น ค่า L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักจะสูงขึ้น แต่ค่าการดูดซับน้ำจะลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิต่ำ (เมื่ออบของในปริมาณเท่ากัน) จะใช้เวลาในการทำแห้งนานกว่าการใช้อุณหภูมิสูงมากจึงอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีคล้ำเนื่องจากภาวะการสูญเสียน้ำของพอลิแซคคาไรด์ (Fennema,1985) ในเมือกเมล็ดแมงลัก จึงเป็นเหตุให้ค่า L ของผงเมือกเมล็ดแมงลักที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูงกว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำ แต่การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เมือกเมล็ดแมงลักสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว เกิดภาวะการแข็งตัวที่ผิวด้านนอก (case hardening) ที่สัมผัสกับลมร้อน ซึ่งเป็นลักษณะของการอบด้วยตู้อบลมร้อน จึงทำให้ความสามารถในการดูดน้ำกลับ (rehydration) ของผงเมือกเมล็ดแมงลักต่ำลง ดังนั้นเมื่ออบที่อุณหภูมิสูง ค่าการดูดซับน้ำที่วัดได้จึงลดลง

5.3 องค์ประกอบทางเคมีของผงเมือกเมล็ดแมงลักและกากที่เหลือจากการแยกเมือกเมล็ดแมงลัก

พบว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักที่ได้มีปริมาณใยอาหารเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีโปรตีนและไขมันในปริมาณต่ำ จึงสามารถนำไปใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการเพิ่มปริมาณใยอาหารได้ นอกจากนี้กากที่เหลือจากการแยกเมือกเมล็ดแมงลักยังมีปริมาณโปรตีนและไขมันในปริมาณที่สูงจึงอาจนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์อีกทางหนึ่งด้วย

5.4 คุณสมบัติทางกายภาพของผงเมือกเมล็ดแมงลัก

5.4.1 ลักษณะอนุภาคและพื้นผิว

พบว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักมีลักษณะอนุภาคเป็นแผ่นแบน (flake) ต่างกับ กัวกัม , โลคัสบีนกัม และแซนแทนกัม ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรรมวิธีในการผลิต โดยผงเมือกเมล็ดแมงลักจะใช้การอบแห้งเป็นแผ่นแล้วบดด้วยเครื่องบดแห้งแบบครัวเรือน ซึ่งให้ลักษณะการบดแบบการเฉือน ส่วนกัวกัมและโลคัสบีนกัมจะใช้เครื่องบดในอุตสาหกรรมแป้ง ได้แก่

hammer mill (Fox,1992) และ แซนแทนกัมจะใช้การผลิตโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลม

ส่วนลักษณะพื้นผิวของผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้งแบบหยาบและแบบละเอียด และแซนแทนกัม จะมีความขรุขระสูง ในขณะที่กัวกัม และโลคัสบีนกัมจะมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบ ซึ่งลักษณะพื้นผิวนี้จะส่งผลถึงความเร็วในการพองตัวในน้ำของกัมแต่ละชนิด

5.4.2 **สี**

พบว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบจะมีสีเข้มกว่าแบบละเอียด ทั้งนี้เนื่องมาจากอนุภาคของสารที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีการกระจายแสงได้ดีกว่า จึงให้ค่าความสว่าง (L) สูงกว่า และการที่สีของกัมแต่ละชนิดแตกต่างกันไปนั้นจะขึ้นกับกรรมวิธี ขั้นตอนการผลิต รวมถึงชั้นคุณภาพของกัมชนิดนั้นๆ ด้วย (Fox,1992)

5.4.3 **ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ** (Water Holding Capacity , WHC)

การที่ผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบมีค่า WHC สูงกว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียด อาจเนื่องมาจากเมือกเมล็ดแมงลักมีโครงสร้างเมทริกซ์ที่ใช้ในการอุ้มน้ำ เช่นเดียวกับเส้นใยบางชนิด เช่น เส้นใยจากหัวบีท (Sugar-beet fiber) ซึ่งการลดขนาดอนุภาคจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพกับโครงสร้างเมทริกซ์ที่ใช้ในการอุ้มน้ำของเส้นใยนั้นๆ โดยการบดจะไปทำลายช่องว่างที่ใช้ในการอุ้มน้ำนี้ทำให้อุ้มน้ำได้น้อยลง (Auffret และคณะ, 1994) ดังนั้นผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียดจึงอาจมีการถูกทำลายของโครงสร้างพอลิแซคคาไรด์มากกว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบ ทำให้อุ้มน้ำได้ไม่ดี ค่า WHC จึงมีค่าต่ำกว่า ซึ่งลักษณะนี้จะเป็นลักษณะที่แตกต่างจากกัมชนิดอื่นๆ เช่น กัวกัม , microcrystalline cellulose ที่เมื่อลดขนาดลงตามทฤษฎีจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับกัมเหล่านี้ ทำให้สามารถจับน้ำได้มากขึ้นค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจึงเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Cadden, 1987)

ส่วนการที่กัวกัม โลคัสบีนกัม และแซนแทนกัม ไม่สามารถวัดได้โดยวิธีนี้อาจเนื่องมาจากกัมเหล่านี้มีการละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำอย่างแท้จริง คือเป็น true solution ทำให้ไม่สามารถแยกออกจากน้ำได้แม้จะเหวี่ยงแยกที่ 10000xg ในขณะที่สารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักสามารถแยกออกได้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของกัมนั้นๆ อีกทั้งผงเมือกเมล็ดแมงลักอาจมีการอุ้มน้ำไม่ดีนักเนื่องจากวิธีการทำแห้งด้วยลมร้อน

5.4.4 **ความหนืด** (viscosity)

การที่สารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบ มีความหนืดสูงกว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียดที่ความเข้มข้นเดียวกัน อาจเนื่องมาจากเมื่อดูจากค่า WHC ของผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้ง 2 ชนิดแล้ว อาจสันนิษฐานได้ว่า เมื่อผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่า อนุภาคเมื่อพองน้ำแล้วจึงมีขนาดใหญ่กว่า ดังนั้นการไหล (การเคลื่อนที่) ของอนุภาคในสารละลายจึงเป็นไปได้ช้ากว่า คือต้องใช้แรงมากกว่าในการทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ ความหนืดของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบจึงมากกว่า ส่วนลักษณะความหนืดของกัวกัมที่มีค่าความหนืดต่ำมากที่ความเข้มข้นต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นสูงถึงระดับหนึ่งความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้นในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของกัวกัมที่คาดว่า เมื่อความเข้มข้นต่ำสายพอลิแซคคาไรด์แต่ละสายจะอยู่ห่างกันมีเพียงพันธะพอลิแซคคาไรด์-น้ำ แต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นสายพอลิแซคคาไรด์จะเข้าใกล้กันมากขึ้น และเกิดการจับตัวกันเป็น random coil ด้วยพันธะพอลิแซคคาไรด์-พอลิแซคคาไรด์ ซึ่งแข็งแรงกว่า ความหนืดของสารละลายกัวกัมจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก (Fox, 1992)

5.4.5 **ลักษณะการไหล** (Rheological Behavior)

สารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้ง 2 แบบ จะมีลักษณะการไหลคล้ายกับสารละลายกัวกัม และแซนแทนกัมมาก คือ มีลักษณะการไหลแบบ Newtonian ที่ความเข้มข้นต่ำ และมีลักษณะการไหลแบบ pseudoplastic ที่ความเข้มข้นสูง ซึ่งลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด โดยที่โลคัสบีนกัมจะมีลักษณะการไหลที่เป็นแบบ Newtonian ที่ทุกความเข้มข้น ยกเว้นเมื่อความเข้มข้นสูงมากจึงจะเริ่มมีลักษณะการไหลแบบ pseudoplastic

5.4.6 **ค่าการดูดซับน้ำมัน** (Oil Absorption)

พบว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้ง 2 แบบ มีค่าการดูดซับน้ำมันสูงกว่ากัมที่ใช้ในทางการค้าทุกชนิด และผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียดจะมีค่าการดูดซับน้ำมันสูงกว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าการดูดซับน้ำมันเป็น การวัดการดูดซับน้ำมันบนพื้นผิวของตัวอย่าง เนื่องจากจากการสังเกตพบว่าตัวอย่างไม่พองในน้ำมัน ดังนั้นเมื่อมีการลดขนาดอนุภาคลง จึงมีพื้นที่ผิวต่อกรัมของตัวอย่างมากขึ้น ค่าการดูดซับน้ำมันที่ได้จึงสูงขึ้น

5.4.7 **ค่าความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน** (Emulsion Capacity ,EC)

พบว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบมีค่าความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบมีความหนืดค่อนข้างสูงประกอบ

กับในผงเมือกเมล็ดแมงลักมีปริมาณโปรตีนอยู่ด้วยเล็กน้อย ซึ่งอาจช่วยทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟาย-เออร์ (Fisher และ Mitchell, 1992; Cui และคณะ, 1993) นอกจากนี้การที่ผงเมือกเมล็ดแมงลักมีความชอบน้ำสูง เห็นได้จากค่าการดูดซับน้ำที่ดี จะสามารถดูดซับที่บริเวณผิวของอนุภาคไขมัน อาจสามารถช่วยลดแรงตึงผิวลงจนถึงระดับที่ทำให้อิมัลชันเกิดขึ้น และมีความคงตัวได้ (Reichman และ Garti, 1991) จึงทำให้ค่า EC ของผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบมีค่าสูง ในขณะที่ผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียดมีค่า EC ต่ำกว่าเนื่องจากผลของความหนืดของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียดมีค่าไม่สูงนัก คือ ใกล้เคียงกับสารละลายกัวกัม ดังนั้นค่า EC ของผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียดจึงใกล้เคียงกับกัวกัม ส่วนโลคัสบีนกัมมีปริมาณโปรตีนอยู่สูงถึง ≈ 5% จึงอาจช่วยทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ได้ แม้ว่าสารละลายโลคัสบีนกัมจะให้ความหนืดต่ำมากก็ตาม

5.4.8 ผลของอัตราการเฉือนต่อความหนืดของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลัก

พบว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้ง 2 แบบ และสารละลายกัมทุกชนิดยกเว้นโลคัสบีนกัม จะให้ลักษณะ shear-thinning คือ เมื่อสารละลายได้รับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลง ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเป็นที่ต้องการอย่างมากในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากจะเป็นผลดีต่อกระบวนการผลิตที่ต้องมีการกวนผสม ทำให้เมื่อกวนจะมีการผสมกันได้ดีขึ้น

5.4.9 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลัก

พบว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้ง 2 แบบ และสารละลายกัมทุกชนิด จะมีความหนืดลดลงค่อนข้างมากเมื่อสารละลายได้รับความร้อน ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการเกิด heat penetration ในช่วงของการฆ่าเชื้อ โดยจะต่างกับพวกแป้งที่เมื่อใช้ให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์แล้วเมื่อนำไปให้ความร้อนจะสามารถเกิดเป็นเจลได้ทำให้การลักษณะการกระจายตัวของความร้อนเปลี่ยนแปลงไป และอาจเกิดปัญหาการได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงได้ (Sanderson, 1996)

5.4.10 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อความหนืดของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลัก

พบว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้ง 2 แบบ จะมีความทนต่อเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่ำ โดยดูจากความหนืดที่ลดลงมากเมื่อมีการเติมเกลือเพียง 0.1%(w/v) เช่นเดียวกับสารละลายกัวกัม และสารละลายโลคัสบีนกัม โดยสามารถอธิบายได้จากลักษณะ microstructure ของสารละลายกัม ที่ตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด พบว่าเมื่อมีเกลืออยู่ในสารละลายกัม จะเกิดการแพร่ของน้ำออกจากอนุภาคของกัมที่พองตัวอยู่ ทำให้การพองตัวของกัมลดลง จึงเกิดช่องว่างระหว่างสายพอลิแซคคาไรด์มากขึ้น ความหนืดจึงลดลง แต่สารละลายแซนแทนกัมจะมีความหนืด

เพิ่มขึ้นเมื่อมีเกลืออยู่ในสารละลาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแซนแทนกัมจะมีความสามารถในการเกิดพันธะกับโซเดียมคลอไรด์ได้ลักษณะการเกาะตัวกันของสายพอลิแซคคาไรด์ที่แข็งแรงขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Ma และ Barbosa-Canovas, 1997 ;Urlacher และ Dalbe,1992)

5.4.11 ผลของน้ำตาลซูโครสต่อความหนืดของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลัก

พบว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้ง 2 แบบ และสารละลายกัมที่ใช้ในทางการค้าทุกชนิดจะมีความทนต่อปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นได้ค่อนข้างดี คือ ความหนืดที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อมีปริมาณน้ำตาลในสารละลายกัมสูงขึ้นถึง 10.0%(w/v) ความหนืดของสารละลายกัมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่สามารถตรวจดูลักษณะ microstructure ได้ เนื่องจากลักษณะของตัวอย่างที่ได้จากการทำแห้งแบบเยือกแข็งจะเปลี่ยนไป คือ จากเดิมที่มีลักษณะคล้ายโฟมมีรูพรุนกลับกลายเป็นลักษณะแผ่นแข็ง โดยสันนิษฐานว่าน้ำตาลที่เพิ่มสูงขึ้นอาจไปเกิดพันธะกับสายพอลิแซคคาไรด์ ทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นเล็กน้อย และมีลักษณะเป็นแผ่นแข็งเมื่อนำไปทำแห้งแบบเยือกแข็ง

5.4.12 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลัก

พบว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักทั้ง 2 แบบ และสารละลายกัมที่ใช้ในการค้าทุกชนิด จะมีความทนต่อการเปลี่ยนแปลง pH ได้ค่อนข้างดี คือ ความหนืดที่วัดได้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อ pH เปลี่ยนไป อธิบายได้จากลักษณะ microstructure ของสารละลายกัมที่ pH 5 ที่ตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด พบว่า ลักษณะการจับตัวกันของโครงสร้างในสารละลายกัมแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะปกติ จึงทำให้ความหนืดของสารละลายที่วัดได้ไม่เปลี่ยนแปลงด้วย

5.5 ผลการใช้ผงเมือกเมล็ดแมงลักร่วมกับกัมชนิดอื่น

จากภาพที่ 4.36-4.41 พบว่า มีแนวโน้มการเสริมฤทธิ์กัน คือ มีความหนืดสูงกว่าเมื่อมีกัมชนิดใดชนิดหนึ่งอยู่เพียงชนิดเดียว ที่ความเข้มข้นเดียวกัน (Morris, 1992; Nnanna และ Dawkins, 1996) ระหว่างผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบกับกัวกัม และแซนแทนกัม ที่อัตราส่วนผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบ/กัวกัม เป็น 70/30 และที่ผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบ/แซนแทนกัมทุกอัตราส่วน โดยลักษณะการไหลของสารละลายผสมที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับแซนแทนกัมมาก .ซึ่งแซนแทนกัมมักเกิดการเสริมฤทธิ์กับกัมชนิดอื่นได้ดีอยู่แล้ว แม้แต่กับกัวกัมซึ่งมีกิ่งก้านในสายพอลิแซคคาไรด์มากก็ยังพบการเสริมฤทธิ์กับแซนแทนกัม (Fox, 1992) ดังนั้นจึงอาจสามารถใช้การผสม

กับแซนแทนกัมในการปรับปรุงคุณภาพของผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบได้ แต่ไม่พบการเสริมฤทธิ์กันกับโลคัสบีนกัมที่ทุกอัตราส่วน

ส่วนผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียดพบว่ามีแนวโน้มการเสริมฤทธิ์กันกับกัวกัมและแซนแทนกัม ที่อัตราส่วนผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียด/กัวกัม เป็น 60/40 และ 70/30 และที่ผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบละเอียด/แซนแทนกัม เป็น 50/50 และไม่พบการเสริมฤทธิ์กันกับโลคัสบีนกัมที่ทุกอัตราส่วนเช่นเดียวกันกับผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบ ทั้งที่โลคัสบีนกัมมีโครงสร้างเป็นสายพอลิแซคคาไรด์ที่มีกิ่งก้านน้อยกว่ากัวกัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโลคัสบีนกัมมีการละลายน้ำช้ามาก (เนื่องจากมีกิ่งก้านน้อย) อีกทั้งจะให้ความหนืดได้เต็มที่เมื่อละลายที่อุณหภูมิสูง (Fox, 1992) เมื่อเทียบกับสารพวก mucilage ของเมล็ดแมงลัก ซึ่งสันนิษฐานว่าจะเป็น heteropolysaccharides ที่มีกิ่งก้านสูงมาก (Tharanathan , 1977) เมื่อผสมกันผงเมือกเมล็ดแมงลักดูดน้ำได้เร็วกว่าจึงทำให้โลคัสบีนกัมเหลือน้ำน้อยมากในการขยายตัวของสายพอลิแซคคาไรด์ ทำให้สายพอลิแซคคาไรด์ยืดตัวออกได้ไม่เต็มที่ ประกอบกับสายพอลิแซคคาไรด์ของเมือกเมล็ดแมงลักมีกิ่งก้านมาก จึงทำให้การจับตัวกันเกิดขึ้นไม่ดี จึงไม่เกิดการเสริมฤทธิ์กัน

นอกจากนี้ยังไม่พบการเกิดเจลระหว่างผงเมือกเมล็ดแมงลักกับกัมชนิดใดๆ ทั้งสิ้น โดยพบเพียงแค่การเสริมฤทธิ์กันเท่านั้น อาจเนื่องมาจากการที่ลักษณะสายพอลิแซคคาไรด์ของเมือกเมล็ดแมงลักมีกิ่งก้านสูง จึงไปขัดขวางการจับตัวกันกับสายพอลิแซคคาไรด์ของกัมชนิดอื่น ทำให้ไม่สามารถเกิดพันธะที่แข็งแรงจนให้ลักษณะของเจลได้

5.6 ผลการใช้ผงเมือกเมล็ดแมงลักในผลิตภัณฑ์มายองเนสไขมันต่ำ

เมื่อนำผงเมือกเมล็ดแมงลักชนิดหยาบซึ่งมีค่าความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชันดี มีความทนต่อกรดสูงและความหนืดสูง เติมลงในมายองเนสไขมันต่ำในปริมาณ 0.3-1.0% (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยทดแทนส่วนไข่แดงในสูตร พบว่า มายองเนสไขมันต่ำที่ได้จากการเติมผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบมีความหนืดต่ำกว่ามายองเนสต้นแบบยี่ห้อ ไฮนซ์ มาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้ในการทำมายองเนสไขมันต่ำแตกต่างกัน โดยในอุตสาหกรรมการทำมายองเนส นิยมใช้เครื่อง colloid mill ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถลดขนาดอนุภาคไขมันในมายองเนสให้มีขนาดเล็กมากจนทำให้มายองเนสที่ได้มีความคงตัวสูง อีกทั้งยังให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ข้นหนืดมากกว่าการใช้เครื่อง handmixer ในครัวเรือนมาก (De Bruijne และ Bot, 1999) และอาจเนื่องมาจากชนิดของสารให้ความหนืดที่ใช้แตกต่างกัน โดยในมายองเนสต้นแบบอาจใช้สารให้ความหนืดหรือกัมที่มีความหนืดสูง เช่น แซนแทนกัม ซึ่งนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์มายองเนสทำให้ได้ความหนืดที่สูงมาก (Urlacher และ Dalbe, 1992) แต่ความหนืดของมายองเนสไขมันต่ำที่เติมผงเมือกเมล็ดแมงลัก ยังสูงกว่าสารละลายผงเมือกเมล็ดแมงลักที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบ

อื่นๆ ที่มีในมายองเนส เช่น นมผง น้ำตาล เป็นต้น อีกทั้งความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้ยังแสดงให้เห็นว่าผงเมือกเมล็ดแมงลักสามารถเข้ากันได้ดีกับองค์ประกอบจำพวกโปรตีน

เมื่อติดตามผลความคงตัวของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water) ของมายองเนสไขมันต่ำที่เติมผงเมือกเมล็ดแมงลักทดแทนไข่แดง พบว่า ที่ความเข้มข้นของผงเมือกเมล็ดแมงลักแบบหยาบ 0.3-0.5%(น้ำหนักต่อปริมาตร) มายองเนสที่ได้จะเกิดการแยกชั้นภายใน 2-8 วัน ส่วนที่ความเข้มข้น 0.7-1.0%(น้ำหนักต่อปริมาตร) ไม่พบการแยกชั้นของมายองเนสภายใน 2 เดือน ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านความหนืดของอิมัลชัน โดยคุณสมบัติของกัมที่เป็นสารพวกพอลิแซคคาไรด์จะมีความสามารถในการช่วยให้อิมัลชันเกิดความคงตัว คือ เป็นสารพวก stabilizer โดยการเป็นตัวเพิ่มความหนืดให้กับน้ำ (continuous phase) ทำให้อนุภาคของไขมัน (disperse phase) เคลื่อนเข้าหากันได้ช้าลง ดังนั้นการแยกชั้นจึงเกิดขึ้นช้าลง (Darling, 1987) นอกจากนี้ในระบบอิมัลชันที่มีโปรตีนร่วมอยู่ด้วยเช่นในกรณีมายองเนสไขมันต่ำนี้ ความคงตัวของอิมัลชันอาจเกิดจากโปรตีนทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เคลือบบนอนุภาคของไขมัน แล้วพอลิแซคคาไรด์จะเคลือบทับบนโปรตีนอีกชั้นโดยเกิดพันธะกับโปรตีน ทำให้อนุภาคของไขมันเกิดการรวมตัวกันได้ยากขึ้น อิมัลชันในระบบนี้จึงมีความคงตัวต่อการแยกชั้นมากขึ้น (Bergenstahl , 1988)

ดังนั้นจากการทดลอง พบว่า สามารถนำผงเมือกเมล็ดแมงลักมาใช้ในการผลิตมายองเนสไขมันต่ำได้ เพื่อลดปริมาณไข่แดงที่ใช้ทำให้คอเลสเตอรอลลดลง โดยใช้ในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดอิมัลชันที่คงตัวไม่เกิดการแยกชั้น และอาจต้องใช้สารให้ความหนืดหรือกัมชนิดอื่นร่วมด้วย เพื่อให้ได้ความหนืดในระดับที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย