



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การแยกกัมในกระบวนการผลิตน้ำมันพืช (Feasibility Study)

โดย ผศ.ดร.อนุชา พรหมวังขวา และคณะ

6 พฤศจิกายน 2546

ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

บทสรุป

หัวข้อโครงการ	การแยกกัมในกระบวนการผลิตน้ำมันพืชและการเพิ่มมูลค่ากัม
หัวหน้าโครงการ	ผศ.ดร.อนุชา พรหมวังขวา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ร่วมวิจัย	ผศ.ดร.นวลศรี รักอริยะธรรม
ผู้ประสานงานโครงการ	ผศ.อังกาบ บุญย้อย ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ระยะเวลา	4 เดือน
งบประมาณ	100,000 บาท

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแยกกัม โดยใช้หลักการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และศึกษาองค์ประกอบอาหารที่มีอยู่ในกัม และความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่ากัม เพื่อให้การช่วยเหลือในการแยกกัมออกจากขบวนการผลิตน้ำมันพืชจากเมล็ดถั่วเหลืองของบริษัทเกษตรกิจลานนา จำกัด โดยใช้เครื่อง Disc-type Bowl ที่โรงงานมีอยู่

บทสรุป

บริษัทเกษตรกิจลานนา จำกัด ผลิตน้ำมันพืชดิบ มีกำลังการผลิต 90 ตันวัตถุดิบต่อวัน โดยวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดดอกทานตะวัน เมล็ดนุ่น และรำข้าว ซึ่งการผลิตน้ำมันจากถั่วเหลืองจะมีกัมปนอยู่ในน้ำมันที่ผลิตได้ประมาณร้อยละ 3 ของน้ำหนัก กัมที่เกิดขึ้นนี้ก่อให้เกิดปัญหาตามมาคือ เกิดการตกตะกอนสะสมในถังเก็บทำให้เกิดการอุดตันในท่อส่ง และยากต่อการใช้ปั๊มดูดน้ำมันออกจากถัง ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการขนส่งจากโรงงานไปยังโรงงานต่อเนื่อง นอกจากนี้การมีกัมยังทำให้น้ำมันดิบขายได้ในราคาที่ต่ำ และเสียโอกาสในการต่อช่องทางด้านการตลาด ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแยกกัมโดยใช้เครื่อง Disc-type Bowl และศึกษาความเป็นไปได้ของการเพิ่มมูลค่ากัมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันพืชจากเมล็ดถั่วเหลือง

จากการศึกษาการกำจัดกัมโดยใช้กรดฟอสฟอริก และใช้น้ำเป็นตัวจับฟอสโฟลิปิดให้ตกลงมาเป็นตะกอนในรูปของ Phosphatide hydrate พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกัม หรือการตกตะกอนของฟอสโฟลิปิด คือที่อุณหภูมิ 70 °C โดยใช้ปริมาณกรดฟอสฟอริก 0.06% และใช้ปริมาณน้ำ 1% จะได้ปริมาณตะกอนหรือกัม 1.34 กรัม ซึ่งมีปริมาณกรดฟอสโฟลิปิดในกัม 2.861% และได้ปริมาณน้ำมันคืนมา

94% และเมื่อนำกัมจากน้ำมันถั่วเหลืองไปหาค่าความร้อน พบว่ากัมมีค่าความร้อน 7,072.79 แคลอรี/กรัม หรือ 29.59 กิโลจูล/กรัม เมื่อเทียบกับค่าความร้อนของน้ำมันถั่วเหลืองดิบ ซึ่งมีค่าความร้อน 9,064.51 แคลอรี/กรัม หรือ 37.92 กิโลจูล/กรัม จะเห็นว่ากัมมีค่าความร้อนที่สูงใกล้เคียงกับค่าความร้อนของน้ำมันดิบ แต่การนำกัมมาผสมเป็นเชื้อเพลิงยังไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากเมื่อทำการเผาไหม้ในด้วยโลหะ พบว่า การเผาไหม้กัมจะให้ความร้อนพร้อมกับปฏิกิริยากับโลหะทำให้เกิดผงแข็งติดโลหะอย่างแน่น ถึงแม้ว่า กัมของน้ำมันถั่วเหลืองจะมีค่าความร้อนสูง แต่เมื่อนำไปเผาไหม้จริงๆ จะกระทำไม่ได้ เพราะผงถ่านที่เกิดขึ้นจะไปเกาะติดกับวัสดุที่ใช้ทำการเผาไหม้นั้นได้

สำหรับการทดลองกำจัดกัมโดยใช้เครื่อง Disc-type Bowl ที่ทางโรงงานมีอยู่นั้นไม่สามารถทำได้ ซึ่งอาจเกิดจากเงื่อนไขการควบคุมการทำงานไม่เหมาะสม และทางโรงงานได้ทำการรื้ออุปกรณ์บางส่วนออกไปก่อน ทำให้การดำเนินการปรับปรุงเครื่อง Disc-type Bowl ให้สามารถทำงานจะต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก

จากการวิเคราะห์มูลค่าเพิ่มในกัมพบว่าสามารถแยกน้ำมันออกจากกัมได้ และน้ำมันที่ได้อยู่ในสภาพดีคือ มีสีเหลืองใสประมาณ 25-26% เมื่อทำการแยกฟอสโฟลิปิดออกจากกัมโดยวิธี Aqueous phosphoric acid พบว่า ฟอสโฟลิปิดประมาณ 0.02-0.13% แต่เมื่อแยกฟอสโฟลิปิดโดยวิธี Acetone precipitation พบว่าได้ฟอสโฟลิปิดประมาณ 1.07% คิดเป็น 47-59% ของฟอสโฟลิปิดทั้งหมดในกัม ซึ่งฟอสโฟลิปิดที่รู้จักในทางการค้าคือ เลซิธินสามารถนำมามีประโยชน์ และเมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการแยกน้ำมันจากกัมพบว่า ยังไม่คุ้มค่าเนื่องจากค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสารละลายที่ใช้มีมูลค่าสูง

ผลจากการศึกษานี้ พบว่า การดำเนินการแยกกัมที่โรงงานเกษตรกิจลานนาไม่มีความเหมาะสมในเชิงการผลิต ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาวิธีการแยกกัม (อย่างเดียว) ในเชิงวิศวกรรมจึงไม่เหมาะสมประการหนึ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 เหตุผล และความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ลักษณะของโครงการ	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การสืบค้นเอกสารอ้างอิง	
2.1 น้ำมันถั่วเหลือง	4
2.2 ฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลือง	5
2.3 การพิจารณาขั้นตอนการสกัดกัมออกจากน้ำมันถั่วเหลือง	7
2.4 แหล่งที่มาของเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเอช	17
บทที่ 3 ผลการทดลองการกำจัดกัม	
3.1 การกำจัดกัม	22
3.2 การหาค่าความร้อนของน้ำมันถั่วเหลือง และกัมโดยบอมบ์แคลอริมิเตอร์	24
3.3 การหาค่าความชื้นจากกัมของน้ำมันถั่วเหลือง และความชื้นจากน้ำมันถั่วเหลือง	26
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์มูลค่าเพิ่มในกัม	
4.1 Chemical Composition	31
4.2 การวิเคราะห์ฟอสโฟลิปิดโดยวิธี Molybdovanadate Spectrophotometer	31
4.3 การแยกไขมันจาก Crude Soybean Gum และการทำให้บริสุทธิ์	32
4.4 การแยกฟอสโฟลิปิดออกจาก Crude Soybean Gum โดยวิธี Aqueous Phosphoric acid	39
4.5 การแยกฟอสโฟลิปิดออกจาก Crude Soybean Gum โดยวิธี Acetone Precipitation	40
บทที่ 5 สรุป	
5.1 สรุปผลการทดลองกำจัดกัม	42
5.2 สรุปผลการสังเคราะห์มูลค่าเพิ่มในกัม	43
เอกสารอ้างอิง	

บทที่ 1 บทนำ

1.1 เหตุผลและความจำเป็น

บริษัท เกษตรกิจลานนา จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 55/1 ม. 6 ต. หนองหนาม อ. เมือง จ. ลำพูน ทำการผลิตน้ำมันพืชดิบ (Crude Vegetable Oil) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดดอกทานตะวัน เมล็ดนุ่น และรำข้าว มีกำลังการผลิต 90 ตันวัตถุดิบต่อวัน หรือน้ำมันดิบประมาณ 16 ตันต่อวัน กระบวนการผลิตเริ่มจากวัตถุดิบจะถูกนำมาทำความสะอาด แล้วบดให้แตก โดยแต่ละเมล็ดจะแตกเป็น 4-5 ส่วน จากนั้นจะนำมัลลิ่งอีกครั้งหนึ่งแล้วบีบให้แบน (ถ้าเป็นถั่วเหลืองจะทำการนึ่งที่อุณหภูมิ 60 °C ก่อน) วัตถุดิบที่ถูกบีบบดจะถูกนำไปเข้าขบวนการแยกน้ำมันโดยใช้สารละลายเฮกเซน (Hexane) เพื่อแยกน้ำมันออกจากวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 60 °C ภายเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง จากนั้นส่วนผสมเฮกเซนและน้ำมันจะถูกส่งเข้าไปในเครื่องกลั่นเพื่อแยกเอาเฮกเซนกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง น้ำมันที่ได้จะเป็นผลผลิตที่ต้องการของโรงงาน มีลักษณะเป็นน้ำมันพืชดิบกากแห้งที่ได้จะถูกส่งไปขายเป็นอาหารสัตว์ต่อไป

ในการผลิตน้ำมันจากถั่วเหลืองจะมีกัมปนอยู่ในน้ำมันที่ผลิตได้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก กัมที่เกิดขึ้นนี้เป็นส่วนเกิน (Impurity) ของกระบวนการผลิต ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาตามมา 3 ประการคือ 1) เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของกัมมีค่าสูงกว่าของน้ำมัน ทำให้เกิดการตกตะกอนสะสมในก้นถังเก็บ ความหนืดของกัมทำให้เกิดการอุดตันในท่อส่งและยากต่อการใช้ปั๊มดูดน้ำมันออกจากถัง 2) ปัญหาในการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากโรงงานไปยังโรงงานต่อเนื่องที่ตั้งอยู่ที่จังหวัดอยุธยา และ 3) การมีกัมเป็นส่วนปนเปื้อนในน้ำมันดิบทำให้ได้ราคาขายที่ต่ำ และเสียโอกาสในการต่อช่องทางด้านการตลาด การแก้ปัญหาโดยตรงคือ การแยกกัมออกจากน้ำมันในกระบวนการผลิตทันที ทางโรงงานได้เคยทดลองใช้เครื่องแยกเหวี่ยงชนิด Disc-type Bowl ซึ่งใช้หลักการแยกแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แต่ไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร นอกจากนี้การวิจัยเพื่อหาวิธีการเพิ่มมูลค่าขององค์ประกอบที่มีอยู่ในกัมก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเหลือกิจการขนาดกลางและเล็ก (SMEs) ที่มีลักษณะการผลิตแบบเดียวกันให้สามารถมีผลกำไรในการประกอบการมากขึ้นได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแยกกัมโดยใช้เครื่อง Disc-type Bowl และศึกษาความเป็นไปได้ของการเพิ่มมูลค่ากัมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันพืชจากเมล็ดถั่วเหลือง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแยกกัม โดยใช้หลักการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
2. เพื่อให้การช่วยเหลือในการแยกกัมออกจากกระบวนการผลิตน้ำมันพืชจากเมล็ดถั่วเหลืองของ บริษัท เกษตรกิจลานนา จำกัด โดยใช้เครื่อง Disc-type Bowl ที่โรงงานมีอยู่
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบอาหารที่มีอยู่ในกัม และความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่ากัม
4. เพื่อพัฒนาข้อเสนอโครงการวิจัย เพื่อดำเนินการศึกษาย่างละเอียดต่อไป

1.3 ลักษณะของโครงการ

1. เป็นการสืบค้นเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง
2. เป็นการหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตของการผลิตน้ำมันพืช
3. เป็นการดำเนินการทดลองทางเคมีเบื้องต้นเพื่อหาความเป็นไปได้ทางเทคนิค
4. เป็นการให้คำปรึกษาโรงงาน และติดตามการดำเนินการ
5. เป็นการสรุปถึงความเป็นไปได้และศักยภาพที่จะดำเนินการวิจัยอย่างละเอียดต่อไป

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

ภารกิจที่ต้องทำเพื่อให้ประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ มีดังต่อไปนี้

1. ทำการสืบค้นและศึกษาองค์ความรู้จากเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ หนังสือ สัทธิตร์ และสิ่งตีพิมพ์วิชาการทั้งในและต่างประเทศ จนถึงปัจจุบัน
2. เข้าเยี่ยม ตรวจสอบและศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันพืชของบริษัท เกษตรกิจลานนา จำกัด และเข้าเยี่ยมและสอบถามวิธีการแยกกัมของโรงงานทำน้ำมันพืชบริสุทธิ์ในแถบจังหวัดภาคกลาง
3. ทำการทดลองทางเคมีในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาความเป็นไปได้และแนวทางเบื้องต้นในการแยกกัมออกจากกระบวนการผลิตน้ำมัน
4. เข้าเยี่ยมและให้คำปรึกษาโรงงานถึงการควบคุมการทำงานของเครื่อง Disc-Type Bowl ที่เหมาะสม และติดตามการดำเนินการ
5. ทำการทดลองทางเคมีในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาปริมาณขององค์ประกอบที่สำคัญที่มีอยู่ในกัม
6. หาแนวทางในการพิจารณาเพื่อทำมูลค่าเพิ่มของกัม
7. ประสานงานกับทางโรงงานเพื่อเลือกประเด็นและขอบเขตของโจทย์ปัญหา ความร่วมมือที่จะจัดตั้งในระหว่างการทำวิจัย
8. ทำการสรุปถึงความเป็นไปได้ และ เขียนข้อเสนอโครงการภายใต้ขอบเขต ข้อตกลง และความร่วมมือกับผู้บริหารโรงงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อสรุปถึงความเป็นไปได้ที่จะดำเนินการโครงการวิจัยการแยกกัมในกระบวนการผลิตน้ำมันพืชจากเมล็ดถั่วเหลือง และได้แนวทางถึงวิธีการเพิ่มมูลค่ากัม
2. ได้ข้อเสนอโครงการวิจัยเพื่อดำเนินการอย่างละเอียด และสร้างเครื่องมือต้นแบบองค์ความรู้และเครื่องมือที่จะพัฒนาขึ้น สามารถนำไปใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตมันที่มีอยู่ทั่วประเทศ และคาดว่าจะสามารถขยายไปยังประเทศที่อยู่ในภูมิภาคเดียวกันได้

บทที่ 2 Literature Review

2.1 น้ำมันถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองมีองค์ประกอบที่เป็นน้ำมันประมาณ 20% [Snyder , 1998] ซึ่งในอดีตน้ำมันจากถั่วเหลืองถูกใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ในสหรัฐอเมริกาช่วงทศวรรษ 1920 น้ำมันถั่วเหลืองถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่และสี ต่อมาในช่วงทศวรรษ 1930 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันพืชเพิ่มจำนวนมากขึ้น เนื่องจากปริมาณความต้องการน้ำมันเพื่อการบริโภคได้เพิ่มสูงขึ้น น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันพืชที่มีปริมาณการผลิตมากกว่าน้ำมันจากพืชอื่นๆ เพราะถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีราคาถูก โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาได้มีการค้นคว้าหาสายพันธุ์ถั่วเหลืองที่ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด [Smith , 1972] ในปี 1992 ปริมาณการบริโภคน้ำมันถั่วเหลืองทั่วโลกเพิ่มขึ้นจาก 13.1 ล้านเมตริกตัน เป็น 16.8 ล้านเมตริกตัน เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นต่อร่างกายในปริมาณค่อนข้างสูง นอกจากนั้นกากถั่วเหลืองและเลซิดินที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันจัดเป็นผลพลอยได้ที่ทำรายได้ให้แก่ผู้ผลิตอย่างมาก [สมพร , 2538] สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันถั่วเหลืองนั้น ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนสำคัญ คือ

1. กระบวนการปรับสภาพเมล็ดถั่วเหลืองก่อนนำมาสกัดน้ำมัน (Pretreatment Process)
 2. กระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction Process)
- ผลผลิตที่ได้เรียกว่า น้ำมันถั่วเหลืองดิบ (Crude Oil)
3. กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Refining Process)

กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เป็นกระบวนการสำคัญของการผลิตน้ำมันถั่วเหลืองให้มีคุณภาพสูง น้ำมันถั่วเหลืองดิบที่ถูกสกัดออกมาจากกระบวนการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายยังคงเหลือสารปนเปื้อนต่างๆ ปริมาณค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงต้องถูกทำให้บริสุทธิ์ก่อน สำหรับกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มี 2 วิธี คือ

1. วิธีทางเคมี (Chemical Refining Process)
2. วิธีทางกายภาพ (Physical Refining Process)

กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมีนั้นนิยมใช้ในโรงงานผลิตน้ำมันถั่วเหลืองโดยจะใช้กรดเพื่อปรับสภาพฟอสโฟลิปิด ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนที่สำคัญในน้ำมันถั่วเหลืองออกก่อน หลังจากนั้นจึงใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ (Free Fatty acid) ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนที่มีผลต่อกลิ่นและรสของน้ำมันถั่วเหลืองกระบวนการทำให้บริสุทธิ์วิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีกรดและด่างที่ใช้ในกระบวนการ นอกจากนี้การใช้อย่างนี้ทำให้สูญเสียน้ำมันบางส่วน

ดังนั้นนักวิจัยจึงเปลี่ยนมาใช้กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพแทนโดยใช้น้ำและกรดเพื่อปรับสภาพฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลืองก่อนเช่นเดียวกับวิธีทางเคมี แต่จะใช้ไอน้ำขจัดกรดไขมันแทนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งการใช้ไอน้ำนี้ต้องทำที่อุณหภูมิสูง

ขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางกายภาพ

สารปนเปื้อนเหลืออยู่ [นฤมล] สารปนเปื้อนเหล่านี้ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด, กรดไขมันอิสระ, คาร์โบไฮเดรต, สารประกอบที่เกิดจากการสลายตัวของโปรตีน, เม็ดสี และฝุ่นละออง สารปนเปื้อนเหล่านี้จะถูกขจัดออกในขบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

ขั้นตอนการจัดสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ ในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

ขั้นตอนที่	ขั้นตอน	สารปนเปื้อนที่กำจัด
1	การขจัดกัม (Degumming)	ฟอสโฟลิปิด, เม็ดสี, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, โลหะ
2	การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)	ซัลเฟต, โลหะ, สารที่ไม่ละลายในน้ำมัน, สารที่ละลายน้ำ
3	การล้างด้วยน้ำ (Water Washing)	สบู่ (Soaps)
4	การทำให้แห้ง (Drying)	น้ำ
5	การฟอกสี (Bleaching)	เม็ดสี, ผลิตภัณฑ์จากการออกซิเดชัน, ซัลเฟต, โลหะ, สบู่
6	การกรอง (Filtration)	ตัวดูดซับที่ใช้แล้ว
7	การขจัดกลิ่น (Deodorization)	กรดไขมัน, โมโนและไดกลีเซอไรด์, ผลิตภัณฑ์จากการออกซิไดซ์และการแตกตัวของเม็ดสี
8	การทำให้บริสุทธิ์ด้วยไอน้ำ (Steam Refining)	กรดไขมัน, โมโนและไดกลีเซอไรด์, ผลิตภัณฑ์จากการออกซิไดซ์และการแตกตัวของเม็ดสี
9	การขัด (Polishing)	สารที่ไม่ละลายในน้ำมันที่หลงเหลืออยู่

สารปนเปื้อน ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด, เม็ดสี, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีนและโลหะนั้น จะรวมกันเป็นกัมหรือกัม (gum) โดยเฉพาะฟอสโฟลิปิด ซึ่งเป็นสารที่มีปริมาณมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารปนเปื้อนอื่นๆ โดยมีปริมาณ 1 – 3 % ของน้ำมันถั่วเหลืองดิบ [สมพร , 2538 ; นฤมล] ฟอสโฟลิปิดเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียไขมันบางส่วนและทำให้น้ำมันมีสีคล้ำเมื่อถูกความร้อน ยกต่อการฟอกสี ถ้าในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ขจัดฟอสโฟลิปิดออกไม่หมด จะเป็นผลเสียต่อคุณภาพน้ำมันโดยทำให้น้ำมันสีคล้ำ กลิ่นเหม็นหืนเร็ว อายุการเก็บน้ำมันสั้นลงและทำให้เกิดตะกอนขณะ

เก็บรักษา สำหรับการกำจัดฟอสโฟลิปิดนั้นจะถูกทำในขั้นตอนการขจัดกัมหรือกัม (Degumming Process) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

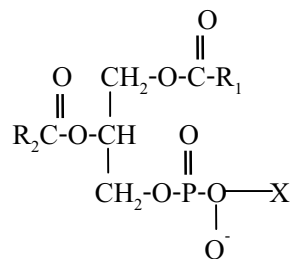
2.2 ฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลือง [นฤมล]

ฟอสโฟลิปิดประกอบด้วยด้วยกลีเซอรอลเป็นโครงสร้างหลักต่อกับกรดไขมัน 2 โมเลกุล ด้วยพันธะเอสเทอร์ (Ester bond) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 2 ส่วนคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 จับกับกรดฟอสฟาติกด้วยพันธะฟอสโฟเอสเทอร์ (Phosphoester bond)

ฟอสโฟลิปิดที่สำคัญและมีมากในน้ำมันถั่วเหลืองมี 4 ชนิด ได้แก่

- ฟอสฟาติลโคลีน (Phosphatidylcholine ; PC)
- ฟอสฟาติลอินอซิทอล (Phosphatidylinositol ; PI)
- ฟอสฟาติลเอทานอลามีน (Phosphatidylethanolamine ; PE)
- กรดฟอสฟาติก (Phosphatidic Acid ; PA)

สูตรโครงสร้างของฟอสโฟลิปิดแสดงดังรูปที่ 1



X = แอลกอฮอล์ หรือเบสไนโตรเจน

R₁ , R₂ = กรดไขมัน

รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างของฟอสโฟลิปิด

ฟอสโฟลิปิดแต่ละชนิดแตกต่างกันตามชนิดของโมเลกุลที่มาจับกับหมู่ฟอสเฟตซึ่งแสดงได้ดังนี้

Substituent (X)	Phospholipid
- H	Phosphatidic Acid
- $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_3^+$	Phosphatidylethanolamine
- $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$	Phosphatidylcholine
- $\text{C}_6\text{H}_6(\text{OH})_6$	Phosphatidylinositol

สำหรับกรดไขมันของฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลืองนั้นจะประกอบไปด้วยกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) มากกว่า 50%, กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) น้อยกว่า 5%, ที่เหลือเป็นกรดพาล์มิติก (Palmitic acid), กรดสเตียริก (Stearic acid) และกรดโอเลอิก (Oleic acid)

เนื่องจากโครงสร้างของฟอสโฟลิปิดประกอบด้วยส่วนที่ไม่มีขั้ว (Non-polar) ซึ่งเป็นส่วนของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมัน และส่วนที่มีขั้ว (Polar) คือ หมู่ฟอสเฟตและหมู่แอลกอฮอล์ หมู่ฟอสเฟตในฟอสโฟลิปิดมีค่าคงที่การแตกตัวหรือ pKa ประมาณ 2 ดังนั้นเมื่ออยู่ในสารละลาย pH ประมาณ 7 หมู่ฟอสเฟตจะแตกตัวและมีประจุเป็นลบ รวมทั้งหมู่แอลกอฮอล์บางชนิดก็มีประจุเช่นกัน ทำให้ฟอสโฟลิปิดแต่ละชนิดมีประจุสุทธิแตกต่างกัน และทำให้โมเลกุลของฟอสโฟลิปิดเป็นแอมฟิพาติก (Amphipathic) จึงมีคุณสมบัติเป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) และเป็นสารเชื่อมพื้นผิว (Surface-Action Compounds) ที่ดี

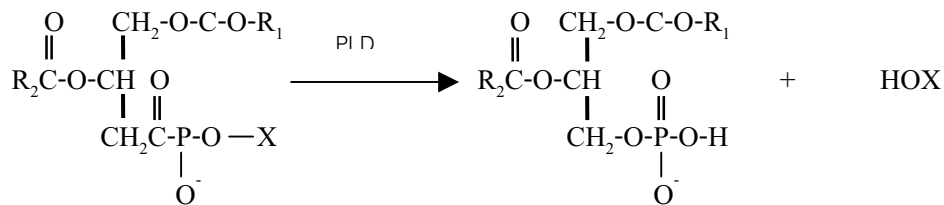
ฟอสโฟลิปิดจัดเป็นสารปนเปื้อนที่ไม่ต้องการในน้ำมันพืช แต่ในทางการค้ากลับเป็นสารที่มีประโยชน์มากและมีชื่อทางการค้าว่า เลซิธิน (Commercial Lecithin) แต่เลซิธินในความหมายของนักชีวเคมีหมายถึง ฟอสฟาติดีลคอลลีนเท่านั้น องค์ประกอบของฟอสโฟลิปิดและกรดไขมันในเลซิธินจากถั่วเหลืองจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเมล็ดถั่วเหลือง คุณภาพของเมล็ดถั่วเหลือง ขั้นตอนการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง ความแม่นยำของการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ

2.3 การพัฒนาขั้นตอนการขจัดกัมออกจากร้ำมันถั่วเหลือง

การขจัดกัมออกจากร้ำมันถั่วเหลืองเป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ดังกล่าวไปแล้วข้างต้น สำหรับการขจัดกัมที่นิยมใช้กันตั้งแต่อดีตนั้น มักเป็นการขจัดกัมออกโดยใช้ น้ำ (Water Degumming หรือ Hydration Degumming) โดย J.R. Wilcox [Mounts, 1987] ได้กล่าวถึงวิธีการขจัดกัมโดยใช้น้ำดังนี้ ใช้น้ำมันถั่วเหลืองดิบผสมน้ำ 1-3 % ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำมัน นำส่วนผสมมาปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 70-80 °C เป็นเวลา 30-60 นาที วิธีนี้ทำให้ฟอสโฟลิปิดประมาณ 90 % ถูกแยกออกจากร้ำมัน อย่างไรก็ตามการใช้น้ำเพียงอย่างเดียวตามวิธีของ J.R. Wilcox ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ก็ไม่สามารถขจัดฟอสโฟลิปิดออกจากร้ำมันได้หมด เนื่องจากยังมีฟอสโฟลิปิดอีก

กลุ่มหนึ่งที่ไม่สามารถจัดได้โดยน้ำ เรียกฟอสโฟลิปิดกลุ่มนี้ว่า Non-Hydratable Phospholipids (NHP) [สมพร , 2538 ; นฤมล] NHP ไม่สามารถแยกออกจากน้ำมันได้ ทำให้เกิดปัญหาต่อการทำให้บริสุทธิ์อย่างมาก NHP เป็นสารประกอบพวกเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมของกรดฟอสฟาติค, กรดไลโซฟอสฟาติคและฟอสฟาติคเอทานอลามีนแต่ตัวที่เป็นองค์ประกอบสำคัญคือ กรดฟอสฟาติค ซึ่งมีค่า $pK_1 = 3.8$ และ $pK_2 = 8.6$ ดังนั้นสารละลายที่มีค่า pH ต่ำกว่า 1.8 กรดฟอสฟาติคจะอยู่ในรูปไม่แตกตัว ที่ pH ประมาณ 6 จะอยู่ในรูปกึ่งแตกตัว และเมื่อ pH มีค่ามากกว่า 10.6 กรดฟอสฟาติคจะแตกตัวอย่างสมบูรณ์ เมื่อกรดฟอสฟาติคอยู่ในรูปแตกตัว ส่วนใหญ่จะจับกับไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งเกลือของไอออนทั้งสองตัวนี้จะอยู่ตัวมาก NHP จะไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายที่ขี้ แต่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ ปัจจัยที่ทำให้เกิด NHP สรุปได้ 4 ประการ คือ

1. ความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองและแผ่นฟลัค (เมล็ดถั่วที่ผ่านการรีดเป็นแผ่น) ที่จะนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย
2. การทำงานของเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสดีซึ่งจะทำให้เกิดกรดฟอสฟาติค สำหรับกลไกการทำงานของเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสดีแสดงดังสมการที่ 1



สมการที่ 1 แสดงกลไกการทำงานของเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสดี

3. ความร้อนที่ให้กับถั่วเหลืองและฟลัคทั้งก่อนและระหว่างการสกัดด้วยตัวทำละลาย
4. การกระเทาะเปลือก (Cracking) และการรีดเป็นแผ่น (Flaking) ทำให้เซลล์ของถั่วเหลืองได้รับความกระทบกระเทือน

การลดปริมาณ NHP ในถั่วเหลืองอาจทำได้โดย คัดเลือกถั่วที่มีอายุเหมาะสม และในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายควรเลือกใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นขี้มากกว่าเฮกเซน และควรทำในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ การขจัดกัมที่มีคุณภาพดีจะต้องสามารถกำจัด NHP ออกไปให้ได้มากที่สุดเพื่อจะได้น้ำมันที่มีคุณภาพ ปัจจุบันนี้มีการใช้สารเคมีในการปรับสภาพฟอสโฟลิปิดในน้ำมันดิบเพื่อปรับสภาพ NHP ให้เป็นฟอสโฟลิปิดที่รวมตัวกับน้ำได้ และตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำมันได้มากที่สุด โดยสารเคมีที่ใช้ปรับสภาพน้ำมัน ได้แก่ กรดซิตริก, กรดฟอสฟอริก, กรดออกซาลิก และสารประกอบอื่นๆ ที่เป็น surface-active compounds ได้มีผู้ทำการวิจัยต่อมาอีกหลายท่าน

[นฤมล] เพื่อหาวิธีอื่นๆ ในการจัดฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลือง นอกเหนือจากการจัดโดยใช้ น้ำ

Lester P. Hayes and Hans Wolff (1956) ได้ทำการกำจัดกัมในน้ำมันโดยใช้ อะซิติก แอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) โดยในการทำจะอุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 60°C จากนั้นเติมอะซิติกแอนไฮไดรด์ลงไป 0.1 – 1% โดยน้ำหนัก พร้อมกับกวนเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นก็เติมน้ำลงไป 1.5% โดยน้ำหนัก แล้วกวนต่อไปอีก 30 นาที จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกตะกอนออก โดยผลที่ได้พบว่า ปริมาณของอะซิติกแอนไฮไดรด์ที่เหมาะสมคือ 0.1% พบว่ามีการสูญเสียน้ำมันไป 3.0% และเมื่อเทียบการใช้กรดอินทรีย์ และแอนไฮไดรด์ของกรดอินทรีย์นั้นซึ่งได้แก่ มาเลอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) คู่กับ กรดมาเลอิก (Maleic acid) โพรพิโอนิก แอนไฮไดรด์ (Propionic Anhydride) คู่กับ กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) ซักซินิก แอนไฮไดรด์ (Succinic anhydride) คู่กับ กรดซักซินิก (Succinic acid) และอะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) คู่กับ กรดอะซิติก (Acetic acid) โดยพบว่าการใช้พวกแอนไฮไดรด์จะใช้ปริมาณสารน้อยที่สุดคือ 0.1% เท่านั้น ในขณะที่การใช้กรดจะใช้ปริมาณ 0.3% กัมที่ได้ก็จะถูกนำไปทำให้แห้งต่อไป

Myers N.w. and Staley A.E. (1957) พบว่าการใช้น้ำอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดกัมได้มากกว่า 90% เพราะน้ำไม่สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนเลซิทีนได้สมบูรณ์ แต่ถ้าใช้อะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) 0.1% ก่อน และเติมน้ำลงไป 1.5% พบว่าน้ำสามารถตกตะกอนเลซิทีนได้มากที่สุดถึง 100%

Braae B. et al. (1958) ในขบวนการกำจัดกัมสามารถทำได้โดยใช้น้ำไปตกตะกอนพวกกัม ซึ่งไม่ละลายในน้ำมันโดยพบว่าการใช้ น้ำที่มากเกินไปจนความจำเป็นทำให้สูญเสียน้ำมัน สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกัมคือ 75°C ซึ่งตะกอนที่ได้จะมีน้ำอยู่ 50–60% ขณะที่มวลสารแห้ง 25% กัมหรือตะกอนที่ได้นี้จะถูกนำไปผสมในอาหารสัตว์ได้ จากนั้นแยกกัมออกมากแล้วจะใช้อย่างไรก็ได้ ในการกำจัดกัมนี้พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกทำให้น้ำมันมีความเสถียร ทั้งในด้านกลิ่น และรสชาติ กับการใช้แต่น้ำกำจัดกัมอย่างเดียว ซึ่งบางครั้งอาจใช้สารเคมีตัวอื่นนอกจากกรดฟอสฟอริกก็ได้ เช่น กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) กรดซิตริก (Citric acid) อะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) แต่พบว่าสารเคมีเหล่านี้ไม่มีประสิทธิภาพดีเท่ากับการใช้กรดฟอสฟอริก ในด้านรสชาติ และคุณสมบัติของน้ำมันที่จะนำมาบริโภค โดยปริมาณของกรดฟอสฟอริกที่เหมาะสมคือ 0.02–0.1%

Devine J. และ William P.N. (1961) พบว่าการกำจัดกัมจากน้ำมันถั่วเหลืองสามารถทำได้ โดยผสมน้ำลงไปน้ำมัน ปริมาณน้ำที่ใช้อยู่ระหว่าง 2–3% โดยน้ำหนัก และน้ำมันจะถูกกวนให้ผสมกันที่อุณหภูมิ $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ แล้วแยกชั้นน้ำและกัมซึ่งตกลงมาเป็นตะกอนโดยการเหวี่ยง กัมที่แยกออกได้คิดเป็น 3.5% ของน้ำมัน (มีปริมาณฟอสโฟลิปิด 62–65%) จากนั้นจะนำกัมที่ได้ไปกำจัดเอา

น้ำออกภายใต้สูญญากาศ (ความดัน 48 mmHg อุณหภูมิ 65–71 °C) และเหลือความชื้นน้อยกว่า 0.5% ซึ่งถือว่าเป็นเลขชี้ศูนย์ที่อยู่ในเกรดเชิงพาณิชย์ได้

Nieuwenhuyzen W.V. (1976) ได้ทำการแยกฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) และผลิตเลซิทีน (Lecithin) จากน้ำมันถั่วเหลืองดิบโดยในกระบวนการจะเติมน้ำ 2–3% ในน้ำมันที่อุณหภูมิ 50–70°C โดยน้ำจะไปจับกับฟอสโฟลิปิดออกมาอยู่ในรูปฟอสฟาเตอไฮเดรต (Phosphatide hydrate) และตกลงมาเป็นตะกอน จากนั้นนำไปเหวี่ยงจะได้ปริมาณฟอสโฟลิปิด 0.25–0.5% และเลซิทีนซึ่งมีปริมาณน้ำ 40–50% จากนั้นนำไปทำให้แห้งโดยใช้วิธี Film evaporators เพื่อให้มีความชื้นน้อยกว่า 1%

Ohlson R. and Svensson C. (1976) ได้ทำการศึกษาการกำจัดกัมในน้ำมันถั่วเหลืองดิบ และน้ำมันเรพซิด โดยตัวแปรที่ได้ศึกษาคือ ชนิดของกรด และปริมาณของกรดที่ใช้โดยในการกำจัดกัมจากน้ำมันถั่วเหลืองดิบจะใช้กรดฟอสฟอริก และกรดออกซาลิก ในขณะที่น้ำมันเรพซิดใช้กรดอะซิติก กรดซิตริก กรดออกซาลิก กรดไนตริก กรดบอริก และใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวอ้างอิง โดยอุณหภูมิที่ใช้คือ 80–90 °C เวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 5–15 นาที ปริมาณกรดที่เติมอยู่ในช่วง 0.1–5% ผลในการกำจัดกัมของน้ำมันเรพซิด พบว่า กรดฟอสฟอริก และกรดออกซาลิกให้ผลการกำจัดกัมได้ดีที่สุดโดยใช้ปริมาณกรดออกซาลิกเพียง 1% หรือใช้ปริมาณกรดฟอสฟอริกเพียง 0.1% เท่านั้น สำหรับการกำจัดกัมของน้ำมันถั่วเหลืองดิบ พบว่า กรดออกซาลิกจะกำจัดกัมออกได้มากที่สุด โดยน้ำมันที่ได้หลังจากการกำจัดกัมแล้วจะถูกนำไปทำให้เป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4 โมล / ลิตร และทิ้งไว้ให้ตกตะกอนของสบู่หรืออาจนำไปเหวี่ยงเพื่อให้การตกตะกอนสมบูรณ์ จากนั้นน้ำมันจะถูกนำไปฟอกสีต่อไป

Roy A.Carr (1978) กำจัดพวกกัมจากน้ำมันถั่วเหลืองดิบได้โดยการใช้ น้ำ 2% โดยปริมาตรของน้ำมัน แล้วกวนเป็นเวลา 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้คือ 60–70 °C ผลที่ได้พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดกัมอยู่ในช่วง 80–5% ของปริมาณกัมที่มีอยู่ในน้ำมันดิบ จากนั้นกัมที่ได้จะถูกนำไปปอบที่อุณหภูมิประมาณ 90 °C เพื่อให้มีปริมาณน้ำเหลือเพียง 0.5% จากนั้นทำให้เย็นลงและเก็บไว้ในถังเก็บต่อไป

List G.R. et al. (1978) พบว่าการกำจัดกัมจากน้ำมันถั่วเหลืองดิบโดยใช้น้ำ บางครั้งอาจจะใช้กรดฟอสฟอริกหรือไม่ใช้ก็ได้ ซึ่งในการทำโดยไม่ใช้กรดฟอสฟอริกพบว่าคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับการใช้กรดฟอสฟอริกในกระบวนการด้วย โดยในกระบวนการทำการกำจัดกัมทำได้โดยใช้น้ำมันมาวนด้วยความเร็ว 5000 รอบต่อนาที และจะใช้ก๊าซไนโตรเจนไล่อากาศ จากนั้นกวนต่อไปจนถึงอุณหภูมิ 60 °C แล้วเติมกรดฟอสฟอริก 0.2% กวนเป็นเวลา 15 นาที แล้วเติมน้ำ 2% กวนต่อไปอีกเป็นเวลา 15 นาทีที่อุณหภูมิเดียวกัน จากนั้นแยกตะกอนออกโดยการเหวี่ยง อีกวิธีหนึ่งคือกำจัดกัมโดยใช้แต่น้ำอย่างเดียว วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือ เพื่อเปรียบเทียบการกำจัดกัมทั้งที่ใช้กรดฟอสฟอริกและไม่ใช้กรดโดยประสิทธิภาพในการใช้น้ำกำจัดกัมพบว่า ปริมาณ

ฟอสฟอรัสลดลงจาก 660 ppm เป็น 53 ppm คิดเป็น 92% ของฟอสฟอรัสที่กำจัดได้ และเมื่อเทียบกับการใช้กรดในการกำจัดด้วยพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสามารถทำได้เท่ากัน นอกจากนี้ น้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกกำจัดหลังจากนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ต่อพบว่าคุณภาพของน้ำมันเมื่อผ่านไป 4 วัน น้ำมันยังสามารถรักษาคุณสมบัติทางด้านกลิ่น และรสชาติได้ดีกว่า น้ำมันที่ใช้แต่น้ำกำจัดอย่างเดียว

Marcia Gutcho (1979) ได้ศึกษาการกำจัดในน้ำมันถั่วเหลืองสถานะที่ใช้คือ อุณหภูมิ 20–90 °C เหยียงที่ความเร็ว 3000 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 15 นาทีโดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ 1) ชนิดของสารที่ใช้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่าการกำจัดโดยใช้ น้ำ หรือกรดซัลฟิวริกเพียงตัวเดียวจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดเท่าๆกัน และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ต่ำจะกำจัดได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิสูง 2) ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ ทำโดยใช้กรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นต่างกัน คือ 50%wt และ 25%wt ตามลำดับโดยจะเติมลงไปน้ำมัน 0.1%wt เท่ากันผลที่ได้พบว่าเปอร์เซ็นต์กรดที่สูงจะกำจัดได้มากที่สุด 3) อุณหภูมิที่ใช้ในการเหยียง พบว่าการเหยียงน้ำมันทันทีหลังจากที่อุณหภูมิยังสูง คือ 50–65°C อยู่จะได้ปริมาณกัม 32% แต่ถ้าเหยียงที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 25–28°C จะได้ปริมาณกัม 40–45%

Kanamoto R. et al. (1981) ได้ทำการกำจัดจากน้ำมันถั่วเหลืองดิบโดยทำที่อุณหภูมิ 60 °C แล้วปล่อยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมอะซิดิกแอนไฮไดรด์ลงไป 7.5 ไมโครลิตร แล้วกวนเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเติม EDTA (เข้มข้น 0.1%) ลงไป 60 ไมโครลิตร พร้อมกับกวนเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นแยกตะกอนออกโดยการเหยียง ผลที่ได้พบว่าสามารถกำจัด หรือฟอสโฟลิปิดได้ 60%

List G.R. et al. (1981) ทำการกำจัดจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ใบพัดที่ทำด้วยเทฟลอน (Teflon) ที่มีขนาด 7.5 เซนติเมตร โดยจะทำการศึกษา ความเร็วที่ใช้ในการกวน ปริมาณน้ำที่เติม เวลาที่ใช้ในการกวน และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

- จากการศึกษผลของเวลาในช่วง 5–60 นาทีพบว่า ปริมาณของฟอสฟอรัสลดลงจาก 570 เป็น 51 ppm โดยที่หลังจากเวลา 5 นาที พบว่ากำจัดฟอสโฟลิปิดได้ 91% หลังจากเวลาผ่านไป 15 นาทีพบว่ากำจัดฟอสโฟลิปิดได้ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 92% และเมื่อเพิ่มเวลาขึ้นเป็น 60 นาทีพบว่าสามารถกำจัดได้มากขึ้น 94.8% จากการทดลองสรุปได้ว่า เวลาที่มีผลต่อการกำจัดฟอสโฟลิปิดน้อย
- ในการศึกษาผลของอุณหภูมิจะทำในช่วง 40–90 °C พบว่าสามารถกำจัดได้ 92–95% ของฟอสโฟลิปิดที่มีอยู่ในน้ำมัน และพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 75 °C อย่างไรก็ตามในการใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 60 °C จะทำให้เลซิทีนที่ได้มีสีดำ
- ในการศึกษาผลของปริมาณน้ำที่เติม จะใช้ปริมาณน้ำ 0.5 และ 1.0% พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสโฟลิปิดที่ได้ค่อนข้างน้อย คือ กำจัดได้ 84.5 และ 89.5% แต่เมื่อเพิ่ม

ปริมาณน้ำเป็น 5% พบว่าสามารถกำจัดได้ 90% แต่ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสโฟลิปิดคือ 2% จะกำจัดได้ 92%

- ในการศึกษาผลของความเร็วในการกวนจะศึกษาความเร็วในช่วง 200–500 รอบ/นาที โดยพบว่าความเร็วในการกวนมีผลต่อขบวนการน้อยเนื่องจากปริมาณฟอสโฟลิปิดที่กำจัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วง 91.9–93.2%

นอกจากนี้ยังพบว่าในการทำที่อุณหภูมิสูงคือ 90 °C และถึงแม้จะเพิ่มเวลาในการกวน จาก 5–60 นาที พบว่าปริมาณของฟอสโฟลิปิดที่เหลืออยู่ในน้ำมันค่อนข้างคงที่ที่ 53–55 ppm โดยปริมาณกัมที่กำจัดได้จะคำนวณเปอร์เซ็นต์ได้จากสมการที่ 3

$$\% \text{ crude gum} = \frac{w + (p_1 - p_2)(CF)}{(AI)} \times 100 \quad \text{————— (3)}$$

เมื่อ W = เปอร์เซนต์น้ำที่เติม

P_1 = น้ำหนักของฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบ

P_2 = น้ำหนักของฟอสฟอรัสในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกัม

CF = ปริมาณของฟอสฟอรัส ต่อสารที่ไม่ละลายในอะซีโตน

AI = สารที่ไม่ละลายในอะซีโตน

ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดฟอสโฟลิปิดคือ การใช้อุณหภูมิ ในช่วง 60–75 °C เวลาที่ใช้คือ 15 นาที ความเร็วในการกวนคือ 400 รอบ/นาที และปริมาณน้ำที่เติมที่เหมาะสมคือ 2%

Brown H.G. และ Snyder H.E. (1985) ได้ทำการทดลองใช้ซิลิกาดูดซับฟอสโฟลิปิดใน miscella ของน้ำมันถั่วเหลืองดิบ โดยใช้ซิลิกาที่มีความชื้น 5 และ 15 % miscella ปริมาตร 100 ml. พบว่าซิลิกาสามารถดูดซับฟอสโฟลิปิดไว้ได้ประมาณ 7 มิลลิกรัมต่อซิลิกา 1 กรัม และการดูดซับซิลิกาเป็นแบบไม่ผันกลับ (Irreversible) มีการเติมไอโซโพรพานอลลงใน miscella ในปริมาณ 1% เพื่อเพิ่มปริมาณการดูดซับบนซิลิกา แต่การเพิ่มปริมาณซิลิกาไม่ช่วยเพิ่มความจุในตัวดูดซับ การเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายจากเฮกเซนเป็นคลอโรฟอร์มให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน

Adhikari S. and Adhikali J. (1986) ได้ทำการกำจัดกัมจากน้ำมันรำข้าวดิบโดยทำที่อุณหภูมิ 50–60°C จากนั้นเติมน้ำลงไป 2%v/v (น้ำที่ใช้มีอุณหภูมิ 95 °C) ทำการกวนที่ความเร็ว 250–300 รอบ/นาที เป็นเวลา 10–15 นาที โดยน้ำจะตกตะกอนของกัมลงมา จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 2000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที กำจัดกัมได้ 39.2% จากนั้นจะถูกนำไปวิเคราะห์พบว่าประกอบด้วยฟอสโฟลิปิดที่มีประโยชน์ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นเลซิทิน และนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

Smiles A. et al. (1988) ได้ทำการศึกษาชนิดของสารที่ใช้ในการกำจัดกัม ซึ่งได้แก่ น้ำ กรดซิตริก กรดฟอสฟอริก กรดออกซาลิก อะซิติกแอนไฮไดรด์ และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยจะใช้กำจัดในน้ำมันพืช 3 ชนิดคือ น้ำมันคาโนลา (Canola) น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวัน

โดยสภาวะในการทดลองจะทำที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากเสร็จขบวนการแล้วจะรอให้น้ำมันเย็นลงที่ 40 °C แล้วจึงนำไปเหวี่ยง ผลการทดลองพบว่า การใช้พวกเคมีจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ น้ำ และยังพบว่าในการกำจัดกัมในน้ำมันคาโนลานั้นกรดซิตริก และกรดฟอสฟอริกจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือจะกำจัดได้ถึง 91% และ 93% ตามลำดับ กรณีการกำจัดกัมในน้ำมันถั่วเหลืองนั้นพบว่าสารเคมีทุกตัวยกเว้นน้ำมีประสิทธิภาพในการกำจัดกัมได้เท่าๆกันคือ กำจัดได้ถึง 98% ในขณะที่สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดกัมในน้ำมันดอกทานตะวัน คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ และกรดออกซาลิก ซึ่งสามารถกำจัดได้ 95% และ 90% ตามลำดับ

Brown H.G. และ Snyder H.E. (1989) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับฟอสโฟลิปิดใน miscella ของน้ำมันถั่วเหลืองดิบบนซิลิกา พบว่า แคลเซียมคลอไรด์ในน้ำมันทำให้การดูดซับฟอสโฟลิปิดบนซิลิกาลดลง นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า การก่อตัวเป็น miscella ของฟอสโฟลิปิดในตัวทำละลายบางชนิดอาจเป็นสาเหตุทำให้การดูดซับลดลง แต่ Brown และ Snyder สรุปว่าปัจจัยดังกล่าวไม่น่าจะมีผลต่อ miscella ที่ใช้ในเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย เพราะลักษณะการดูดซับใน miscella มีลักษณะเหมือนกับการดูดซับฟอสโฟลิปิดใน miscella ที่มีคลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลาย ซึ่งในคลอโรฟอร์มไม่มีการก่อตัวของ miscella เกิดขึ้น ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการดูดซับฟอสโฟลิปิด คือ การแข่งขันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับฟอสโฟลิปิดในการเข้าจับกับบริเวณดูดซับในโมเลกุลของซิลิกา

Moulton K.S. (1989) ได้ทำการศึกษาวิธีการกำจัดกัมโดยวิธีอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง (Continuous Ultrasonic Degumming) โดยนำน้ำมันถั่วเหลืองดิบและน้ำผสมกัน จากนั้นนำไปสัมผัสกับกระบอกอัลตราโซนิกโดยไม่ให้ความร้อน กัมจะถูกแยกออกจากน้ำมันด้วยการปั่นเหวี่ยง โดยไม่ต้องผ่านการทำให้เย็น (Cooling) หรือทำให้แห้ง (Drying) วิธีนี้สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบได้ถึง 99 % โดยทำที่อุณหภูมิ 40 °C ภายในระยะเวลาอันสั้น การกำจัดกัมโดยวิธีนี้สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้เร็วกว่าวิธีอื่นๆ 5 เท่า และน้ำมันถั่วเหลืองที่ได้จะมีคุณภาพมากกว่าน้ำมันที่ได้จากวิธีการกำจัดกัมออกโดยการใช้น้ำ

Smile A. et al. (1989) ได้ทำการเปรียบเทียบการกำจัดกัมจากน้ำมันคาโนล่า น้ำมันถั่วเหลืองดิบ และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันโดยการใช้ น้ำ และสารเคมี ได้แก่ กรดซิตริก (Citric acid) กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) กรดออกซาลิก (Oxalic acid) อะซิติกแอนไฮไดรด์ (Acetic anhydride) และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) ผลที่ได้พบว่าการใช้พวกสารเคมีกำจัดกัมจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้น้ำ โดยกรดซิตริก และกรดฟอสฟอริกจะเป็นสารเคมีสำคัญที่ใช้กันมาก นอกจากนี้ยังพบว่า กัมที่ได้จากการใช้กรดซิตริก และพวกแอนไฮไดรด์ จะมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรมอาหารได้

Procter A. และคณะ (1992) ได้ทำการทดลองโดยใช้วัสดุคัดแปลงจากธรรมชาติจำพวกซีเถ้าแกลบในการดูดซับฟอสโฟลิปิดจาก miscella ของน้ำมันถั่วเหลือง โดยเผาซีเถ้าแกลบที่อุณหภูมิ

500 °C นาน 10 วัน จะได้ alkaline ash (pH 8.7) จากนั้นนำ alkaline ash ไปล้างด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 20 % นาน 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 °C แล้วนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C. นาน 4 ชั่วโมง จะได้ acid ash จากการทดลองใช้ alkaline ash ปริมาณ 0.5 กรัม สามารถดูดซับฟอสโฟลิปิดได้ดีกว่าเมื่อใช้ในปริมาณ 1 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการใช้ซีเถ้าแกลบทั้งสองชนิดในปริมาณที่เท่ากันพบว่า acid ash มีความสามารถในการดูดซับฟอสโฟลิปิดได้ดีกว่า alkaline ash เล็กน้อย และพบว่าการเติมไอโซโพรพานอลสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับฟอสโฟลิปิดของซีเถ้าแกลบทั้งสองชนิดได้

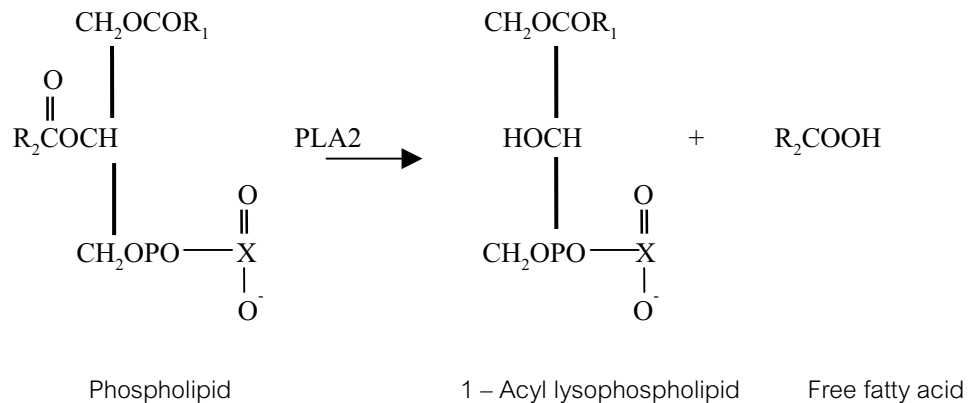
List G.R. และคณะ (1993) ทำการกำจัดกัมโดยใช้ซูเปอร์คริติคัลคาร์บอนไดออกไซด์ (Supercritical Carbon dioxide ; SC-CO₂) โดยนำมันถั่วเหลืองดิบสัมผัสกับ SC-CO₂ แบบไหลสวนทางกันที่ความดัน 50 MPa อุณหภูมิ 70 °C สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบจาก 620 ppm เหลือเพียง 5 ppm หรือประมาณ 99.2 % ปริมาณกรดไขมันอิสระและเหล็กในน้ำมันที่ได้มีปริมาณ 0.1 % และ 0.1-0.2 ppm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคงตัวต่อการถูกออกซิไดซ์ของน้ำมันที่ได้จากวิธี SC-CO₂ กับน้ำมันที่ได้จากการกำจัดกัมโดยใช้น้ำ พบว่าค่าคงตัวทางกลืนรังสีและค่าคงตัวต่อการถูกออกซิไดซ์ไม่แตกต่างกัน

Raman L.P. และคณะ (1994) ได้ทำการทดลองกำจัดกัมโดยใช้เมมเบรน โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า “Ultrafiltration Degumming Process” (U.F. Process) การกำจัดกัมโดยวิธีนี้ใช้น้ำมันถั่วเหลืองในรูปของ miscella โดยใช้หลักการที่ว่า ฟอสโฟลิปิดที่รวมตัวกันมีน้ำหนักมากกว่า 20000 dalton จะถูกกักไม่ให้ซึมผ่าน Ultrafiltration membrane แต่น้ำมันซึ่งมีขนาดเล็กกว่าสามารถซึมผ่านเมมเบรนได้ วิธีนี้จะทำที่ความดัน 0.4 MPa อุณหภูมิ 40-50 °C เนื่องจากที่สภาวะนี้ อัตราเร็วของการซึมผ่านเมมเบรนของสารที่มีขนาดเล็กกว่าฟอสโฟลิปิดสามารถซึมผ่านเมมเบรนได้ในอัตราเร็วสูงที่สุด สำหรับการวิจัยนี้ได้พัฒนาจนถึงระดับโรงงานต้นแบบโดยมีกำลังการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง 250 ตันต่อวัน

Chu Y.H. (1995) พบว่าผลกระทบจากการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันถั่วเหลือง (ลดความชื้น) โดยการใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 100–120 °C พร้อมกับการใช้รังสีอินฟราเรด พบว่าสามารถลดปริมาณของฟอสโฟลิปิดในน้ำมันได้ โดยถ้าใช้ไอน้ำวิ่งผ่านเป็นเวลา 1 นาทีสามารถลดปริมาณฟอสโฟลิปิดได้ 30% แต่เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 1.5 นาที สามารถลดปริมาณฟอสโฟลิปิดได้ 55% และฟอสโฟลิปิดที่ได้จากกระบวนการจะมีความบริสุทธิ์มากไม่จำเป็นต้องนำไปทำให้บริสุทธิ์

สมพร คุ่มชาติ (1995) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการคัดเลือกเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเพื่อใช้กำจัดกัมในน้ำมันถั่วเหลือง จากผลการทดลองขจัดฟอสโฟลิปิดด้วยเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอช, ฟอสโฟไลเปสซี, ฟอสโฟไลเปสดี, แอซิกและอัลคาไลน์ฟอสฟาเทส พบว่า เอนไซม์ทั้งหมดยกเว้นเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอช ไม่สามารถขจัดฟอสโฟลิปิดได้ มีเพียงเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอช ซึ่งในการทดลองได้จาก porcine pancreas เท่านั้นที่สามารถขจัดฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลืองได้ดี

โดยใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 10 หน่วยต่อน้ำมัน 1 ml. ภายในเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 37 °C และ pH 8.0 สำหรับปริมาณฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลืองดิบ หลังใช้เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชเป็น เวลา 20 นาที พบว่ามีปริมาณฟอสโฟลิปิดเหลือเพียง 0.28 กรัมต่อน้ำมัน 100 ml. สำหรับปฏิกิริยา ที่ฟอสโฟไลเปส เอชไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดแสดงได้ดังสมการที่ 2



สมการที่ 2 แสดงปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดโดยเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเอชสอง

ก่อนหน้างานวิจัยของสมพรนี้ Juneja L.R. และคณะ [สมพร] ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการนำ เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชจาก porcine pancreas มาไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลือง โดยพัฒนาถึงระดับต้นแบบที่มีกำลังการผลิต 15-75 กิโลกรัมต่อวัน โดยใช้เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชเข้มข้น 700 เลขเตสยูนิตต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม สามารถลดปริมาณฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่ว เหลืองเหลือเพียง 10 ppm เท่านั้น

ต่อมาในปี 1996 นฤมล เศรษฐไพศาล ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการ จัดฟอสโฟลิปิดโดยใช้เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชเพื่อให้เอนไซม์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้นี้ยังศึกษาความสามารถของเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชในการไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดใน น้ำมันถั่วเหลืองดิบที่ละลายในเฮกเซน พบว่า เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดได้ทั้ง ในสภาวะที่มีเฮกเซนเป็นตัวทำละลายและไม่มีเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย แต่แอกติวิตีของเอนไซม์จะ ลดลงเมื่อเฮกเซนมีปริมาณเพิ่มขึ้น สำหรับ pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของ เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชมากที่สุด คือ pH 8.0 และอุณหภูมิ 37 °C ชนิดและปริมาณของบัฟเฟอร์ ที่ทำให้เอนไซม์มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 0.2 M. Tris-HCl buffer pH 8.0 ปริมาตร 50 ไมโครลิตรต่อน้ำมันดิบ 3 ml. ซึ่งเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชสามารถไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดใน น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการขจัดกัมด้วยน้ำ (โดยใช้น้ำ 2 % ของปริมาณน้ำมันดิบ) แล้วได้หมด

Iwuoha I.C.etal. (1996) ได้ทำการสกัดกั้นจากน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันเมล็ดปาล์มดิบ และน้ำมันถั่วลิสงดิบ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และกรดฟอสฟอริก โดยศึกษาว่าสารเคมีชนิดใดจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดกัมไ้สูงที่สุด ซึ่งผลการศึกษาพบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5%(m/v in water) มีประสิทธิภาพในการกำจัดกัมจากน้ำมันทั้งสามชนิดไ้สูงที่สุด ทั้งยังลดปริมาณกรดไขมันอิสระไ้ด้วย และพบว่ากรดฟอสฟอริก และโซเดียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดกัมคือ 65 °C

Hui Y.H. etal. (1996) พบว่าการกำจัดกัมโดยการไ้กรดฟอสฟอริกในการกระบวนการพร้อมกับการไ้่น้ำ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาและนำไปเหียงแยกกัมออกเรียกว่า Super degummed ซึ่งน้ำมันที่ไ้จะมีปริมาณฟอสฟอรัสเหลือในน้ำมันเพียง 30-50 ppm ในขณะที่การไ้่น้ำอย่างเดียวนในการกำจัดกัมจะมีฟอสฟอริกเหลือ 100–200 ppm โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกัมจะเป็นอุณหภูมิไม่สูงมาก คือประมาณ 50-80 °C กัมที่แยกไ้จากน้ำมันถั่วเหลืองจะถูกนำไปทำให้แห้งมีความชื้นน้อยกว่า 1 % และเก็บที่อุณหภูมิ 20–30 °C เพื่อให้เก็บไ้ได้นาน และคุณสมบัติไม่เปลี่ยน และสามารถนำ lecithin ที่ไ้ไปไ้เป็นตัวอิมัลซิฟาย (Emulsifier) ทางเคมีไ้

Nzai J.M. and Proctor A. (1998) ได้ทำการกำจัดกัมจากน้ำมันถั่วเหลืองดิบ และน้ำมันที่บริสุทธิ์แล้ว (จะทำการเติมฟอสโฟลิปิดมาตรฐานลงไป 0.5%w/w)โดยไ้่น้ำเป็นตัวกำจัด ในการกำจัดทำได้โดยไ้่น้ำกลั่น 2%v/v เติมลงไปนน้ำมันซึ่งหนัก 500 กรัม อุณหภูมิที่ไ้คือ 90 °C พร้อมกับกวนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำน้ำมันไปเหียงเป็นเวลา 10 นาที ตะกอนที่ไ้คือ ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ซึ่งจะถูกนำไปล้างด้วยอะซีโตน 3 ครั้ง แล้วนำไประเหยโดยไ้สูญญากาศเพื่อเอาอะซีโตนที่เหลือออก ผลจากการกำจัดพบว่า สามารถกำจัดฟอสโฟลิปิดจากน้ำมันถั่วเหลืองดิบไ้ 86% สำหรับน้ำมันถั่วเหลืองที่บริสุทธิ์แล้วกำจัดไ้ 98% สาเหตุที่น้ำมันถั่วเหลืองที่กำจัดกัมออกมาไ้มากกว่าน้ำมันดิบอาจเป็นเพราะมีการสูญเสียในระหว่างขบวนการทำฟอสโฟลิปิดจากน้ำมันถั่วเหลืองดิบไ้บริสุทธิ์

Indira T.N. etal. (2000) ได้ทำการกำจัดกัมในน้ำมันรำข้าวน้ำ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษไ้ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำที่เติม เวลา และความเร็วในการกวน ในการทดลองจะไ้้ใช้อุณหภูมิในช่วง 26–90 °C ปริมาณน้ำที่ไ้้อยู่ในช่วง 0.5–4.0% เวลาที่ใช้ในการกวนคือ 10–180 นาที และความเร็วในการกวนจะอยู่ในช่วง 30–400 รอบ/นาที หลังจากก้กวนเสร็จแล้วจะนำสารมาทำให้ไ้้อยู่ที่อุณหภูมิ 55 °C และเหียงที่ความเร็ว 3000 รอบ / นาที เป็นเวลา 15 นาที ผลที่ไ้พบว่าปริมาณที่ไ้ได้อยู่ในช่วง 4.6–15.1 ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีผลทางลบต่อปริมาณตะกอนนั้นคือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้การปริมาณกัมลดลง เนื่องจากพวกไ้สามารถละลายไ้ในน้ำมันเมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิที่สูง ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 68–73 °C เมื่อดูปริมาณน้ำที่เติมพบว่าปริมาณน้ำที่เติมลงไปมากขึ้นก็ไ้ได้ปริมาณตะกอนมากขึ้น เพราะน้ำจะไปจับกับฟอสโฟลิปิดตกลงมาเป็นตะกอน โดยในการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 3.9–4.0% จากการศึกษความเร็ว และเวลาในการกวนพบว่าทั้ง

เวลา และความเร็วในการกวนที่เพิ่มขึ้นช่วยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ดี ซึ่งความเร็วในการกวนที่เหมาะสมอยู่ที่ 215 รอบ/นาที นอกจากนี้ยังพบว่า การกำจัดกัมที่อุณหภูมิจะทำให้สามารถกำจัดไขออกมาพร้อมกับกัมด้วย แต่การทำที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เลซิทีนที่ได้มีสีที่ดำและมีเกรดที่ไม่อยู่ในการค้า

Pastuszevska B. et al. (2000) ได้เปรียบเทียบการกำจัดกัมจากน้ำมันเรพซิดโดยใช้กรดซิตริก และน้ำ โดยกัมที่จากการใช้กรด และน้ำจะถูกนำไปผสมอาหารทดลองกับหนู พบว่าการตกตะกอนกัมโดยใช้กรดซิตริก หรือกรดฟอสฟอริกจะให้คุณสมบัติของเลซิทีนดีกว่าการใช้น้ำกำจัด นอกจากนี้เลซิทีนที่ได้ยังสามารถนำไปผสมเป็นอาหารสำหรับสุกรได้ด้วย

2.4 แหล่งที่มาของเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอทู [นฤมล ; Mounts , 1987]

ฟอสโฟไลเปส เอทู (Phosphatide acyl-hydrolase ; EC 3.1.1.4) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังที่ได้เสนอไปแล้ว สำหรับที่มาของเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอทูได้จากแหล่งต่างๆ ดังนี้

- ไมโตรคอนเดรียในตับของหนู
- ในพืชต่างๆ
- ในพืชของผึ้งและตัวต่อ
- ใน Porcine pancreas ของวัว, ม้า, หนู, หมูและคน

ฟอสโฟไลเปส เอทูที่ได้จากแหล่งที่แตกต่างกันจะไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิดชนิดต่างๆ ได้แตกต่างกัน โดยฟอสโฟไลเปส เอทูที่ได้จาก Porcine pancreas จะไฮโดรไลซ์ไขมันได้ดี เช่น กรดฟอสฟาติค, ฟอสฟาติลกลีเซอรอลและไดฟอสฟาติลกลีเซอรอลแต่ไฮโดรไลซ์ฟอสฟาติลคอลีนได้ช้า

ฟอสโฟไลเปส เอทูจากไมโตรคอนเดรียในตับหนู [Bosch , 1991]

ฟอสโฟไลเปส เอทูจากไมโตรคอนเดรียในตับหนูสามารถเตรียมได้โดย เตรียมไมโตรคอนเดรียจากตับหนูประมาณ 10 หรือ 20 % w/v ใน 0.25 M. Sucrose, 1 mM.EDTA, 1 mM.Phenylmethanesulfonyl fluoride และ 20 mM. Tris-HCl ส่วนผสมทั้งหมดจะถูกปั่นเหวี่ยงให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจะถูกทำให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยโดยเติม 50 mM. Tris-HCl (pH 8.0) และปรับให้มีอุณหภูมิ 0-4 °C ไมโตรคอนเดรียที่อยู่ในสภาพแขวนลอยจะถูกเติม Ice-cold acetone ปริมาตร 10 เท่าของสารแขวนลอย หลังจากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงอีกครั้งเป็นเวลา 5 นาทีที่ 16000 g ส่วนที่เป็น Supernatant จะถูกรินออก และส่วนที่เป็น Pellet จะถูกทำให้แห้งโดยไอของไนโตรเจน ต่อมา Pellet จะถูกทำให้อยู่ในรูปของสารแขวนลอยอีกครั้ง โดยสารละลายบัฟเฟอร์ที่ประกอบด้วย 20 mM. Tris-HCl (pH 7.4) สารแขวนลอยนี้จะถูกคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

และถูกปั่นเหวี่ยงต่ออีก 20 นาที ที่ 25000 g หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำแข็งแล้วทำ Dialysis ซึ่งจะได้ตะกอนของโปรตีนที่มีฟอสโฟไลเปส เอนูแอคติวิตีและจะถูกทำให้บริสุทธิ์ต่อไปโดย Ion-exchange chromatography และ Gel filtration

ฟอสโฟไลเปส เอนูจากพิษงู

มีผู้ทำการเตรียมฟอสโฟไลเปส เอนูจากพิษงูชนิดต่างๆ มากมาย [Mounts , 1987 ; สายสนม , 2538 ; ชัยฤทธิ์ , 2515 ; สัมภ์ , 2510 ; Tan , 1987] ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการเตรียมฟอสโฟไลเปส เอนูจากพิษงูแมวเซาโดย ดร.สายสนม ธรรมชาติพิทักษ์และคณะ [สายสนม , 2538]

บรรจุส่วนผสม Sephadex G-75 ลงในคอลัมน์จนได้ความสูงของเจล 60 cm. ผ่านคอลัมน์ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียมอะซิเตด 0.03 M. pH 6.5 ประมาณ 2 เท่าของปริมาตรเจลที่บรรจุในคอลัมน์ จากนั้นผ่านคอลัมน์ด้วย Blue dextran ที่มีความเข้มข้น 2% เพื่อหา Void volume หลังจากนั้นผ่านสารละลายพิษงู 4 cm³ ที่มีความเข้มข้น 50 mg./cm³ ลงในคอลัมน์แล้วชะด้วยสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนียมอะซิเตด 0.03 M. pH 6.5 แล้วเก็บสารละลายที่ออกมาจากคอลัมน์หลอดละ 3.0 cm³ ด้วยเครื่องเก็บแยกส่วน จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงและวัดฟอสโฟไลเปส เอนูแอคติวิตี จากนั้นใช้ Cation exchange chromatography เพื่อทำให้ฟอสโฟไลเปส เอนู บริสุทธิ์ขึ้น

เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอนูจากพิษงูชนิดต่าง ๆ นั้น ถูกนำไปใช้ในการศึกษาในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไป ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของการนำเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอนู จากพิษงูชนิดต่าง ๆ มาใช้

- Molecular mechanism of lung hemorrhage induction by VRV-PL-VIIa from Russell 's viper (*Vipera russelli*) venom by B. Uma and T. Veerabasappa Gawda [Uma , 2000]
- Myotoxic phospholipase A₂ in Bothrops snake venom : Effect of chemical modifications on the enzymatic and pharmacological properties of bothropstoxins from *Bothrops jararacussu* by Silria H. Andriao-Escarso, Andreimar M. Soares, Verdiana M. Rodrigues, Yamileth Angulo, Cecilia Diaz, Bruno Lomonte, Jose M. Gutierrez and Jose R. Giglio [Andriao , 2000]
- Isolation and characterization of myotoxin II from *Atropodites (Bothrops) nummifer* snake venom, a new Lys 49 phospholipase A₂ homologue by Yamileth Angulo, Timoteo Olamendi-Portugal, Lourival D. Possani and Bruno Lomonte [Angulo , 1999]
- Regional evolution of venom-gland phospholipase A₂ isoenzymes of *Trimeresurus flaviridis* snakes in the southwestern islands of Japan by T.Chijiwa , M. Deshimaru, I. Nobuhisa, M. Nakai, T. Ogawa, N. Oda, K. Nakashima, Y. Fukumaki, Y. Shimohigashi, S. Hattori and M. Ohno [Chijiwa , 2000]

- Amino acid sequence of piratoxin-II / a myotoxic Lys 49 phospholipase A₂ homologue from *Bothrops pirajai* venom by Marcos H. Toyama, Andreimar M. Soares, Lee Wen-Hwa, Igor Polikarpov, Jose R. Giglio and Sergio Marangoni [Toyama, 2000]
- Etc.

นอกจากเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เหนือแล้วในพิษงูยังประกอบด้วยเอนไซม์ชนิดอื่นๆอีกอย่างน้อย 26 ชนิด แต่ไม่มีพิษชนิดใดชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยเอนไซม์ทุกชนิดรวมกันต่อไปนี้เป็นเอนไซม์ที่พบมากในพิษงูชนิดต่างๆ [Terry]

Proteolytic enzymes	Collagenase
Phosphomonoesterase	Rnase
Arginine ester hydrolase	Dnase
Phosphodiesterase	Hyaluronidase
Thrombin-like enzymes	5'-Nucleotidase
Acetylcholinesterase	L-Amino acid oxidase
Phospholipase C	Lactatedehydrogenase
Phospholipase A ₂	

ปัจจุบันนี้การศึกษาเกี่ยวกับพิษงูเป็นจำนวนมากในการนำมาทำเป็นยารักษาโรคต่างๆเช่น

- Study : Snake venom slows Breast Cancer growth [Phillips, 1996]
- การนำส่วนประกอบบางส่วนของพิษงูมาเป็นตัวยับยั้ง (Inhibitor) ของ Angiotensin-converting enzyme (ACE) ซึ่งเอนไซม์ตัวนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยน Inactive precursor ให้กลายเป็นฮอร์โมนที่ Active คือ Angiotensin ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้หลอดเลือดหัวใจตีบเป็นผลให้ความดันโลหิตสูงขึ้น [Harvey, 1995]
- การศึกษาการใช้ Protein toxins กลุ่มหนึ่งเรียกว่า Dendrotoxins ที่พบในพิษของ Mamba snake ในการรักษาโรค Alzheimer [Harvey, 1995]
- การศึกษาเกี่ยวกับ Stroke therapy โดยใช้พิษงู [Henry, 1999]
- การศึกษาการทำ Anti-cancer drug โดยใช้พิษงู [WebMD National News Center]

พิษผึ้งและเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เหนือจากพิษผึ้ง

เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เหนือจากพิษผึ้งนี้มีผู้ทำการศึกษาน้อยกว่าเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เหนือจากพิษงู แต่การศึกษาในเรื่องเกี่ยวกับพิษผึ้งนั้นมีเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการนำพิษผึ้งมาใช้ในการรักษาโรคต่างๆ [สิริวัฒน์, 2529] ดังนี้

- ใช้สำหรับรักษาผู้ป่วยที่เป็นโรคข้ออักเสบ (Rheumatoid arthritis) โดยการบำบัดรักษาโรคด้วยพิษผึ้งที่เรียกว่า “Bee venom therapy” หรือ “Apitherapy” ซึ่งมีผู้ศึกษาในยุโรปเป็นเวลานานแล้วและในสหรัฐอเมริกาเริ่มศึกษาเมื่อประมาณ 50 ปีที่แล้ว
- ใช้สำหรับรักษาผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันไวต่อพิษของผึ้ง (Hypersensitivity to bee venom) รักษาโดยการบำบัดทางภูมิคุ้มกัน (Immune) ด้วยพิษของผึ้งที่สกัดทำเป็นยาแล้วฉีดเข้าในร่างกายของผู้ที่แพ้ผึ้งโดยความเข้มข้นที่ใช้น้อยมาก
- ใช้สำหรับทดสอบทางผิวหนัง (Skin test) จำแนกเฉพาะว่าแพ้พิษของผึ้งโดยสกัดพิษของผึ้งมาทำน้ำยาที่มีความเข้มข้น 0.1 ไมโครกรัมต่อ 1 มิลลิตร แล้วใช้ทดสอบทางผิวหนังโดยฉีดเข้าใต้ผิวหนัง

ในพิษของผึ้งประกอบด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ

เอนไซม์	จำนวนเปอร์เซ็นต์ในพิษผึ้งที่แห้ง
Alfa-Glucosidase	0.6
Acid Phosphomonoesterase	1.0
Hyaluronidase	1.5-20
Lysophospholipase	1.0
Phospholipase A ₂	10-12

สำหรับเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอทูกจากพิษผึ้งนั้น มีฤทธิ์ทำให้เกิดอาการแพ้ทำลายฟอสโฟลิปิดซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเซลล์ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ที่สำคัญคือ ทำให้กล้ามเนื้อเรียบหดตัว เพิ่มการรั่วของหลอดเลือดทำให้ความดันโลหิตต่ำและทำให้แมสเซลล์หลังฮีสตามีน ทำให้เกิดอาการแพ้และเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดอาการช็อคเนื่องจากการแพ้อย่างรุนแรง (Anaphylaxis)

เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอทูกจาก Pancreas

เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอทูกนั้น สามารถเตรียมได้จาก Porcine pancreas ของ วัว, ม้า, หนู, หมูและคน [นฤมล] ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของการเตรียม เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอทูกจาก Pancreas ของหมู [Mounts, 1987] นำสารผสมเนื้อเดียวของ Pancreas หมูมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12-24 ชั่วโมงหลังจากนั้นจะถูกทำให้อยู่ในรูปของ Ammonium sulfate fractionation (หลังจากปรับ pH และเอาตะกอนออกแล้ว) เติมน้ำ 0.75 M. NaCl และถูก Chromatographed ต่อโดยใช้ Sephadex G-50 ส่วนที่ถูกชะออกมาจะมี Enzymic activity ซึ่งจะถูกนำผ่าน DEAE-cellulose column จากนั้นจะถูก

Chromatographed อีกครั้งโดย CM-cellulose สำหรับ Activity ของเอนไซม์จากโครมาโทกราฟีวิธี
หลังนี้ จะปรากฏ Single band บน Disc gel electrophoresis และจะได้ Yield ของเอนไซม์ 30 %

เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชที่ได้จาก Pancreas นี้สามารถไฮโดไลซ์ไขมันที่มีคุณสมบัติเป็น
กรดได้ดี [นฤมล] เช่น กรดฟอสฟาติก กรดฟอสฟาติกกลีเซอรอลและไดฟอสฟาติกกลีเซอรอล แต่
ไฮโดรไลซ์ฟอสฟาติกคอลีนได้ช้า ซึ่งกรดฟอสฟาติกนี้เองที่เป็น Non-Hydratable Phospholipid
(NHP) ที่สำคัญในน้ำมันถั่วเหลืองดิบ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเอนไซม์ฟอสโฟไล
เปส เอชจาก Porcine pancreas มาใช้ขจัดฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลือง [สมพร , 2538 ; นฤมล]
มากกว่าเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชจากแหล่งอื่นๆ

การใช้เอนไซม์ไฮโดรไลซ์ฟอสโฟลิปิด [นฤมล]

H. Buchold (1993) ได้นำเอนไซม์มาใช้ในการขจัดฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลืองดิบโดย
ตรง เรียกว่า “ EnzyMax Degumming Process” สำหรับเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชนั้นได้จาก
Porcine pancreas เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เอชนี้มีความสามารถในการไฮโดรไลซ์กรดไขมันที่จับ
กับคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในโมเลกุลของฟอสโฟลิปิด ซึ่งทำให้ได้ 1-Acyl lysophospholipid เป็น
ผลิตภัณฑ์ ฟอสโฟลิปิดนี้สามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี (Hydratable phospholipid) สำหรับการดำเนิน
การทดลองนั้นได้พัฒนาไปจนถึงระดับต้นแบบ (Pilot plant) โดยมีกำลังผลิต 75-150 กิโลกรัมต่อ
วัน โดยใช้เอนไซม์ที่มีความเข้มข้นขนาด 700 เลกิตเนสยูนิตต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม ทำปฏิกิริยาที่ pH 5
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยขั้นแรกน้ำมันถั่วเหลืองดิบจะถูกทำการปรับสภาพให้มี pH 5 ด้วย
กรดซิตริก ขั้นตอนนี้ทำเพื่อขจัดฟอสโฟลิปิดในน้ำมันถั่วเหลืองดิบที่รวมตัวกับน้ำออกได้บางส่วน
โดยทำให้เกิดการตกตะกอน หลังจากนั้นทำการปรับ pH ของน้ำมันให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับ
การทำงานของเอนไซม์ซึ่งมี pH ประมาณ 8 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60
องศาเซลเซียส และนำน้ำมันที่ได้ไปรวมกับเอนไซม์ทันทีเพื่อเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (Reactor) ระยะเวลา
ที่ใช้ทำปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันดิบที่ใช้ในกระบวนการ ผลจากปฏิกิริยาในระบบจะ
แยกออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนของน้ำมันที่ผ่านการขจัดกัมแล้ว ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสลด
ลงจาก 90-144 ppm (สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสได้ 95.5-97.0%) ปริมาณแร่เหล็กในน้ำมันลดลง
จาก 1.4 ppm เป็น 0.3 ppm และมีการสูญเสียน้ำมันระหว่างกระบวนการ (Refining loss) 0.03-
0.06% ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของตะกอนฟอสฟาไทด์ (Phosphatide suldge) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า
ในตะกอนนี้ยังมีเอนไซม์ที่สามารถทำงานได้ (Active enzyme) อยู่สามารถนำตะกอนส่วนนี้กลับมา
ใช้ในปฏิกิริยากับน้ำมันถั่วเหลืองดิบได้อีก และพบว่าสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกประมาณ 5 ครั้ง
โดยที่ประสิทธิภาพของเอนไซม์ไม่ลดลง ส่วนที่ 3 เป็นส่วนของน้ำที่ใช้ในกระบวนการซึ่งใช้
ประมาณ 30 กิโลกรัมต่อน้ำมันดิบ 1 ตัน น้ำส่วนนี้สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการได้ โดยใช้
ในการเตรียมสารละลายเอนไซม์ ในการวิจัยได้มีการทดลองคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้

เอนไซม์ พบว่าค่าใช้จ่ายเฉพาะเอนไซม์คิดเป็นมูลค่าประมาณ 50-60% ของต้นทุนในการผลิตทั้งหมด ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง

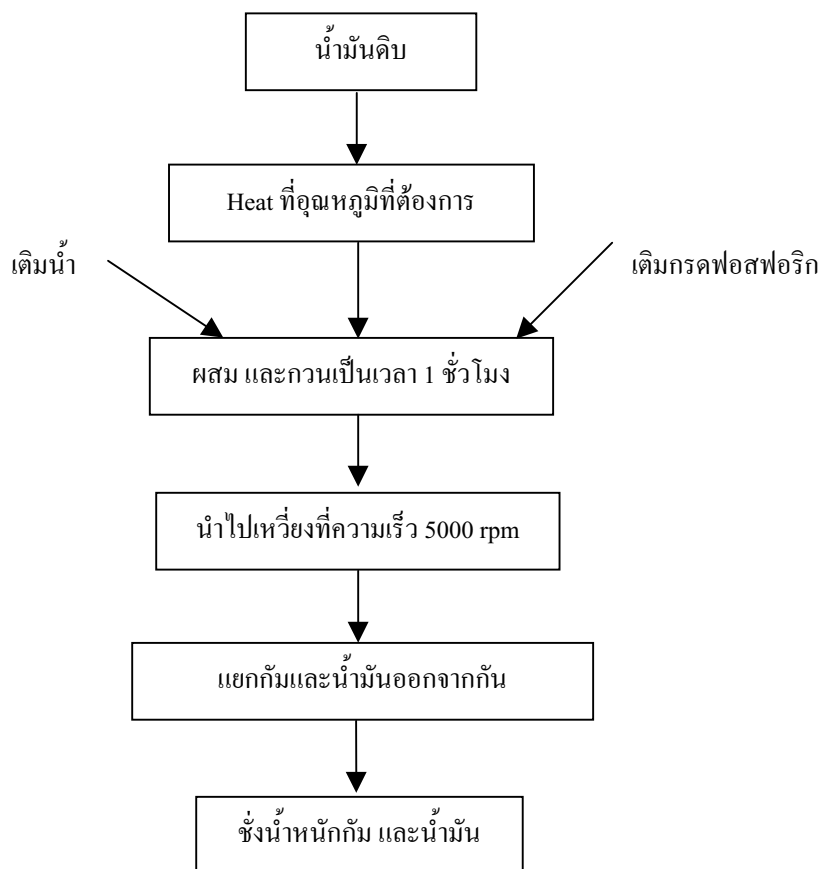
ต่อมา K. Dahlke และ H. Buchold (1995) ได้พัฒนาระบบ “EnzyMax Degumming Process” เป็นระดับอุตสาหกรรม คือโรงงานที่ผลิตน้ำมันที่ชื่อว่า “Cereol” ในประเทศเยอรมัน มีการผลิตน้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันจากเมล็ดเรพสีด และน้ำมันถั่วเหลือง โดยมีกำลังผลิต 540 และ 400 ตันต่อวันตามลำดับ น้ำมันที่ได้จากกระบวนการมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่า 8 ppm มีสี กลิ่น รส และค่าความคงตัวไม่แตกต่างจากน้ำมันที่ได้จากกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมี และขณะนี้ ได้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อผลิตเอนไซม์ฟอสโฟไลเปส เหนือจากเชื้อจุลินทรีย์ จากการทดสอบทางเอนไซม์จากเชื้อจุลินทรีย์พบว่า มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเอนไซม์มาตรฐาน ซึ่งคาดว่าจะการผลิตเอนไซม์จากเชื้อจุลินทรีย์จะทำให้ราคาของเอนไซม์ในอนาคตมีราคาถูกลง

บทที่ 3 ผลการทดลองการกำจัดกัม

3.1 การกำจัดกัม

1. นำน้ำมันมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C
2. เติมกรดฟอสฟอริกลงไป $0.02\% \text{v/v}$ ของน้ำมันและเติมน้ำ $1\% \text{v/v}$ ของน้ำมันลงไปพร้อมกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำไปเหวี่ยงที่ความเร็ว 5000 รอบ/นาที
4. แยกน้ำมันและตะกอนออกและชั่งน้ำหนักไว้ วิธีการทดลองแสดงดังแผนผังที่ 1
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1–4 โดยเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ต่อไปนี้
 - เปอร์เซ็นต์ของกรดที่เติมเป็น $0.02\text{--}0.06\% \text{v/v}$ ของน้ำมัน
 - เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เติมเป็น $1\text{--}4\% \text{v/v}$ ของน้ำมัน
 - อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเป็น $50\text{--}70^{\circ}\text{C}$

โดยสถานะการทดลอง และผลการทดลองกำจัดกัมแสดงในตารางที่ 1



แผนผังที่ 1 แสดงการทดลองกำจัดกัม

ตารางที่ 1 แสดงสภาวะการทดลอง และผลการทดลองกำจัดกำ
(น้ำหนักน้ำมัน 100 ml มีน้ำหนัก 88.33 กรัม)

การทดลองที่	อุณหภูมิ (°C)	% กรด ที่เติม (%v/v)	% น้ำ ที่เติม (%v/v)	น้ำหนักของน้ำมัน ก่อนเหวี่ยง	น้ำหนักน้ำมันที่ได้ (g)	ความชื้นในน้ำมัน (%)	น้ำหนักตะกอน (g)	ปริมาตรน้ำมัน(ml)	%yield โดยน้ำหนัก	% ฟอสโฟลิปิด ที่ได้
1	50	0.02	1	88.53	84.89	0.39	3.65	94	95.66	0.9320
2	50	0.02	4	89.82	84.39	0.49	5.38	95	94.98	0.1980
3	50	0.06	1	89.44	84.67	0.35	2.48	95	95.46	2.2410
4	50	0.06	4	89.32	84.18	0.34	5.09	94	94.92	0.0600
5	70	0.02	1	88.21	84.54	0.42	3.64	95	95.23	1.3070
6	70	0.02	4	89.84	84.13	0.49	5.65	95	94.69	0.1198
7	70	0.06	1	88.03	84.24	0.30	1.34	94	95.03	2.861
8	70	0.06	4	86.65	83.07	0.48	3.54	93	93.50	0.1400
9	60	0.04	2.5	87.45	82.93	0.37	4.34	94	93.47	0.1150
10	60	0.04	2.5	87.73	83.47	0.33	4.18	94	94.12	0.0760
11	60	0.04	2.5	87.77	83.27	0.48	3.05	93	93.73	0.1918
12	60	0.04	2.5	87.72	82.80	0.50	4.82	93	93.17	0.1230
13	50	0.03	1	87.79	85.00	0.48	1.58	93	95.69	2.1030
14	50	0.03	4	87.58	83.51	0.28	4.00	93	94.23	0.2490
15	70	0.03	1	87.61	84.46	0.35	1.15	94	95.22	2.4310
16	70	0.03	4	88.98	82.07	0.38	6.83	92	92.48	0.2060
17	60	0.02	1	87.33	82.11	0.47	4.77	92	92.43	0.7870
18	60	0.02	4	88.99	81.95	0.37	6.99	92	92.36	0.0758
19	60	0.06	1	87.08	81.15	0.46	5.92	92	91.35	0.1096
20	60	0.06	4	89.20	82.74	0.38	6.44	93	93.24	0.0919
21	60	0.03	1	87.57	84.53	0.43	3.01	94	95.21	0.1159
22	60	0.03	4	88.21	83.13	0.54	5.07	93	93.50	0.1445

ระยะทางจากก้นหลอดถึงจุดศูนย์กลางของเครื่องเหวี่ยง = 13.2 เซนติเมตร

3.2 การหาค่าความร้อนของน้ำมันถั่วเหลือง และกัมโดยบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)

วิธีการหาค่าความร้อนทำได้โดยนำเชื้อเพลิงมาเผาไหม้ในเครื่องมือปิดบรรจุออกซิเจนที่มีความดันสูง ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์กลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ภายใต้อุณหภูมิสูง ไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่เกิดจากอากาศและสารอินทรีย์ละลายน้ำเป็น กรดไนตริก ส่วนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ละลายน้ำเป็น กรดซัลฟูริก ความร้อนจากการเผาไหม้ถูกถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยแคลอรีมิเตอร์ อ่างบรรจุน้ำ เทอร์โมมิเตอร์ และใบพัดกวนน้ำ การคำนวณต้องทราบค่าความร้อนจำเพาะของสิ่งเหล่านี้ เพื่อความสะดวกจึงหาเป็นค่าพลังงานสมมูล (Energy equivalent of calorimeter) ของเครื่องมือก่อน โดยใช้กรดเบนโซอิกบริสุทธิ์ที่มีค่าความร้อน 6,318 แคลอรีต่อกรัม เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นจึงนำค่าพลังงานสมมูลของเครื่องมือไปคำนวณหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่อไป โดยค่าพลังงานสมมูลหาได้จากสมการที่ 4

$$W = \frac{Hm + e_1 + e_3}{t} \quad (4)$$

เมื่อ W คือ ค่าพลังงานสมมูลย์ของแคลอรีมิเตอร์ (แคลอรีต่อองศาเซลเซียส หรือ แคลอรีต่อองศาฟาเรนไฮต์) H คือ ค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก มีค่าเท่ากับ 6,318 แคลอรีต่อกรัม m คือ มวลของกรดเบนโซอิกที่ใช้ (กรัม) t คือ ค่าแก้ไขของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส หรือ องศาฟาเรนไฮต์) e_1 คือ ค่าความร้อนของกรดไนตริก (แคลอรี) และ e_3 คือ ค่าความร้อนในการเผาไหม้ลวดนิโครม (มีค่า 2.3 แคลอรีต่อความยาวลวด 1 เซนติเมตร)

และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$Hg = \frac{tW - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad (5)$$

เมื่อ Hg คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง t คือ ค่าแก้ไขของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส หรือ องศาฟาเรนไฮต์) e_1 คือ ค่าความร้อนของกรดไนตริก (แคลอรี) e_2 คือ ค่าความร้อนของกรดซัลฟูริก (แคลอรี) e_3 คือ ค่าความร้อนของลวดที่ใช้เผาไหม้ (แคลอรี) W คือ พลังงานสมมูลย์ และ m คือ มวลของเชื้อเพลิง (กรัม) ผลการหาค่าความร้อนแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการหาค่าความร้อนของกัมจากน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันถั่วเหลืองดิบ

น้ำมัน	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
กัม	7,065.16 cal/g 29.56 KJ/g	7,177.82 cal/g 30.03 KJ/g	6,974.50 cal/g 29.18 KJ/g	7,072.49 cal/g 29.59 KJ/g
น้ำมันถั่วเหลืองดิบ	9,324.36 cal/g 39.01 KJ/g	8,883.97 cal/g 37.17 KJ/g	8,985.20 cal/g 37.59 KJ/g	9,064.51 cal/g 37.92 KJ/g

ข้อสังเกตประการหนึ่งของการเผาไหม้กัมของน้ำมันถั่วเหลืองคือ พงदानที่เหลือจากการเผาไหม้จะเกาะติดอย่างแน่นกับถ้วยทดลองที่ใช้ในการบรรจุกัม ทั้งนี้ลักษณะการเกาะติดจะเป็นปฏิกิริยาของสิ่งเจือปนในกัมกับถ้วยโลหะ จากข้อสังเกตนี้จะเห็นว่าถึงแม้ว่ากัมของน้ำมันถั่วเหลืองจะมีค่าความร้อนสูง แต่เมื่อนำไปเผาไหม้จริงๆ จะกระทำไม่ได้เพราะพงदानที่เกิดขึ้นจะไปเกาะติดกับวัสดุโลหะที่ใช้ทำเตาเผาไหม้ขึ้น

3.3 การหาความชื้นจากกัมของน้ำมันถั่วเหลือง และความชื้นจากน้ำมันถั่วเหลืองดิบ

วิธีการทำโดยชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของกัม หรือน้ำมันถั่วเหลืองดิบประมาณ 1–3 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนกระทั่งน้ำหนักของกัม และน้ำมันคงที่ น้ำหนักที่หายไปหลังการอบ คือ น้ำหนักของความชื้นในกัม และน้ำมันถั่วเหลืองดิบ ผลการหาความชื้นในกัม และน้ำมันถั่วเหลืองดิบแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดงผลการหาความชื้นในกัมของน้ำมันถั่วเหลือง

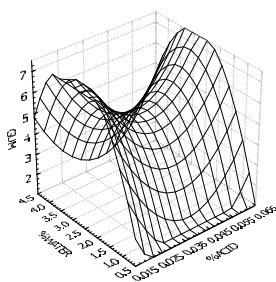
การทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)
ครั้งที่ 1	10.07
ครั้งที่ 2	9.84
ครั้งที่ 3	10.22
เฉลี่ย	10.04

ตารางที่ 4 แสดงความชื้นในน้ำมันถั่วเหลืองดิบ

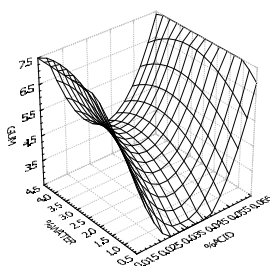
การทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)
ครั้งที่ 1	0.64
ครั้งที่ 2	0.57
ครั้งที่ 3	0.65
เฉลี่ย	0.62

จากตารางที่ 1 เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาทำการพล็อตกราฟ ในรูป Surface area โดยแกนตั้ง (แกน Z) แสดงปริมาณกัม หรือตะกอนที่ได้ แกน X แสดงเปอร์เซ็นต์กรดฟอสฟอริกที่เติม และแกน Y แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำที่เติม โดยพิจารณาที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 50 , 60 และ 70°C ผลที่ได้แสดงในกราฟที่ 1 , 2 และ 3

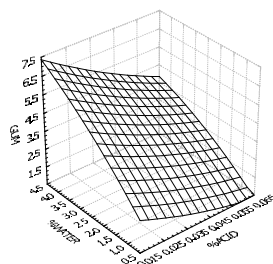
กราฟที่ 1 แสดงปริมาณกัมที่ตกตะกอนได้ที่อุณหภูมิ 50 °C



กราฟที่ 2 แสดงปริมาณกัมที่ตกตะกอนได้ที่อุณหภูมิ 60 °C



กราฟที่ 3 แสดงปริมาณกัมที่ตกตะกอนได้ที่อุณหภูมิ 70 °C



จากกราฟ และผลการทดลองที่ได้สามารถหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดในสมการแบบ second order ได้ดังนี้

พิจารณากราฟที่ 1 อุณหภูมิ 50 °C สมการที่ได้คือ

$$Z = 4.745 - 444.904X + 6.763Y + 5141.667X^2 + 6.128XY - 1.247Y^2$$

พิจารณากราฟที่ 2 อุณหภูมิ 60 °C สมการที่ได้คือ

$$Z = 9.588 - 466.051X + 2.463Y + 6383.333X^2 - 14.846XY - 0.277Y^2$$

พิจารณากราฟที่ 3 อุณหภูมิ 70 °C สมการที่ได้คือ

$$Z = 2.334 - 63.529X + 1.837Y + 345.834X^2 - 7.705XY - 0.091Y^2$$

เมื่อ X คือ น้ำหนักกัมที่ได้ (กรัม)

Y คือ เปอร์เซนต์กรดฟอสฟอริกที่เติม (เปอร์เซนต์โดยปริมาตร)

Z คือ เปอร์เซนต์น้ำที่เติม (เปอร์เซนต์โดยปริมาตร)

ลักษณะของตะกอนที่ได้หลังการเหวี่ยง จะมีสีเหลืองปนน้ำตาลจนถึงน้ำตาลเข้ม โดยตัวอย่างของลักษณะตะกอนที่ได้แสดงดังรูปที่ 2 , 3 และ 4



รูปที่ 2 แสดงลักษณะตะกอนที่ได้จากการทดลองที่ 7 โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ 70°C ใช้น้ำ 1% และใช้กรด 0.06% โดยน้ำหนักตะกอนที่ได้คือ 13.4 กรัม มีปริมาณฟอสโฟลิปิด 2.861%



รูปที่ 3 แสดงลักษณะตะกอนที่ได้จากการทดลองที่ 3 โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ 50°C ใช้น้ำ 1% และใช้กรด 0.06% โดยน้ำหนักตะกอนที่ได้คือ 2.48 กรัม มีปริมาณฟอสโฟลิปิด 2.241%



การทดลองที่ 18

รูปที่ 4 แสดงลักษณะตะกอนที่ได้จากการทดลองที่ 18 โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ 60°C ใช้ น้ำ 4% และใช้กรด 0.02% โดยน้ำหนักตะกอนที่ได้คือ 6.99 กรัม มีปริมาณฟอสโฟลิปิด 0.0758%

จากลักษณะตัวอย่างของตะกอนที่ได้จะเห็นว่า ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณตะกอนที่ ตกมีปริมาณมาก แต่ปริมาณของฟอสโฟลิปิดตกตะกอนน้อยนอกจากนี้สีของตะกอนมีสีจางกว่า กรณีของการตกตะกอนเมื่อใช้ปริมาณน้ำน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของกรดฟอสฟอริกที่เพิ่มขึ้นทำให้การตกตะกอนฟอสโฟลิปิดได้มากขึ้น

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์มูลค่าเพิ่มในกัม

4.1 Chemical Composition

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ Crude soybean gum ได้แก่มียังนี้คือ Protein (โดยวิธี Kjeldahl) , Fat (การกลั่นในชุด Soxhlet), Fiber, Ash, Moisture และ Carbohydrate ได้ค่าดังตาราง 5

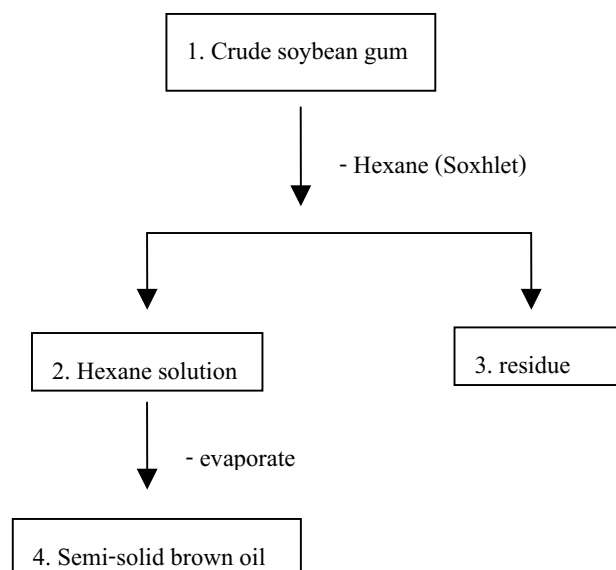
ตารางที่ 5 Chemical composition of crude soybean gum

ตัวอย่าง	คาร์โบไฮเดรต(%)	โปรตีน(%)	ไขมัน(%)	เส้นใย(%)	เถ้า(%)	ความชื้น (%)
Crude soybean gum	4.48	3.37	73.26	2.69	6.03	10.17

จากตาราง 5 พบว่า Crude soybean gum มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนเป็นไขมัน 73.26% รองลงมาคือความชื้น 10.17% นอกจากนี้ยังพบ โปรตีน 3.37% คาร์โบไฮเดรต 4.48% เส้นใย 2.69% และเถ้า 6.03%

4.2 การวิเคราะห์ Phospholipid โดยวิธี Molybdovanadate spectrophotometer

เนื่องจากใน Crude soybean gum มี Phospholipid เป็นองค์ประกอบดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณ Phospholipid ใน Crude soybean gum โดยนำ Crude soybean gum มาแยกออกเป็น ส่วนตะกอน (residue) และส่วนน้ำมัน (Semi-solid brown oil) ดังแผนผัง 2



แผนผังที่ 2 การแยกส่วนประกอบต่างๆ ของ Crude soybean gum