รายงานผลงานเรื่องเต็ม

การทดลองที่ 1.2 ทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับพืชโดยใช้เทคนิค Press swing extractions

1. แผนงานวิจัย : วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี และเครื่องจักรสำหรับแปรรูปพืชผักและสมุนไพร

: Research and Development on Technology and Machines for Vegetable and Herb Processing

2. โครงการวิจัย : วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก

: Research and Development on Extractor Natural oil Machine with Supercritical carbon dioxide Technique (SC-CO2) and Combination Mixer Magnetic

3. กิจกรรม : กิจกรรมที่ 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบผสมแบบแม่เหล็ก (2559-2561)

4. กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -

5. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การทดลองที่ 1.2 ทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับพืชโดยใช้เทคนิค Press swing extractions

6. ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : -

7. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง : นายพินิจ จิรัคคกุล ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น

ผู้ร่วมงาน : นายเวียง อากรชี ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น

: นายสิทธิชัย ดาศรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

: นายอนุชา เชาว์โชติ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

8. บทคัดย่อ : การสกัดสารสำคัญของผงพริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดองุ่น เริ่มทดสอบจากการสกัดพริกพันธุ์ยอดสนเข็ม 80 และ มะเขือเทศพันธุ์อีเป้อ ปัจจัย ความดัน 10, 15, 20 MPa เอทานอล 10, 25, 40 มิลลิลิตร และ เวลา 30, 60, 90 นาที ได้ปริมาณน้ำมันพริกที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 5.16 - 20.3 สารแคปไซซินทั้งหมดอยู่ในช่วง 9.0863 - 19.5999 mg/100 g dw น้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 15 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 90 นาที แต่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารแคปไซซิน คือ การใช้ความดัน 15 MPa เอทานอล 25 ml และใช้ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยเทคนิคซอกเทคใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารแคปไซซินได้ 25.702 mg/100 g dw ใช้เวลา 3 ชั่วโมง แต่เมื่อใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions 24.570 mg/100 g dw มีค่าใกล้เคียงกับเทคนิคซอกเทค ส่วนการสกัดน้ำมันมะเขือเทศ ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 3.04-14.02 การสกัดสารไลโคปีนออกมาในปริมาณสูงมีค่า 14.467 mg/100 g dw ที่ความดัน 20 MPa เอทานอลท 40 ml และระยะเวลา 60 นาที การสกัดสารกลุ่มไลโคปีนต้องใช้ความดันที่ 20 MPa ขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการแช่ร่วมกับเอนไซม์เป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารไลโคปีนได้ 67.610 mg/100 g dw และเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions 17.114 mg/100 g dw ส่วนการสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น ที่สกัดได้ของเมล็ดองุ่นพันธุ์ชิลีจากสภาวะการสกัดที่ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 90 นาที ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดอยู่ที่ร้อยละ 9.32 และการนำเทคนิค Pressure swing extractions เข้ามาร่วมในการสกัดจะสามารถให้ปริมาณน้ำมันอยู่ที่ร้อยละ 13.45 ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นร้อย 4.13 โดยเทคนิค Pressure swing extractions ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินส์สูงสุด (15.661 mg/100 g dw) เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล (6.202 mg/100 g dw) และเทคนิคการแช่ (3.590 mg/100 g dw) ตามลำดับ

: The extraction of dried chilli, tomato and grape seed powder started form Yodson Khem 80 chilli and E-per tomato. The 10, 15 and 20 Mpa. Of pressure, 10, 25 and 40 milliliters of ethanol and 30, 60 and 90 min of time gave 5.16-20.3% of chilli oil. The total capsaicin was 9.0863-19.5999 mg/100 gdw. The highest oil yield condition was 15 Mpa of pressure, 40 ml of ethanol and 90 min of time. The suitable condition for capsaicin extraction was 15 Mpa of pressure, 25 ml of

ethanol and 60 min of time. The soxtec extraction with ethanol solvent showed 25.702 mg/100 gdw of capsaicin with in 3 h but supercritical carbon dioxide with ethanol solvent and pressure swing extraction expressed 24.570 mg/100 gdw of capsaicin which was similar to soxtec extraction.

The tomato extraction gave 3.04-14.02 %yield with 14.467 mg/100 gdw of lycopene at 20 Mpa of pressure, 40 ml of ethanol and 60 min of time. The lycopene extraction must be operate the pressure more than 20 Mpa. The comparing with soaking ethanol solvent technique with enzyme for control condition expressed 67.610 mg/100 gdw of lycopene and the supercritical carbon dioxide with ethanol solvent and pressure swing extraction showed 17.114 mg/100 gdw of lycopene.

The grape seed was extracted from chili grape seed with 20 Mpa of pressure, 40 ml of ethanol and 90 min of time. This condition ware 9.32% oil yield. The pressure swing extraction showed 13.45% oil yield which increased 4.13% and expressed the highest anthocyanin 15.611 mg/100 gdw Where as the supercritical carbon dioxide with ethanol and soaking method showed 6.202 mg/100 gdw and 3.590 mg/100 gdw, respectively.

9. คำนำ

9.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสกัดสารระเหยจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีอยู่หลายวิธี โดยแต่ละวิธีใช้เครื่องสกัดที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่สกัดและความต้องการของคุณภาพของสารระเหย เช่น การสกัดโดยใช้เครื่องหีบหรือเครื่องบีบ การสกัดโดยการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) การสกัดด้วย ตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ซึ่งสารระเหยจะอยู่ในรูปน้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบ ที่ให้กลิ่นในพืชมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนัก ทำให้การสกัดน้ำมันหอมระเหยจะมีข้อจำกัดในการใช้เครื่องมือสกัด ปัจจุบันสารระเหยที่สกัดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติมีความต้องการสูงทั้งในภาคอุตสาหกรรมยาและอาหาร เช่น สารแคโรทีนอยด์และวิตามินอี จากน้ำมันปาล์มแดง สารโพรแอนโธไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่น สารแคปไซซินจากพริก สารไลโคปีนในมะเขือเทศ ซึ่งสารเหล่านี้ปัจจุบันยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากการสกัดสารระเหยเหล่านี้จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีชั้นสูงและลงทุนมาก การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการสกัด

สารระเหยและการศึกษากระบวนการผลิตที่มีคุณภาพจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การนำเทคโนโลยีการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตมาเป็นตัวทำละลาย มีข้อดี คือ เป็นตัวทำละลายที่ไม่กลิ่นและรสที่จะรบกวนน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ ปลอดภัยเมื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ยาและอาหาร เป็นสารที่ไม่ติดไฟ ความหนืดต่ำ สามารถแทรกซึมเข้าตัวอย่างได้ง่าย จากสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุดเหนือวิกฤตจะมีลักษณะของเหลวและก๊าซในตัวเดียวกัน และถ้าต้องการกำจัดสารสกัดก็ทำได้ง่ายโดยการปรับความดันจะทำให้สถานะของคาร์บอนไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นก๊าซ จึงทำให้ไม่มีตัวทำละลายหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ ตลอดจนสามารถปรับสภาพการสกัดได้โดย ปรับความดัน และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดพืชชนิดต่างๆได้ โดยปัจจุบันสถาบันไทย-เยอรมัน(TGI) ได้พัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยเทคโนโลยีของไหลที่สภาวะเหนือวิกฤตโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายแบบกะ (Batch) ภายใต้ โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยกระบวนการวิศวกรรมเพื่อการสร้างสรรค์คุณค่า โดยราคาเริ่มต้นที่ 3,000,000 บาทต่อเครื่อง ที่ขนาดห้องสกัดขนาด 1 ลิตร ซึ่งการวิจัยและพัฒนาต่อยอดครั้งนี้ เป็นศึกษาและพัฒนาการสร้างเครื่องสกัดเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตตลอดจนลดระยะเวลาของการสกัดลง โดยจะนำแนวทางระบบผสมหรือกวนด้วยแม่เหล็กมาใช้จะเป็นการเพิ่มสัมประสิทธ์การแพร่(Diffusion Coefficient) ทำให้ความสามารถในการแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนการออกแบบระบบการสกัดจะทำการพัฒนาและออกแบบตามหลักวิศวกรรม เพื่อให้สามารถทำงานได้และปลอดภัย ลดการนำเข้าเครื่องจักร เครื่องจักรที่มีต้นทุนต่ำ ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาการคืนทุนในการลงทุนเร็วขึ้น เพิ่มศักยภาพในการผลิต ลดการนำเข้าเครื่องจักรและวัตถุดิบจากต่างประเทศตลอดจน เป็นเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และส่งเสริมการแปรรูปผลิตผลการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศ

9.2 การทบทวนวรรณกรรม

9.2.1 สารสำคัญในพืช หรือ สารพฤกษเคมี

สารสำคัญในพืช หรือ สารพฤกษเคมี (Phytochemical หรือ Phytonutrients) หมายถึง สารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบเฉพาะในพืช สารกลุ่มนี้อาจเป็นสารที่ทำให้พืชผักชนิดนั้นๆ มีสี กลิ่นหรือรสชาติที่เป็นลักษณะเฉพาะตัว สารพฤกษเคมีเหล่านี้หลายชนิดมีฤทธิ์ต่อต้านหรือป้องกันโรคบางชนิดปัจจุบันพบสาร พฤกษเคมี มากกว่า 15,000 ชนิด จึงมีการแบ่งกลุ่มสาร พฤกษเคมีหรือสารสำคัญในพืช แบ่งเป็น 7 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต , สารในกลุ่มไขมัน lipids wax. , น้ำมันหอมระเหย, เรซิน และบาลซัม, โปรตีน กรดอะมิโน และเอนไซม์, แอลคาลอยด์, ไกลโคไซด์ เป็นสารกลุ่มใหญ่ที่ในการรักษา (วินัย, 2550)

9.2.2 สารให้กลิ่นรส

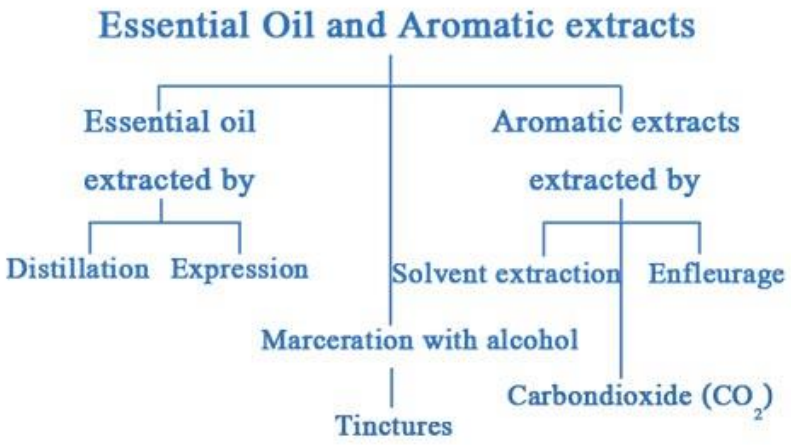
สารให้กลิ่นรสที่ใช้ในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ สารให้กลิ่นรสธรรมชาติ (Natural flavor) สารให้กลิ่นรสเลียนแบบธรรมชาติ (Artificial flavor) และสารให้กลิ่นรสสังเคราะห์ (Synthetic flavor)

สารให้กลิ่นรสธรรมชาติ (Natural flavor) เป็นสารที่ได้จากพืชหรือ สัตว์ที่ปกติมนุษย์นำมาบริโภคโดยผ่านวิธีทางกายภาพ เช่น สารสกัดที่ได้จากการกลั่น (Distillate) หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคั่ว (Roasting), การให้ความร้อน (Heating) หรือ การย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ (Enzymolysis) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีทางกายภาพเหล่านี้ได้แก่ น้ำมันหอมระเหย(Essential Oil), โอเรโอเลซิน (Oleoresin), สารสกัด (Essence หรือ Extractive), โปรตีนไฮโดรไลเซต (Protein Hydrolysate), วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารให้กลิ่นรสในธรรมชาติ (Flavoring Raw Materials) แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

1. วัตถุดิบที่ได้จากธรรมพืช (Plant – Based Flavoring Materials) ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบที่ให้กลิ่นรสที่ได้จากเครื่องเทศ (Spice), ผลไม้ (Fruit Juice), ผัก (Vegetable) หรือน้ำผัก (Vegetable Juice), สมุนไพร (Herb), เปลือกไม้(Bark), รากไม้ (Root), ใบไม้ (Leaf) หรือชิ้นส่วนของพืช, วัตถุดิบที่ได้จากสัตว์ (Animal Based Flavoring Material), สัตว์ เช่น เนื้อ (Meat), อาหารทะเล (Seafood), สัตว์ปีก (Poultry), ไข่(Eggs), ผลิตภัณฑ์นม (Dairy Products) สารให้กลิ่นรสที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกระบวนการผลิต (Reaction and Process Flavors) สารให้กลิ่นรสที่ผลิตโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ ยีสต์ที่รับประทานได้ (Edible Yeast)หรือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก (Fermentation Products) ซึ่งมีหน้าที่ในการให้กลิ่นรสในอาหารมากกว่าคุณค่าทางโภชนาการ

2. สารให้กลิ่นที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Aroma Chemicals) น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) น้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบที่ให้กลิ่นในพืชซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักของพืช ซึ่งพืชจะผลิตน้ำมันหอมระเหยขึ้นเพื่อไล่แมลงที่จะเข้ามาทำลาย หรือดึงดูดแมลงให้มาผสมพันธุ์เกสรให้ สำหรับน้ำมันหอมระเหยแบ่งได้ 2 ชนิดคือ น้ำมันหอมระเหยที่พบตามธรรมชาติ เช่น น้ำมันจากส้ม เครื่องเทศ และ สมุนไพร และน้ำมันหอมระเหยที่เกิดจากปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ เช่น onion oil องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยขึ้นอยู่กับ ชนิดพืช สายพันธุ์ สภาวะการปลูกและระยะการเจริญเติบโต และขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการสกัดอีกด้วย (ข้อมูลจาก http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463 ,2017)

การสกัดสารระเหยจากพืชมีหลายวิธีด้วยกัน การสกัดบางวิธีก็ให้น้ำมันหอมระเหย (True Essential Oil) การสกัดบางวิธีก็ได้สารระเหยที่สกัดจากพืช (Aromatic Extracts) ซึ่งเราไม่ถือว่าเป็นน้ำมันหอมระเหย น้ำมันหอมระเหยจะได้จากการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) และการบีบ (Expression) เท่านั้น ในงานสุวคนธบำบัด (Aromatherapy) แบบดั้งเดิมจะใช้เฉพาะน้ำมันหอมระเหย (True Essential Oil) เท่านั้น แต่ในระยะหลังการนำเอาสารสกัดจากพืช (Aromatic Extracts) มาใช้ใน Aromatherapy ได้รับการยอมรับมากขึ้นโดยลำดับ ดูในภาพที่ 2-1 จะพบความแตกต่างในการสกัดสารจากพืชที่เป็นน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) และ สารระเหย จ า ก พื ช (Aromatic extracts)



ภาพที่ 2-1 กระบวนการผลิต Essential Oil และ Aromatic Oil

แหล่งที่มา: AromaHub.com, 2014

9.2.3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยและสารสำคัญในพืช

9.2.3.1 การกลั่น (distillation)

การกลั่นเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการสกัดน้ำมันหอมระเหย หลักการของการกลั่น คือ ใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำเข้าไปแยกน้ำมันหอมระเหยออกมาจากพืช โดยการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืช ความร้อนจะทำให้สารละลายออกมากลายเป็นไอ ปนมากับน้ำร้อนหรือไอน้ำ การกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดี ต้องอาศัยเทคนิคและขบวนการทางเคมีและกายภาพหลายอย่างประกอบ ซึ่งเทคนิคการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมี 3 วิธี ได้แก่

1. การกลั่นด้วยน้ำร้อน (Water distillation & Hydro – distillation) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการกลั่นน้ำมันหอมระเหย การกลั่นโดยวิธีนี้ พื้นที่กลั่นต้องจุ่มในน้ำเดือดทั้งหมด หรือให้ท่อไอน้ำผ่าน การกลั่นน้ำมันหอมระเหยนี้ใช้กับวัตถุดิบที่ติดกันง่าย เช่น ใบไม้บางๆ กลีบดอกไม้อ่อนๆ ข้อควรระวังในการกลั่นโดยวิธีนี้คือ พืชจะได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ บริเวณตรงกลางมักจะได้ความร้อนมากกว่าด้านข้าง มีปัญหาในการไหม้ของตัวอย่าง กลิ่นไหม้จะปนมากับน้ำมันหอมระเหยและมีสารไม่พึงประสงค์ติดมาในน้ำมันหอมระเหยได้ วิธีแก้ไข คือ ใช้ไอน้ำ หรืออาจใช้ closed steam coil จุ่มในหม้อต้ม แต่การใช้ steam coil นี้ไม่เหมาะกับดอกไม้บางชนิด เพราะเมื่อกลีบดอกไม้ถูก steam coil จะหดกลายเป็น glutinous mass จึงต้องใช้วิธีใส่ลงไปในน้ำ กลีบดอกไม้จะสามารถหมุนเวียนไปอย่างอิสระใน การกลั่นเปลือกไม้ก็เช่นกัน ถ้าใช้วิธีกลั่นด้วยน้ำร้อน น้ำจะซึมเข้าไปและนำกลิ่นออกมา หรือกลิ่นจะแพร่กระจายออกจากเปลือกไม้ได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการกลั่นด้วยน้ำร้อนจึงขึ้นกับชนิดของพืชที่นำมากลั่นด้วย

2. การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation) การกลั่นโดยวิธีนี้ใช้ตะแกรงรองวัตถุดิบที่จะกลั่นให้เหนือระดับน้ำในหม้อกลั่น ต้มน้ำให้เดือด ไอน้ำจะลอยตัวขึ้นไปผ่านพืชหรือตัวอย่างที่จะกลั่น ส่วนน้ำจะไม่สัมผัสกับตัวอย่างเลย ไอน้ำจากน้ำเดือดเป็นไอน้ำที่อิ่มตัว หรือเรียกว่า ไอเปียก ไม่ร้อนจัด เป็นการกลั่นที่สะดวกที่สุด คุณภาพของน้ำมันออกมาดีกว่าวิธีกลั้นด้วยน้ำร้อน การกลั่นแบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวางในการผลิตน้ำมันหอมระเหยทางการค้า

3. การกลั่นด้วยไอน้ำ (direct steam distillation) วิธีนี้ วางวัตถุดิบไว้บนตะแกรงในหม้อกลั่นซึ่งไม่มีน้ำอยู่เลย ไอน้ำภายนอกที่อาจจะเป็นไอน้ำเปียก หรือไอร้อนจัดแต่ความดันสูงกว่าบรรยากาศส่งไปตามท่อใต้ตะแกรง ให้ไอผ่านขึ้นไปถูกกับวัตถุดิบบนตะแกรง ไอน้ำต้องมีปริมาณเพียงพอที่จะช่วยให้น้ำมันแพร่ระเหยออกมาจากตัวอย่าง ตัวอย่างบางชนิดอาจใช้ไอร้อนได้ แต่บางชนิดใช้ไอเปียก น้ำมันจึงจะถูกปล่อยออกมาข้อดีของการกลั่นวิธีนี้ คือ สามารถกลั่นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเอาพืชใส่หม้อกลั่นไม่ต้องเสียเวลารอให้ร้อน ปล่อยไอร้อนเข้าไปได้เลย ปริมาณของสารที่นำเข้ากลั่นก็ได้มากทำให้ได้น้ำมันหอมระเหยมาก

การกลั่นทั้ง 3 วิธี ควรพิจารณาการแพร่กระจายของน้ำมันหอมระเหยและที่น้ำร้อนผ่านเยื่อบางๆของพืช การไฮโดรไลซ์ของสาร องค์ประกอบต่างๆ เนื่องจากตัวอย่างสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา ตลอดจนการสลายตัวของสารในน้ำมันหอมระเหย อันเนื่องมาจากความร้อนถึงแม้ว่าก่อนนำพืชมากลั่นจะต้องหั่นหรือทำให้เซลล์แตกก่อน เพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยออกมาจากเซลล์ได้ง่าย แต่ยังมีน้ำมันหอมระเหยบางส่วนที่อยู่ที่ผิวและถูกทำให้กลายเป็นไออย่างรวดเร็วด้วยไอน้ำ น้ำมันส่วนที่เหลือภายในจะออกมาสู่ผิว

ได้โดยการซึมผ่านผนังบางๆ ของพืช และจะดำเนินไปได้ดีที่อุณหภูมิสูง สารประกอบพวก เอสเทอร์จะถูกไฮโดรไลซ์ให้เป็นกรดและแอลกอฮอล์ได้ง่ายดังนั้น เพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มีคุณภาพดีที่สุดควรกลั่นที่อุณหภูมิต่ำที่สุด หากได้น้ำมันน้อยควรใช้อุณหภูมิสูงขึ้น ใช้เวลาให้สั้นที่สุด การกลั่นจะต้องพิจารณาให้รอบคอบ ควรวัดอุณหภูมิและเวลาให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่สุด

4 การกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศ vacuum distillation

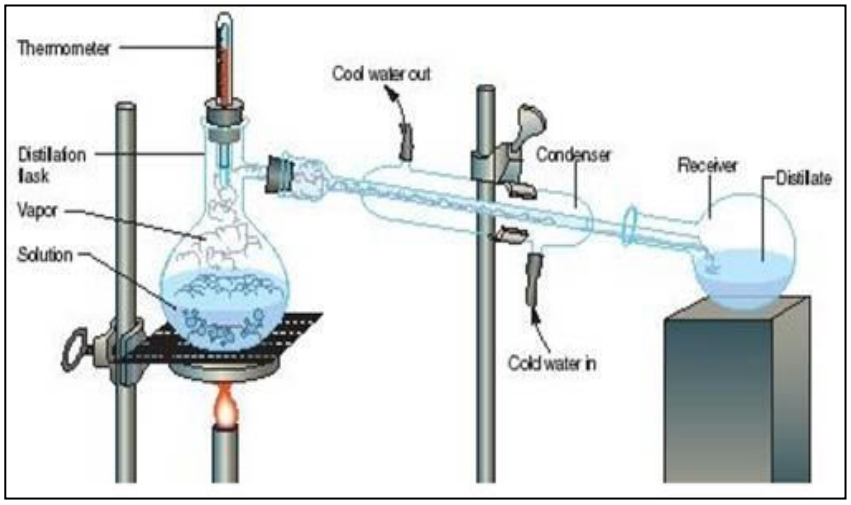
สารบางชนิดที่อยู่ในของเหลวผสม หากให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงจะสลายตัวหรือทำปฏิกิริยา ในกรณีเช่นนี้ จะใช้การกลั่น vacuum distillation คือ ทำการกลั่นของเหลวผสมภายใต้สภาวะลดความดัน จะทำให้สารนั้นระเหยและเดือดที่อุณหภูมิต่ำได้ โดยทั่วไปเมื่อลดความดันจะทำให้เกิดผลต่างอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเพิ่มความดันเทียบกับความดันที่เปลี่ยนไปเท่ากัน ปรากฏการณ์นี้หมายความว่าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันเพียงเล็กน้อย จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกสารอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการลดความดันสูญเสียที่แต่ละชั้นของหอกลั่นและในท่อให้น้อยลง

ตัวอย่างสมุนไพรที่ใช้ในการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

- ไพล เหมาะสมกับการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation) ใช้เหง้าในการกลั่นก่อนจะทำการกลั่นควรมีการหั่นบางๆเพื่อให้ไปน้ำผ่านได้ง่าย และได้น้ำมันที่มีคุณภาพและปริมาณมากเมื่อกลั่นแล้วจะได้เป็นของเหลว ไม่มีสี หรือมีสีเหลืองอ่อนปราศจากตะกอนและสารแขวนลอยไม่มีการแยกชั้นของน้ำมีกลิ่นเฉพาะตัวของไพล

- ขมิ้น เหมาะสมกับการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation) ใช้ส่วนเหง้าในการกลั่นก่อนจะทำการกลั่นควรมีการหั่นบางๆเพื่อให้ไอน้ำผ่านได้ง่ายและได้น้ำมันที่มีคุณภาพและปริมาณมากเมื่อกลั่นแล้วจะได้เป็นของเหลวใสมีสีเหลืองอ่อนปราศจากตะกอนและสารแขวนลอย ไม่มีการแยกชั้นของน้ำมีกลิ่นเฉพาะตัวของขมิ้น

- ตะไคร้หอม เหมาะสม กับการกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (water and steam distillation) ใช้ส่วนใบของตะไคร้หอมในการกลั่น เมื่อกลั่นแล้วจะได้ของเหลวใส สีเหลืองอ่อน ปราศจากตะกอนและแยกชั้นของน้ำมีกลิ่นเฉพาะตัวของตะไคร้ (ประเทืองศรี, 2550)



ภาพที่ 2-2 การสกัดสารด้วยวิธีการกลั่น

ที่มา : http://www.neutron.rmutphysics.com,2561

9.2.3.2. การสกัดด้วยไขมัน (extraction by animal fat)

การสกัดไขมันเย็นไขมันมีคุณสมบัติในการดูดกลิ่นได้สูงมาก จึงนำไขมันมาดูดกลิ่นหอมของดอกไม้ ที่ส่งกลิ่นหอมมาก เช่น มะลิ ซ่อนกลิ่น ฯลฯ โดยเก็บดอกไม้สด เมื่อถึงช่วงเวลาที่ส่งกลิ่นหอมมาก ก็นำไปวางบนไขมันที่เตรียมไว้ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง นำดอกไม้เก่าไปสกัดน้ำมันโดยวิธีอื่นๆ ส่วนดอกสดใหม่มาวางอีก ทำเช่นนี้หลายๆ ครั้ง จนสิ้นฤดูดอกไม้ ต่อจากนั้นใช้แอลกอฮอล์ละลายน้ำมันหอมระเหยนั้น นอกจากนั้นแล้วนำไปแยกต่อไป

การสกัดด้วยไขมันร้อนดอกไม้บางชนิด เช่น กุหลาบ ดอกส้ม ฯลฯ เมื่อเด็ดมาจากต้นแล้ว Physiological Activity จะหยุดทันทีไม่เหมือนกับมะลิ ซ่อนกลิ่น ฯลฯ ที่จะมีกลิ่นหอมออกมาตลอดเวลา เมื่อสกัดด้วยไขมันร้อนจะได้น้ำมันหอมระเหยมากและกลิ่นหอมกว่าสกัดด้วยไขมันเย็น วิธีการเตรียมไขมัน เช่นเดียวกับการสกัดด้วยไขมันเย็น แต่อุ่นไขมันให้ร้อนประมาณ 80 องสาเซลเซียส แช่ดอกไม้ลงไปประมาณครึ่งชั่วโมงแล้วทำให้เย็น สุดท้ายอุ่นให้ร้อนอีกครั้งเพื่อหลอมเหลวและกรองดอกไม้

ออกล้างไขมันที่ติดมาด้วยน้ำอุ่น หรือวางบนผ้ากรองบีบหรือราดน้ำร้อน ชั้นของน้ำและไขมันจะแยกกันง่าย อาจใช้เซนติฟิวส์เข้าช่วยเอาดอกไม้ออกใช้ไขมันเติม เปลี่ยนดอกไม้สดหลายครั้งจนอิ่มตัว ไขมันร้อนมีกลิ่นน้ำมันหอมระเหยนี้เรียกว่า ปอมเปต เหมือนกับการสกัดด้วยไขมันเย็น แล้วนำแอลกอฮอล์ชนิดดีมาสกัดเอาน้ำมันหอมระเหยออกมาทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง จะได้น้ำมันหอมระเหยอย่างดีเยี่ยม เช่นเดียวกับการสกัดด้วยไขมันเย็น (ประเทืองศรี, 2550)

9.2.3.3 การคั้นหรือสกัดด้วยวิธีการบีบเย็น (Expression หรือ Cold Pressed หรือmechanically Pressed)

ทำให้น้ำมันที่อยู่ในเปลือกของผลไม้ เช่น เปลือกพืชตระกูลส้ม ออกมาแต่น้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีปริมาณน้อยและไม่ค่อยบริสุทธิ์ การน้ำมันหอมระเหยหรือน้ำมันหอมด้วยวิธี Cold Pressed หรือ Mechanically Pressed ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากผิวของพืชตระกูลส้ม เช่นส้ม มะนาว เลมอน มะกรูด เบอร์กามอท แมนดาริน และอื่น ๆ วิธีการสกัดคือการนำผิวของผลจากพืชแต่ละชนิดมาใส่ในหม้อขนาดใหญ่ แล้วกดด้วยแท่นไฮดรอลิกโดยใช้แรงกดสูง เมื่อแท่นไฮดรอลิก บีบลงบนวัตถุดิบ ทำให้เซลล์ผิวของพืชเกิดการแตกตัวให้น้ำมันออกมาลงในภาชนะที่รองรับเอาไว้ วิธีการใช้ไฮดรอลิกแบบนี้มีข้อดีคือไม่มีความร้อนเกิดขึ้นในกระบวนการบีบ ซึ่งแตกต่างกับการใช้การบีบแบบเครื่องบีบเกลียวหมุน หรือ Screw Pressed ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนและอาจทำลายคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้ จริง ๆ แล้วน้ำมันสกัดด้วยวิธีนี้จะไม่เรียกว่าน้ำมันหอมระเหย เพราะว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัด จะมีสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ละลายในน้ำมันหรือระเหยไม่ได้อยู่ด้วย หากเรียกให้ถูกต้องตามหลักสากลแล้ว น้ำมันสกัดจาพืชทุกชนิดด้วยวิธีนี้ จะต้องเรียกว่า Essence ไม่ใช่ "Essential Oil (http://www.botanicessence.com, 2018)

9.2.3.4. การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

วิธีนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีความเข้มข้นสูง แต่คุณภาพไม่ดีเท่าการกลั่น เพราะหลังจากการสกัดจะได้สารอื่นปนออกมาด้วย การสกัดแบบนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่เรียกว่า absolute oil วิธีนี้ใช้กับพืชใช้กับพืชทนความร้อนสูงไม่ได้ เช่น มะลิ และที่สำคัญคือ หลังจากการสกัดต้องทำการระเหยสารเคมีที่ใช้เป็นตัวสกัดออกให้หมด สารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวสกัดคือ แอลกอฮอล์ในการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ตัวทำละลายในระดับอุตสาหกรรม ต้องนำวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการเตรียมตัวอย่าง (Pretreat) ก่อนนำไปสกัดด้วยตัวทำละลาย การเลือกวิธีการและชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุดิบและชนิดของสารสกัด (Extract) ที่ต้องการ แต่ละประเทศอาจมการ

อนุญาตให้ใช้ตัวทาละลายในการสกัดต่างกัน เช่น ในการผลิต วนิลาในประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดให้ใช้ตัวทำละลายซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำ ตามอัตราส่วนกำหนด การเลือกชนิดตัวทำละลายในการสกัดสารให้กลิ่นรสเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับชนิดของตัวทำละลายที่อนุญาตให้ใช้ โดย EEC Solvents Direction ระบบชนิดของตัวทำละลายที่อนุญาตให้ใช้ในการสกัดและได้กำหนดปริมาณตัวทำละลายที่อนุญาตให้เหลืออยู่ (Trace Residue) ในผลิตภัณฑ์ (Ashurest,1995) ดังข้อมูลในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตัวทำละลายที่อนุญาตให้ใช้ในการสกัดและปริมาณตัวทำละลายที่อนุญาติ ให้เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร

ชนิดตัวทำละลาย	ปริมาณตัวทำละลายที่อนุญาติให้เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร (ppm)
Ethanol	Technically unavoidable quantities
Butane ,propane	Technically unavoidable quantities
Acetone	Technically unavoidable quantities
Butyl and ethyl acetates	Technically unavoidable quantities
Nitrous oxide	Technically unavoidable quantities
Carbon dioXide	Technically unavoidable quantities
Dichioromethane	1ppm (1ppm confectionery/pastry,5ppm decaffeinated tea, 10ppm decaffeinated coffee)
Hexane	1ppm (5ppm oil/cocoa, 10ppm defat flour, 30ppm defat soy products)
Methanol,propen-1-ol propen-2-ol	1ppm
Methyl acetate	1ppm (20ppm in decaffeinated tea and coffee)
Ethyl methyl ketone	1 ppm (5ppm fat or oil ,20ppm in decaffeinated tea and coffee)
Chlorohexane , Butanois	1 ppm
Diethyl ether	2 ppm

ที่มา : Ashurest, 1995

1) การสกัดในระบบของแข็ง-ของเหลว (Solid-liquid extraction)

การสกัดแบบนี้ตัวทำละลายจะทำหน้าที่เป็นสารสกัด สสารที่ปนอยู่ในของผสมที่มีสถานะเป็นของแข็ง (ข้อมูลจาก ผกาวดี,2560) ซึ่งสารมารถแบ่งได้เป็น 3 กระบวนการคือ

1.1) การหมัก (Maceration) คือ กระบวนการสกัดองค์ประกอบสำคัญจากพืชสมุนไพร โดยการแช่ผงสมุนไพรในตัวทำละลาย จนกระทั่งตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าไปละลายองค์ประกอบภายในผงสมุนไพรออกมาได้ วิธีการทำ Macertion คือการแช่ผงสมุนไพรในตัวทำละลายที่เหมาะสมเป็นเวลา 2-4 วัน หรือตาม กำหนดในเภสัชตำรับหรือจนกระทั่งองค์ประกอบที่ต้องการออกมาหมดหลังจากนั้นจึงกรองแยกกากสมุนไพรออกจากตัวทำละลายและปรับปริมาตรสารสกัดตามต้องการ

1.2) การแช่ (Percolation) คือ กระบวนการสกัดองค์ประกอบสำคัญจากพืชสมุนไพร โดยปล่อยให้สารละลายไหลผ่านผงสมุนไพรอย่างช้าๆ พร้อมกับละลายองค์ประกอบจากผงสมุนไพรออกมา วิธีการ Percolation คือ บรรจุผงสมุนไพรที่ทำให้ชื้นด้วยสารละลายใน Percolation ซึ่งมีลักษณะเป็นคอลัมน์ทรงกระบอกปลายเปิดทั้งสองด้านโดยที่ปลายบนจะกว้างกว่าปลายล่างเพื่อสะดวกในการบรรจุผงสมุนไพร ส่วนปลายล่างมักจะต่อกับท่อสายยาง ปิด-เปิดได้ เพื่อที่ได้เป็นระยะเวลาพอสมควร แล้วจึงปล่อยให้น้ำยาสกัดไหลผ่านผงสมุนไพรในอัตราเร็วพอเหมาะ พร้อมกับเติมสารละลายใหม่ผ่านผงสมุนไพรในอัตราเร็วพอเหมาะ จนองค์ประกอบที่ต้องการในผงสมุนไพรละลายออกมาจนหมดโดยการตรวจสอบจากสารสกัดสุดท้าย

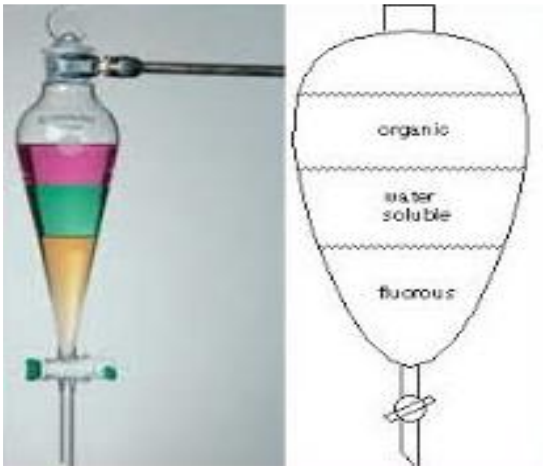
1.3 การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction) คือ กระบวนการสกัดองค์ประกอบจากสมุนไพร แบบเดียวกันกับ Percolation แตกต่างกันที่ว่าขบวนการนี้จะต้องใช้ความร้อนเข้าช่วยและใช้เครื่องมือที่เป็นระบบปิดเรียกว่า soxhlet extractor โดยที่เมื่อตัวทำละลายไหลผ่านผงสมุนไพรที่บรรจุอยู่ใน เครื่อง ที่ใช้ extraction แล้วมารวมกันในขวดแก้วที่ได้รับความร้อนจนสารละลายระเหยขึ้นไป และควบแน่นตกลงมาผ่านผงสมุนไพรซ้ำแล้วซ้ำอีกจนองค์ประกอบในสมุนไพรถูกสกัดออกจนมาหมด (ข้อมูลจาก ประเสริฐ,2428)

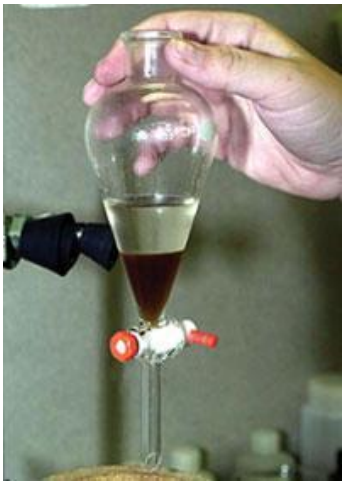
ภาพที่ 2-3 เครื่องสกัดสารแบบต่อเนื่อง soxhlet extractor

ที่มา: http://cyberlab.lh1.ku.ac.th ,2017

2) การสกัดในระบบของเหลว-ของเหลว

การสกัดในระบบของเหลวของเหลวหรือเรียกว่าการละลายบางส่วน มักใช้ในกระบวนการทางเคมีและกายภาพ โดยใช้ในการแยกการประกอบภายใต้หลักการคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องในแง่ของการละลายภายใต้ของเหลวที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันสองชนิด ที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยทั่วไปมักใช้น้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ ภายใต้ระบบเดียวกันซึ่งกระบวนการสกัดแบบนี้จะทำให้เกิดวัฏภาคของเหลวหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง กระบวนการสกัดเช่นนี้จัดเป็นเทคนิคพื้นฐานในห้องปฏิบัติการเคมี โดยใช้กรวยแยกสารเป็นเครื่องมือในกระบวนการสกัด (ข้อมูลจาก ผกาวดี,2560)





ภาพที่ 2-4 การสกัดสารโดยใช้กรวยแยกสาร

ที่มา : http://www.science.cmru.ac.th,2017

3) การสกัดแบบซุปเปอร์คริทิคอลฟลูอิด (Super Critical Fluid Extraction)

ของไหลวิกฤติยิงยวด เป็นตัวทำละลายชนิดหนึ่งที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหอมระเหย ตัวอย่างตัวทำละลายของการสกัดสารด้วยของไหลวิกฤติยิ่งยวด เช่น เอทิลีน ,ไนตรัสออกไซด์ ,โพรเพน ,ซัลเฟอร์เฮกซะออกไซด์ เป็นต้น ค่าคงที่วิกฤติของสารประกอบแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2-2 กรณีของ การสกัดสารกลุ่มที่มีขั้วสูงจะเลือกใช้ของไหลเหนือวิกฤติ ของไนตรัสออกไซด์ แต่ข้อเสียคือทำให้เกิดการระเบิดได้จึงควรเลือกใช้เมื่อมีความจำเป็นเท่านั้น กรณีที่ต้องการใช้ตัวทำละลายที่ราคาถูกและ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถใช้ของไหลเหนือวิกฤติของน้ำ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่การทำให้น้ำอยู่ในสถานะของไหลเหนือวิกฤติ มีข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูง และน้ำที่อยู่ในสถานะของไหลเหนือวิกฤติ มีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้น้ำไม่ได้รับความนิยมที่จะนำมาใช้มากนัก (ข้อมูลจาก ธนภัทร,2558) การใช้สารในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันเหนือจุดวิกฤต จะมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของแข็งได้เหมือนแก๊ส และสามารถละลายสารได้เหมือนของเหลวจึงใช้เป็นสารสกัดได้อย่างดี (ข้อมูลจาก ผกาวดี,2560) ตัวอย่างของสารที่ใช้ในทางปฏิบัติเกือบ 90 % นิยมใช้ของไหลเหนือวิกฤต ของคาร์บอนไดออกไซด์ (ข้อมูลจาก ธนภัทร,2558) ซึ่งมีสถานะผสมระหว่างแก๊สและของเหลว ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายสารพวกไม่มีขั้ว (Non-Polar Compound) ซึ่งปัจจุบันมีการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและยาใช้เพื่อสกัดสาร เช่น สารให้กลิ่นรส (Flavoring Agent), สารให้สี (Coloring Agent), น้ำมันหอมระเหย (Essentail Oil), คาเฟอีน (Caffeine), วิตามิน และ คลอเลสเตอรอล เป็นต้น สารสกัดที่ได้จากวิธีการนี้ มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภคมากกว่าวิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ที่อาจไม่สามารถแยกตัวทำละลายออกมาได้หมดโดยสมบูรณ์ จึงอาจทำให้มีตัวทำละลายตกค้าง (Mohammed,2012)

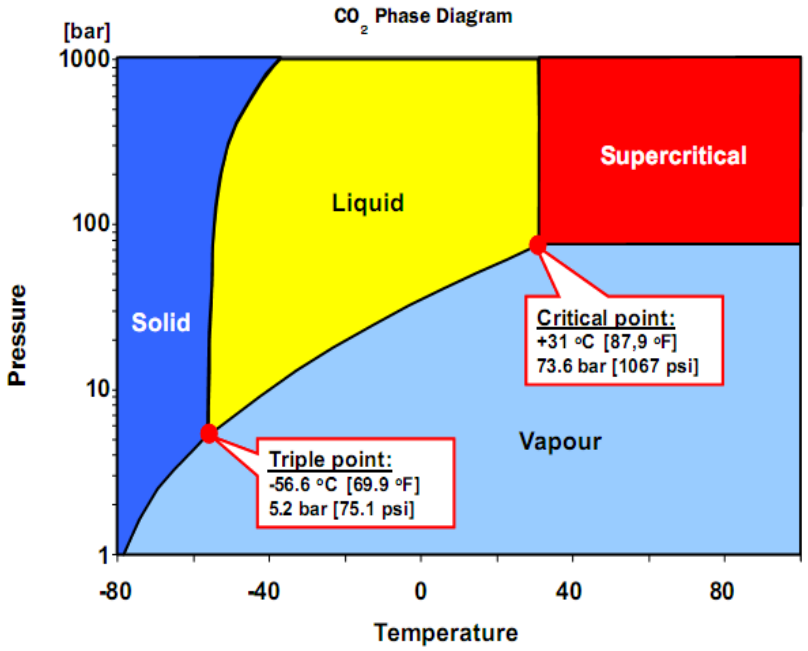
ตารางที่ 2-2 ค่าคงที่วิกฤตของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้เป็นตัวทำละลายของการสกัดสารด้วยของไหลวิกฤต

สารประกอบ	อุณหภูมิวิกฤต		ความดันวิกฤต		ความหนาแน่นวิกฤต (g/mL)
	K	°C	MPa	Bar (atm)	
Ethylene	283.0	9.9	5.12	51.2 (50.5)	0.23
Carbon dioxide	304.1	31	7.39	73.9 (72.9)	0.47

Nitrous oxide	309.6	36.5	7.26	72.6 (71.7)	0.46
Propane	369.8	96.7	4.26	42.6 (42.0)	0.22
Sulfur	318.8	45.7	3.76	37.6 (37.1)	0.75
Methanol	513.4	240.3	7.99	79.9 (78.9)	0.27
Water	637.0	363.9	22.1	221.0 (218.1)	0.32
Ammonia	405.4	132.3	11.3	113.0 (111.5)	0.24
n-Pentane	469.8	196.7	3.37	33.7 (33.3)	0.23

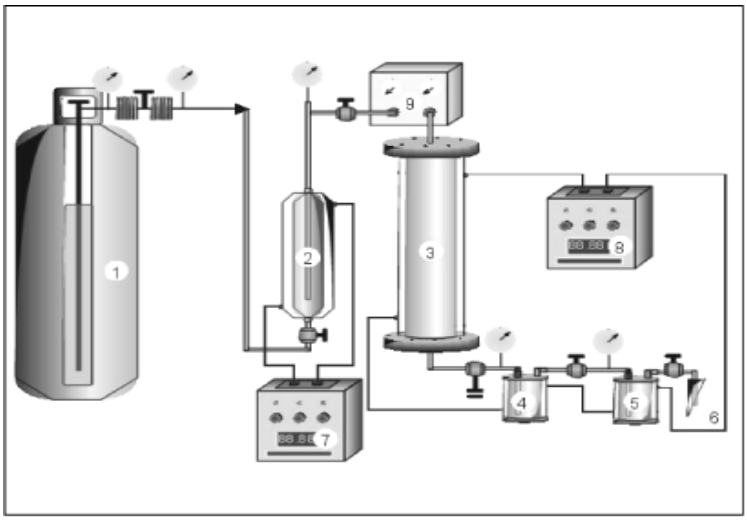
ที่มา: ธนภัทร,2558

คาร์บอนไดออกไซด์เมื่ออยู่ใต้ภาวะเหนือวิกฤติ (Supercritical State) คือที่อุณหภูมิ 31.1 °C และความดัน 73.8 บาร์ จะมีสภาพเป็นของไหล และมีสมบัติหลายประการที่เหมือนทั้งแก๊สและของเหลว สมบัติที่เหมือนแก๊ส คือ ขยายตัวง่ายจนเต็มภาชนะที่บรรจุ มีลักษณะไหลได้ ส่วนสมบัติที่เหมือนของเหลว คือ มีความสามารถในการละลายของแข็งหรือของเหลวได้ดี ดังนั้นจึงสามารถใช้ในการสกัดสารประกอบที่ต้องการแยกออกจากของผสมโดยการควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม หรืออาจใช้เทคนิคนี้ในการทำให้สารบริสุทธิ์ CO_2 ไม่ทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบอื่น ที่สำคัญคือไม่มีสารตกค้างเนื่องจาก CO_2 ที่ปะปนอยู่ในรูปแก๊สสามารถแพร่ออกจากผลิตภัณฑ์ได้



ภาพที่ 2-5 Carbon dioxide Pressure-Temperature Phase Diagram

ที่มา: คงศักดิ์, 2557



ภาพที่ 2-6 Supercritical Fluid Extraction Unit

ที่มา: C. M. P. Sarmento, S. R. S. Ferreira and H. Hense. 2006

ภาพที่ 2-7 เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยอัตโนมัติ โดยใช้หลักการสกัดแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤติ

ที่มา: อรัญญา ,มมป

ส่วนประกอบและหน้าที่ของเครื่องสกัดแบบใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤติ

1. ถังคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide tank) ทำหน้าที่เป็นส่วนที่เอาไว้บรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าสู่ระบบการสกัด
2. Surge Tank เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบการสกัดให้เป็นไปตามอัตราการไหลที่กำหนด
3. ถังสกัด (Extractor) เป็นส่วนที่วัตถุดิบ และตัวทำละลายหรือคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่กระบวนการสกัด
4. Separator เป็นเครื่องแยกหรือเป็นตัวกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ออกจากสารสกัดที่ต้องการเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น หรือเป็นอุปกรณ์แยกสารที่สกัดได้กับคาร์บอนไดร์ออกไซด์
5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger System) ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)
6. ส่วนเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide Collecting Vessel)
7. ส่วนเก็บสารสกัด (Extract Collecting Vessel)
8. ปั๊มแรงดันสูง (Hing Pressure Pump)

คุณสมบัติสำคัญของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตที่ส่งผลให้การสกัดเกิดขึ้นได้ดีกว่าการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายทั่วไปคือ

1 คุณสมบัติการถ่ายเท (Transportation Property)

คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต มีความหนืดต่ำ และมีสัมประสิทธิ์การแพร่สูงทำให้สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง สามารถแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างของของแข็ง หรืออนุภาคที่มีตัวถูกละลายได้ดี ทำให้ตัวถูกละลายที่ละลายเข้าไปในคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต กระจายออกจากบริเวณการสกัดไปยังบริเวณอื่นได้ง่าย และมีอัตราการถ่ายเทมวลสูง ความหนืด สัมประสิทธิ์การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่นอุณหภูมิ ความดัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาวะของอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม เพื่อให้สกัดสารที่ต้องการได้มากที่สุด อัตราการถ่ายเทมวลนอกจากจะเป็นผลโดยตรงอันเนื่องมาจากความหนืด และสัมประสิทธิ์การแพร่แล้ว ยังขึ้นกับระยะทางการแพร่ด้วย

2. คุณสมบัติในการละลายของตัวทำละลาย (Solvent Power Property)

ความสามารถในการละลายของตัวทำละลายเป็นคุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ที่เหนือกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลวทั่วไป เนื่องจากสามารถเลือก และปรับให้มีค่าตามต้องการได้ โดยปรับอุณหภูมิ ในกรณีที่ตัวทำละลายเป็นของเหลว การเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้มีการละลาย ของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตการเพิ่มอุณหภูมิจะเพิ่มการละลายของตัวถูกละลายเช่นกัน แต่ในขณะเดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลทำให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ลดลงซึ่งจะส่งผลให้โมเลกุลของของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับตัวถูกละลายอยู่ห่างกัน ทำให้ผลลัพธ์ของการละลายของตัวถูกละลายมีค่าลดลง ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความดันให้กับคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต เพื่อให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับสภาวะเริ่มต้น ดังนั้นการปรับอุณหภูมิและความดันให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมจะสามารถปรับคุณสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ให้เหมาะกับการสกัดสารในแต่ละครั้งได้ดียิ่งขึ้น

3. คุณสมบัติในการเลือกสกัด (Selectivity ProPerty)

ความสามรถในการเลือกสกัดเป็นคุณสมบัติที่ดีอีกข้อหนึ่งของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต โดยการปรับอุณหภูมิและความดัน เพื่อให้มีความสามรถในการละลายที่เหมาะสมในการสกัด ในการสกัดเฉพาะสาร ที่ต้องการ โดยให้มีสารที่ไม่ต้องการปนเปื้อนออกมาน้อยที่สุด เช่นในการสกัดสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ ถ้าใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ในการสกัดแทนการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยเลือกเฉพาะน้ำมันหอมระเหย จะต้องใช้ตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติในการแพร่ช้า ดังนั้นจึงทำการปรับให้อยู่ในจุดวิกฤต แต่อยู่ในช่วงความดันที่ไม่สูงมากนัก เช่น ความดันเท่ากับ 870 PSI และอุณหภูมิ เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส (ข้อมูลจาก สมใจ,2546)

จากตารางที่ 2-3 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียแต่ละเทคโนโลยีในการสกัดน้ำมัน ซึ่งจากการศึกษา (Norhuda I and Jusoff K. 2009) การสกัดด้วยวิธี Supercritical CO_2 เป็นเทคโนโลยีสะอาดและสามารถนำมาสกัดน้ำมันของปาล์มเมล็ดในได้ดี ช่วยประหยัดเวลา ประหยัดพลังงาน ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถสกัดได้เร็วและปลอดภัยผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2-3 ข้อดีและข้อเสียในการสกัดแต่ละวิธี

Extraction Process	Advantages	Disadvantages

Distillation	Economical, Simple apparatus, large quantity scale, little labor	Time consumption, Changing constituents
Expression	Simple apparatus, no heat	Oxidize quickly, Only Citrus peel oil,
Enfleurage	Low temperature needed, solvent residue left	Time consuming, labor intensive
CO_2 Extraction	No heat, pure product, long lasting product	Expensive
Solvent extraction	Constant product	Solvent residues

แหล่งที่มา: AromaHub.com, 2014

9.2.4 คุณสมบัติของตัวทำละลายที่มีผลต่อสารสกัด

1. ความมีขั้ว (Polarity)

คุณสมบัติด้านความมีขั้วของตัวทำละลายสามารถใช้เป็น Guideline สำหรับโปรไฟล์(Profile) ขององค์ประกอบของสารสกัดที่ได้ทำให้สามารถทราบได้ว่าองค์ประกอบใดจะถูกสกัดออกมาภายใต้สภาวะการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆ ซึ่งคุณสมบัติของตัวทำละลายที่นิยมใช้แสดงดังตารางที่ 2-4

2. จุดเดือด (Boiling Point)

จุดเดือดของตัวทำละลายภายใต้ความดันบรรยากาศหรือระบบสุญญากาศที่ใช้จะมีอิทธิพลต่อโปรไฟล์ของสารสกัดที่ได้ ดังนั้นการเปลี่ยนตัวทำละลายจาก Methanol เป็น Ethanol หรือ Isopropanol หรือ Butanolที่ความดันบรรยากาศจะเปลี่ยน โปรไฟล์ของน้ำหนักโมเลกุลของสารสกัด ยิ่งใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูงจะสามารถสกัดองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆได้ (ข้อมูลจาก http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463 ,2018)

ตารางที่ 2-4 การแบ่งกลุ่มของตัวทำละลายและคุณสมบัติความมีขั้ว

ตัวทำละลาย	สูตรเคมี	จุดเดือด	Polarity	ความหนาแน่น

Non-Polar Solvents				
เฮกเซน	CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3	69 °C	2.0	0.655 g/ml
เบนซีน	C_6H_6	80 °C	2.3	0.879 g/ml
โทลูอีน	C_6H_5-CH_3	111 °C	2.4	0.867 g/ml
Diethyl ether	CH_3CH_2-O-CH_2-CH_3	35 °C	4.3	0.713 g/ml
คลอโรฟอร์ม	$CHCl_3$	61 °C	4.8	1.498 g/ml
Ethyl acetate	CH_3-C(=O)-O-CH_2-CH_3	77 °C	6.0	0.894 g/ml
Tetrahydrofuran (THF)	/-CH_2-CH_2-O-CH_2-CH_2-\	66 °C	7.5	0.886 g/ml
Methylene chloride	CH_2Cl_2	40 °C	9.1	1.326 g/ml
Polar Aprotic Solvents				
Acetone	CH_3-C(=O)-CH_3	56 °C	21	0.786 g/ml
Acetonitrile (MeCN)	CH_3-C≡N	82 °C	37	0.786 g/ml
Dimethylformamide (DMF)	H-C(=O)N$(CH_3)_2$	153 °C	38	0.944 g/ml
Dimethyl sulfoxide (DMSO)	CH_3-S(=O)-CH_3	189 °C	47	1.092 g/ml
Polar Protic Solvents				
กรดน้ำส้ม	CH_3-C(=O)OH	118 °C	6.2	1.049 g/ml
n-Butanol	CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH	118 °C	18	0.810 g/ml
Isopropanol	CH_3-CH(-OH)-CH_3	82 °C	18	0.785 g/ml
n-Propanol	CH_3-CH_2-CH_2-OH	97 °C	20	0.803 g/ml
เอทานอล	CH_3-CH_2-OH	79 °C	24	0.789 g/ml
เมทานอล	CH_3-OH	65 °C	33	0.791 g/ml
กรดฟอร์มิก	H-C(=O)OH	100 °C	58	1.21 g/ml
น้ำ	H-O-H	100 °C	80	0.998 g/ml

ที่มา : https://th.wikipedia.org ,2018

3. ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของตัวทำละลายจะเป็นตัวกำหนดความสามารถของตัวทำละลายในการแทรกซึมเข้าไปในชิ้นส่วนของพืช ดังนั้นความทำหนืดของตัวทำละลายจึงเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการสกัดเนื่องจากจะลดระยะเวลาในการสัมผัสระหว่างตัวทำละลายและ ชิ้นส่วนของพืช ยิ่งตัวทำละลายมีความหนืดต่ำจะทำให้มีประสิทธิภาพในการสกัดสูง

4. ความร้อนแฝงของการระเหย (Latent Heat of Evaporation) การใช้ตัวทำละลายที่มีความร้อนแฝงในการระเหยต่ำมีข้อดีคือสามารถแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดโดยใช้พลังงานน้อยกว่าตัวทำละลายที่มีความร้อนแฝงของการระเหยสูง

5. อุณหภูมิ/ความดัน (Temperature/Pressure) อุณหภูมิในการ Reflux ตัวทำละลายจะขึ้นอยู่กับความดันโดยปกติอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 150 องศาเซลเซียส เมื่อความดันภายในระบบลดลงครึ่งหนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้สามารถทำการกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาวะสุญญากาศ คุณสมบัตินี้จะใช้ในการแยกตัวทำละลายออกจากสารสกัดในเครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (Falling Film Evaporator) :จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความดันและอุณหภูมิในกระบวนการสกัดสารด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤติ พบว่า

จากข้อมูลของ Sami Gokhan Ozkal. .ในปี 2004 ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันจากผลแอปริคอท โดยใช้ Supercritical CO2 ทำการสกัดช่วงความเร็วสูงและต่ำ พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ในการกัดอย่างรวดเร็ว น้ำมันจะกลับคืนน้อยมาก โดยผลการสกัดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคที่ใส่เข้าไป และอัตราการสกัดจะเพิ่มตาม ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มข้นของเอทานอล โดยอัตราสูงสุดที่สามารถสกัดได้ที่ 0.26 g/g ที่อัตราการไหล 4 g/min อุณหภูมิ 60 C ที่ความดัน 450 bar และเอทานอล 3%

จากการทดลองของ Ugur Salgin .และคณะ ในปี 2005 ทำการทดสอบการสกัด Supercritical CO2 กับน้ำมันทานตะวัน โดยใช้ความดัน 20, 30, 40 50 และ 60 MPa ที่อุณหภูมิ 313, 333 และ 353 K ที่อัตราการไหลของ CO2 1-4 และ 6 M3/min ที่ขนาดแตกต่างกัน พบว่า อัตราการสกัดจะเพิ่มขึ้นตามความดันเป็นปัจจัยที่มีประสิทธิผลมากสุด โดยอัตราการไหลไม่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมัน

จากการรวบรวมงานวิจัยการสกัดน้ำมันระเหยง่ายโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤติ โดย ธนภัทร ในปี 2558 รายงานว่า การสะกดน้ำมันจากเมล็ดกระวาน (Elettaria cardamomum Maton) พบว่า การเพิ่มความดัน ส่งผลให้ผลผลิตของสารสกัดเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ผลผลิตของสารสกัดลดลง เมื่อนำน้ำมันที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญที่มีอยู่ใน

น้ำมันเมล็ดกระวาน ได้แก่ β-pinene, cineole, linalool, α- terpineol และ terpinyl acetate กลับให้ผลในทางตรงกันข้าม คือ การเพิ่มความดันจะส่งผลให้ปริมาณ สารที่สกัดได้ลดลง แต่การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณสารที่สูงขึ้น การสกัดสาร thymoquinone จาก Monarda didyma L. และ Monarda fistulosa L. พบว่า การเพิ่มความดันจาก 9 เป็น 12 และ 30 MPa โดยใช้อุณหภูมิ 40 °C ทำให้ปริมาณสารที่สกัดได้ เพิ่มขึ้นจาก 5.37 เป็น 12.01 และ 13.98 mg/g สำหรับ M. Didyma L. และจาก 8.66 เป็น 17.00 และ 21.78 mg/g สำหรับ M. fistulosa L. ตามลำดับ (ข้อมูลจาก Sovova el al 2015) จากศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันในการสกัดน้ำมันระเหยง่าย จาก Cleome coluteoides Boiss. พบว่าการเพิ่มความดันส่งผลให้ผลผลิตของสารสกัดเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่ม อุณหภูมิทำให้ผลผลิตของสารสกัดลดลง (ข้อมูลจาก Sodeifian et al,2016)

จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่า การปรับเปลี่ยนความดันและอุณหภูมิของการสกัดไม่ได้เป็นไปตามหลักการที่กล่าวข้างต้น ทั้งนี้จะต้องมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยดังกล่าวเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากพืชแต่ละชนิด

9.2.5 การพิจารณาในการเลือกตัวทำละลาย

1. ต้องละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี
2. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด
3. ถ้าต้องการแยกสี ตัวทำละลายจะต้องไม่มีสี ถ้าต้องการแยกกลิ่น ตัวทำละลายต้องไม่มีกลิ่น
4. ไม่มีพิษ มีจุดเดือดต่ำ และแยกตัวออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ง่าย
5. ไม่ละลายปนเป็นเนื้อเดียวกับสารที่นำมาสกัด
6. มีราคาถูก

สำหรับข้อมูลในการเลือกคาร์บอนไดร์ออกไซด์เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและการเลือกใช้ให้เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ แสดงความเข้มข้นของกาซคาร์บอนไดร์ออกไซด์ที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆซึ่งการนำกาซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสกัดสารสำคัญควรเลือกใช้คาร์บอนไดออกไซด์เกรดอาหารที่ความเข้มข้น 99.8% เพื่อความปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับในผลิตภัณฑ์ **ตารางที่ 2-5** ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อัดและคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (CO_2) โดยมีความบริสุทธิ์และความเข้มข้นต่างกัน

ชื่อผลิตภัณฑ์	ความเข้มข้น
เครื่องดื่มเกรดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	99.9%
คาร์บอนไดออกไซด์เกรดอาหาร	99.8%
ของเหลวคาร์บอนไดออกไซด์ USP	> 99.5%
คาร์บอนไดออกไซด์ผสมอากาศ	0.5 ppm - 50%

คาร์บอนไดออกไซด์ผสมแก๊สอาร์กอน	0.5 ppm - 50%
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซฮีเลียมผสม	0.5 ppm - 50%
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แก๊สผสมไฮโดรเจน	0.5 ppm - 50%
ก๊าซไนโตรเจนผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.5 ppm - 50%

ที่มา : https://translate.google.co.th ,2018

9.2.6 เปรียบเทียบการสกัดสารแต่ละวิธี

การสกัดสารระเหยจากพืชมีหลายวิธีด้วยกัน การสกัดบางวิธีก็ให้น้ำมันหอมระเหย (True Essential Oil) การสกัดบางวิธีก็ได้สารระเหยที่สกัดจากพืช (Aromatic Extracts) ซึ่งเราไม่ถือว่าเป็นน้ำมันหอมระเหย น้ำมันหอมระเหยจะได้จากการกลั่นจากไอน้ำ (Distillation) และการบีบ (Expression) เท่านั้น ในงานสุวคนธบำบัด (Aromatherapy) แบบดั้งเดิมจะใช้เฉพาะน้ำมันหอมระเหย (True Essential Oil) เท่านั้น แต่ในระยะหลังการนำเอาสารสกัดจากพืช (Aromatic Extracts) มาใช้ใน Aromatherapy ได้รับการยอมรับมากขึ้น แสดงวิธีการสกัด จะพบความแตกต่างในการสกัดสารจากพืชที่เป็นน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) และ สารระเหยจากพืช (Aromatic extracts) ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ข้อดีและข้อเสียในกระบวนการสกัดแต่ละวิธี

Extraction Process	Advantages	Disadvantages
Distillation	Economical, Simple apparatus, large quantity scale, little labor	Time consumption, Changing constituents
Expression	Simple apparatus, no heat	Oxidize quickly, Only Citrus peel oil,
Enfleurage	Low temperature needed, solvent residue left	Time consuming, labor intensive
CO_2 Extraction	No heat, pure product, long lasting product	Expensive
Solvent extraction	Constant product	Solvent residues

ที่มา: AromaHub.com,2014

จากการศึกษาของ Norhuda I and Jusoff K.ในปี 2009 ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียแต่ละเทคโนโลยีในการสกัดน้ำมัน การสกัดด้วยวิธี Supercritical CO_2 เป็นเทคโนโลยีสะอาดและสามารถนำมาสกัดน้ำมันของปาล์มเมล็ดในได้ดี ช่วยประหยัดเวลา ประหยัดพลังงาน ไม่มีผลกระทบต่อ

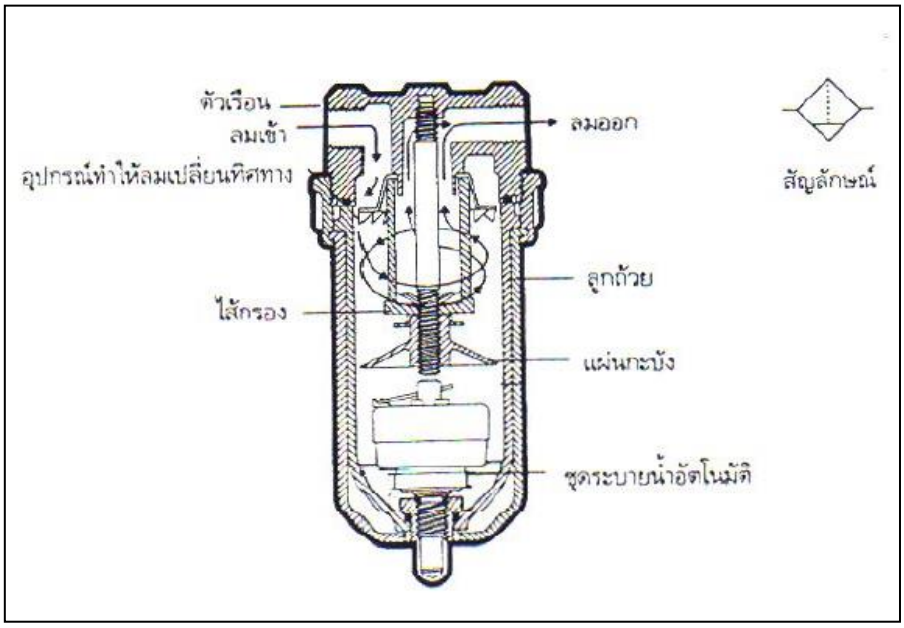
สิ่งแวดล้อมโดยสามารถสกัดได้เร็วและปลอดภัยผลิตภัณฑ์ 2012 Mohammed Jahural Haque Akanda และคณะ ได้ทำการประยุกต์ใช้การสกัด Supercritical CO_2 เป็นตัวทำละลาย พบว่าเป็นการกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบ Screw pressซึ่งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประเมินว่าเทคโนโลยี SFE เป็นวิธีที่ดีสำหรับการขยายการสกัดน้ำมันปาล์มในระดับอุตสาหกรรม

9.2.7 ระบบดูดซับแบบสลับความดัน (Pressure Swing Adsorption: PSA)

ระบบดูดซับแบบสลับความดันเป็นกระบวนการแยกสารที่ มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ให้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์สูง หลักการทำ งานของกระบวนดูดซับนี้จะประกอบด้วยสองขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการดูดซับ ภายใต้ สภาวะความดันสูงและขั้นตอนการคายซับหรือการคืน สภาพของตัวดูดซับ (Regeneration) ภายใต้สภาวะความดันต่ำ โดยสารที่ถูกดูดซับจะคายซับออกจาก ตัวดูดซับโดยการลดความดัน โดยทั้งสองขั้นตอนนี้จะทำงานสลับกัน ผลิตภัณฑ์ที่ไดจากขั้นตอน การดูดซับจะมีความบริสุทธ์สูง เรียกว่า ราฟฟิเนต (Raffinate) ส่วนสารที่ คายออกมาจากตัวดูดซับ เรียกว่า เอกซ์แทรค (Extract) ซึ่ง ควบคุมให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับ และการคายซับ ระบบดูดซับแบบสลับความดันจะเหมาะกับการดูดซับในสถานะแก๊สเนื่องจากความดัน มีผลต่อสภาวะสมดุลในการดูดซับสารที่เป็นของเหลวน้อยมาก กระบวนการดูดซับแบบสลับความดันไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ สำหรับข้อได้เปรียบของการดูดซับ ดว้ยระบบนี้คือใช้กับ สารป้อนที่ มีความเข้มข้นของสารที่ต้องการดูดซับสูง (จีรศักดิ์ 2557)

9.2.8 ตัวกรองลมอัด (Air Filter)

เมื่อเครื่องอัดลมทำการอัดลมเพื่อให้ความดันเพิ่มขึ้นนั้นลมที่ถูกเครื่องอัดลมดูดเข้าไปเพื่ออัดเก็บในถังลมเก็บลมนั้น จะมีส่วนผสมของมวลสารอื่นๆ ด้วย เช่นไอน้ำ ฝุ่นผง หรือมวลสารที่ไม่ล่องลอยในบริเวณที่เครื่องอัดลมทำงานอยู่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเอามวลสารที่ไม่ต้องการเหล่านี้ออกจากลมอัด เพราะมวลสารและสิ่งสกปรกต่างๆ นี้จะเป็นตัวที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานของระบบนิวแมติกส์เสียหาย ทำงานติดขัดอายุการใช้งานสั้นลงได้ ลมอัดไหลเข้ามาทางด้านท่อลมเข้า และไหลผ่านลงไปที่ตัวกรองลมอัด ที่ไหลเข้ามาจะมีความดันสูง และต้องผ่านแผ่นกะบังบังคับการไหลทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ของลมอัดไปปะทะกับผนังของลูกถ้วย อากาศที่สะอาดก็จะไหลผ่านไส้กรองออกทางด้านท่อลมออกและสิ่งสกปรกก็จะติดอยู่ที่ไส้กรอง ส่วนละอองน้ำที่ติดอยู่ผนังของลูกถ้วยจะมีขีดจำกัดปริมาณละออกน้ำไม่ให้สูงเกินไป การระบายละอองน้ำออกสามารถทำได้โดยการระบายน้ำออกด้วยการหมุนสกรูที่ใต้ลูกถ้วยหรือติดตั้งตัวระบายน้ำอัตโนมัติที่ลูกถ้วยได้



ภาพที่ 2-8 ตัวกรองอัดลม (Air Filter)

ที่มา : http://www.aircompressors.in.th ,2017

9.2.9 การวัดประสิทธิภาพของกระบวนการสกัด (Measure of Extraction Effective)

9.2.9.1. อัตราส่วนการกระจายตัว (Distribution Ratio: D)

อัตราส่วนการกระจายตัวถูกกำหนดขึ้นในการสกัดการด้วยตัวทำละลาย เพื่อใช้วัดว่ากระบวนการสกัดที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยทั่วไปอัตราส่วนการกระจายตัว มีค่าเท่ากับความเข้มข้นข้นของตัวถูกละลายในวัฏภาคสารอินทรีย์ต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายในวัฏภาคน้ำ ซึ่งค่า D จะขึ้นอยู่กับ การเดินระบบสกัดสาร เนื่องจากค่าดังกล่าวขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้นของชนิดสารเคมีในระบบ และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งค่า D มีค่าเกี่ยวข้องกับค่า ΔG.ในกระบวนการสกัด

บางครั้งอัตราส่วนการกระจายตัวจะใช้ในความหมายของสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน (Partition Cofficient) ซึ่งส่วนใหญ่แสดงเป็นค่าลอกาลึทึม ในการสกัดด้วยตัวทำละลาย เมื่อของเหลวสองชนิดไม่ละลายซึ่งกันและกัน (lmmiscible Liquids) ถูกเขย่าให้ผสมกันตัวถูกละลายที่มีขั้วมากจะละลายได้ดีในในสารสกัดหรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วน้อยกว่า (ข้อมูลจาก ผกาวดี,2560)

$$D = [CA]_2 / [CA]_1$$

D คือ อัตราส่วนการกระจาย

$[CA]_1$ คือ ความเข้มข้นรวมของ A .ในตัวทำละลายน้ำ

[CA]1 คือ ความเข้มข้นรวมของ A .ในตัวทำละลายอินทรีย์

9.2.9.2 สัมประสิทธิ์การแยก (Separation Factors: SF)

ค่าสัมประสิทธิ์การแยกเป็นค่าที่ได้จากอัตราส่วนการกระจายตัวของสารหนึ่ง ต่ออัตราส่วนการกระจายตัวของสารอีกชนิดหนึ่ง เป็นค่าการวัดที่บ่งบอกความสามารถของระบบในการแยกตัวตัวถูกละลายสองตัวในระบบสกัด เช่นถ้าค่าอัตราส่วนการกระจายตัวของสารนิเกิล (Nickel: D_{Ni}) ในระบบการสกัดของผสมชนิดหนึ่งมีค่าเท่ากับ 10 และอัตราส่วนการกระจายตัวของสารซิลเวอร์ (Silver: Ag) เท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์การแยกสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Separation Factors: SF} = D_{AG} / D_{Ni}$$
$$= 100/10$$
$$= 10$$

ดังนั้นระบบการสกัดจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การแยกของผสมระหว่าโลหะนิกเกิลกับซิลเวอร์เท่ากับ 10

9.2.9.3. สัมประสิทธิ์การปนเปื้อน (Decontamination Factor: DF)

ค่าสัมประสิทธิ์การปนเปื้อน เป็นค่าที่ใช้แสดงความสามารถของระบบในการกำจัดสารปนเปื้อน ออกจากสารที่สกัดได้หรือ ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเช่น ถ้ากระบวนการสกัดมีการป้อนของผสมที่มีสัดส่วนของผสมแคดเมี่ยม (Cadmium) และ อินเดียม (Indium) เท่ากับ 1:9 ค่าสัมประสิทธิ์การปนเปื้อนเพื่อกำจัดแคดเมี่ยม หาได้จาก

$$\text{Decontamination Factor: DF} = 0.1 / 0.01 = 10$$

9.2.9.4. ความชันของกราฟการสกัด (Slope of Graphs)

วิธีการที่ง่ายวิธีหนึ่งในการที่จะศึกษากลไกของกระบวนการสกัดคือศึกษากลไกการสกัด โดยการพลอตกราฟและวัดค่าความชันของกราฟการสกัดหลายๆค่า เช่น ถ้าระบบการสกัดระบบหนึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า Square ของความเข้มข้นของสาร (Z) ความชันของกราฟจะหาได้จาก

$$\text{Slope of Graphs} = \text{Log10 (D)/Log10 ([[Z]])}$$
$$= 2$$

9.2.9.5. จลนพลศาสตร์ของกราฟการสกัด (Kinetics of Extraction)

ค่าจลนพลศาสตร์ของกราฟการสกัดเป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญที่ต้องทราบอัตราทีตัวถูกละลายถูกขนถ่ายระหว่างสารทั้งสองวัฏภาค ในหลายกรณีเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระยะเวลาที่สารสกัดและตัวถูกละลายในระบบการสกัด จะทำให้ค่าความบริสุทธิ์ของระบบการสกัดหรือสารผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง

9.2.9.6. สารตัวกลางเชิงซ้อน (Aqueous Complexion Agents)

ถ้ามีสารตัวกลางเชิงซ้อนผสมอยู่ในวัฏภาคของน้ำ จะส่งผลทำให้สัมประสิทธิ์การกระจายตัวต่ำ ตัวอย่างเช่น ในกรณีของสารไอโอดีน จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกระจายตัวระหว่างวัฏภาคของน้ำและการสารสกัดหรือตัวทำละลายอินทรีย์ เช่นคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ดังน้ำการพบสารไอโอดีนอยู่ในชั้นน้ำจะทำให้เคมีของการสกัดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (ข้อมูลจาก ผกาวดี, 2560)

9.2.10 พืชที่ใช้ในการศึกษา

9.2.10.1 พริก

พริกเป็นพืชในตระกูล Solanaceae พริก ชื่อวิทยาศาสตร์ :Capsicum frutescens L. ภาษาอังกฤษ :Chili, Chilli Pepper พริกที่มีขนาดเล็กมีความเผ็ดมากจะเรียกว่า Chilli peppers, chili, chile หรือ chilli มาจากคำภาษาสเปน ว่า chile พริกชนิดต่างๆ มีต้นกำเนิดมาจากทวีปอเมริกา โดยมีถิ่นกำเนิดมาจากทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีปลูกกันในหลายประเทศทั่วโลกพริกมีการนำเข้ามาในประเทศไทยตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยาตอนต้น ความเผ็ดของพริกมาจากสารชื่อ “แคปไซซิน” (Capsaicin) ซึ่งจะมีอยู่มากในบริเวณเยื่อแกนกลางสีขาว (คือส่วนเผ็ดมากที่สุด) ส่วนเปลือกและเมล็ดนั้นจะมีสารนี้อยู่น้อย ซึ่งคนทั่วไปมักเข้าใจผิดว่าส่วนเมล็ดและเปลือกคือส่วนที่เผ็ดที่สุด และสารชนิดนี้จะทนทานต่อความร้อนและความเย็นอย่างมาก แม้จะนำมาต้มให้สุดหรือแช่แข็งก็ไม่ได้ทำให้สูญเสียความเผ็ดไปแต่อย่างใด หน่วยในการวัดความเผ็ดของพริก เดิมคือ สโควิลล์ (Seoville) เป็นคำที่ตั้งขึ้นตามชื่อผู้คิดค้นวิธีการวัดระดับ ซึ่งก็คือ วิลเบอร์ สโควิลล์ นักเคมีชาวอเมริกัน ดัชนีความเผ็ดของพริกและปริมาณสารแคปไซซิน จะขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ ระยะการสุกแก่ของผลพริก แหล่งเพาะปลูกและสภาพอากาศ (ข้อมูลจาก Maga,1975) จากข้อมูลพื้นที่การผลิตและผลผลิตพริกของกรมส่งเสริมการเกษตรพบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกพริก 413,839 ไร่ ผลผลิตประมาณ 520,412 ตัน โดยพริกที่ปลูกมากที่สุดคือ พริกขี้หนูเม็ดใหญ่ ปลูกมาที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ นครราชสีมา ชัยภูมิ เลย ศรีสะเกษ และอุบลราชธานี (ข้อมูลจาก สุชีลา , 2557)

ตารางที่ 2-7 คุณค่าทางอาหารของพริกขี้หนูในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

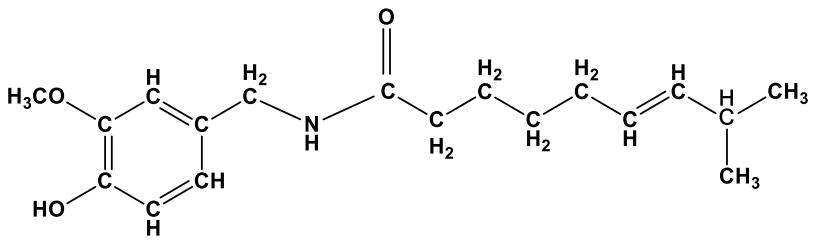
คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำ	82	กรัม
ไขมัน	1.4	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	12.4	กรัม
เยื่อใย	5.2	กรัม
โปรตีน	3.4	กรัม
แคลเซียม	4	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	14	มิลลิกรัม
เหล็ก	1.2	มิลลิกรัม
วิตามินบี 1	0.29	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.11	มิลลิกรัม
ไนอาซีน	1.5	มิลลิกรัม
วิตามินซี	44	มิลลิกรัม

ที่มา: คู่มือเกษตรกร,2525

9.2.10.1.1 แคปไซซิน (Capsaicin)

แคปไซซินเป็นสารกลุ่มแคปไซซินอยด์ เป็นสารที่ให้ความเผ็ดในพริก ประกอบด้วย แคปไซซิน 70% และไฮโดรแคปไซซิน 22% และสารอื่นๆ อีก 8% แคปไซซิน $C_{18}H_{27}NO_3$ (ภาพที่2-9) โครงสร้างเคมีคือ 8-methyl-n-vanillyl-6-noneamide มีน้ำหนักโมเลกุล 305.46 mol^{-1} (ประเสริฐ ,2544) เป็นส่วนประกอบของพริกซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในสกุลแคปซิคัม (genus Capsicum) สารแคปไซซิน สามารถละลายได้ในสารละลายพวก แอลกอฮอล์ อีเทอร์ และไขมัน แต่ไม่ละลายในน้ำ นอกจากจะให้ความเผ็ดร้อนแล้วยังมีคุณสมบัติช่วย บรรเทาอาการปวด ลดการอักเสบของ กล้ามเนื้อและข้อ ซึ่งปัจจุบันมีผู้นำมาทำเป็นเจล ทาแก้ปวดกล้ามเนื้อ นอกจากนั้นแคปไซซินยังมีส่วนเพิ่มการเคลื่อนไหว ของระบบทางเดินอาหารและที่น่าสนใจคือผลต่อระบบ หัวใจและหลอดเลือดและปัจจัยเสี่ยงของโรคหัวใจและ หลอดเลือด แคปไซซิน (capsaicin) เป็นสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ที่พบตามธรรมชาติในพริก ส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณเยื่อแกนกลางสีขาว หรือเรียกว่า "รก"(placenta) ส่วนของเนื้อผลพริก เปลือกผล และเมล็ดจะมีสารแคปไซซินอยู่น้อยมาก ผลของพริก เป็นสารสำคัญที่ทำให้พริกมีรสเผ็ด (ตติยา, 2541) สารแคปไซซินมีความคงตัวต่ออุณหภูมิสูง แสง และ PH ที่เป็นด่างแต่จะสลายตัวได้ใน Oxidising agen สารแคปไซซินจะกระจายตัวอยู่ในส่วนต่างๆของผลพริกโดยพบมากในเนื้อเยื่อชั้นในติดกับไส้พริกสูงถึงร้อยละ 89 .ในปริมาณพริกทั้งผล ส่วนในเมล็ดพริกพบเพียงร้อยละ 10.8 เท่านั้น ซึ่งปริมาณของสารกลุ่ม

แคปไซซินอยด์นี้จะมีปริมาณต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดพันธ์พริก อายุ ลักษณะดินที่ปลูก และสภาพอากาศ (ข้อมูลจาก apichatsite, 2560)



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างทางเคมีของแคปไซซิน

ตารางที่ 2-8 ข้อมูลสารให้ความเผ็ดให้ในพริกขี้หนู

ชื่อทางเคมี	ปริมาณ (% ของปริมาณสารให้ความเผ็ดทั้งหมด)
Capsaicin	61
Dihydrocapsaicin	22
Nordihydrocapsaicin	7
Homodihydrocapsaicin	1
Homocapsaicin	1

ที่มา:Salzer et al ,1975

ในปี 2007 Jorge Pinoet ได้ทำการศึกษา ลักษณะของแคปไซซินอยด์ สารประกอบและสารระเหย ของ พริก Habanero พันธุ์ที่ปลูกในยูคาทาน วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างพริกแบ่งตามสีของพริก คือ แดง ส้ม และน้ำตาล อย่างละ150 กรัมอบที่ 60 องศาเซลเซียสจนน้ำหนัก คงที่ (3 วัน) จากนั้นการวิเคราะห์แคปไซซินอยด์ตัวอย่างพริกที่อบแห้ง 1 กรัมผสม acetonitrile10 มิลลิลิตร และเก็บไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่ 80 องศาเซลเซียส ด้วยการเขย่า กรองสารสกัดที่ได้ด้วยกระดาษกรองใส่ลงในขวดรูปชมพู่ นำไปวัด UV ที่ 280 นาโนเมตรเทียบกับกราฟมาตรฐานแคปไซซินบริสุทธิ์พบว่าพริก ที่มีสีน้ำตาลมีปริมาณแคปไซซินสูงที่สุด 65.8 mg g-1 dry fruit เมื่อศึกษาเปรียบเทียบแคปไซซินอยด์และดัชนีความเผ็ดในพริกตามระยะการสุกแก่ของผล โดยเปรียบเทียบกับพริก 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พริงพันธุ์หัวเรือ พันธุ์ทองคำ พันธุ์ซุปเปอร์ฮอท พันธุ์พริกช่อ และพันธุ์จินดา โดยใช้การสกัดวิธี Solvent extraction พบว่า พริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอทมีความเผ็ดสูงที่สุดทุกระยะการสุกแก่ของพริกดิบ และพริกแคปไซซินนอยด์มากที่สุด 5.83 มิลลิกรัม ในระยะพริกดิบ โดยพันธุ์หัวเรือมีปริมาณแคปไซซินนอยด์มากที่สุด 6.23 มิลลิกรัม ในระยะพริกสุก (จารุวรรณ และสุดารัตน์,2554) จากการศึกษาข้อมูลจาก Rakesh

,2015 วิเคราะห์ผลขององค์ประกอบพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระในสายพันธุ์พริกพื้นเมืองจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดียวิธีการสกัดนำพริก ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนำเมล็ดของพริกที่สุกทั้ง 25 สายพันธุ์มาทำแห้ง นำพริกแห้ง 50 มก ใส่ในขวดที่มีอะซิโตน10มิลลิลิตร เขย่าอย่างต่อเนื่อง 3 ชั่วโมงแล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีจากนั้นระเหยอะซิโตนออกจนหมด และนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแคปไซซินพบว่า พริกจากทิศตะวันออก เมือง อรุณาจัลในประเทศอินเดียสายพันธุ์ capsicum chinense ซึ่งชาวพื้นเมืองเรียกพริกชนิดนี้ว่า Mithun mircha มีปริมาณแคปไซซินสูงที่สุดคือ 3.03 % จากปริมากโอลิโอเลซินที่สกัดได้ 8.5%

จากการวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปริมาณ สารแคปไซซินที่สกัดได้จจะขึ้นอยู่กับระยะการสุกแก่ของพริก ซึ่งพริกที่มีระยะสุกแก่ที่มีผลสีแดง จะพบปริมาณสารแคปไซซินสูง และปริมาณสารแคปไซซินยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพริก และตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดอีกด้วย

9.2.10.2 มะเขือเทศ

มะเขือเทศเป็นพืชผักที่อยู่ในวงศ์ Solanaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum Mill* มะเขือเทศเป็นพืชล้มลุกอายุเพียง 1 ปี ลำต้นตั้งตรง มีลักษณะเป็นพุ่ม มีขนอ่อน ๆ ปกคลุม ใบเป็นใบประกอบ ออกสลับกัน ใบย่อยมีขนาดไม่เท่ากัน บางใบเล็กรียาว บางใบกลมใหญ่ ปลายใบแหลม ขอบใบเป็นหยักลึกคล้ายฟันเลื่อยมีขนอ่อน ๆ ออกดอกเป็นช่อหรือดอกเดี่ยว บริเวณซอกใบ ดอกมีสีเหลือง มีกลีบเลี้ยงสีเขียวประมาณ 5-6 กลีบ ผลเป็นผลเดี่ยว มีขนาดรูปร่างและสีต่างกัน ซึ่งมีขนาดเล็กประมาณ 3 เซนติเมตร จนถึงใหญ่ประมาณ 10 เซนติเมตร รูปร่างมีทั้งกลม กลมแบน หรือกลมรี ผิวนอกลีบเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียว หรือเขียวอมเทาของรงควัตถุคลอโรฟิลล์ เมื่อสุกจะมีสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง ของรงควัตถุ แคโรทีนอยด์ และ แซนโทฟิล์ เนื้อภายในฉ่ำด้วยน้ำมีรสเปรี้ยว ซึ่งสารสำคัญที่พบในมะเขือเทศได้แก่สารกลุ่มแคร์โรทีนอยด์ โดยเฉพาะ ไลโคปีน กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี วิตามินอี โฟเลท ฟลาโวนอย สารฟีนอลิคละ โพแทสเซียม (กันยนา ,2548)

ตารางที่ 2-9 คุณค่าทางโภชนาการของมะเขือเทศขนาด 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	
น้ำ	94.34	กรัม
พลังงาน	18	กิโลแคลอรี
โปรตีน	0.95	กรัม
ไขมัน	0.11	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	4.01	กรัม
กากใยอาหาร	0.7	กรัม
น้ำตาล	2.49	กรัม
แคลเซียม	11	มิลลิกรัม
ธาตุเหล็ก	0.68	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	9	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	28	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	218	มิลลิกรัม
โซเดียม	11	มิลลิกรัม
สังกะสี	0.14	มิลลิกรัม
วิตามินซี	22.8	มิลลิกรัม
โฟเลต	13	µg
วิตามินเอ	489	IU
วิตามินอี	0.56	มิลลิกรัม
วิตามินเค	2.6	µg
ลูทีนและซีแซนทีน	123	µg

ที่มา:ข้อมูลจาก https://medthai.com, 2018

จากการศึกษาพบว่ามะเขือเทศสดมีปริมาณไลโคปีน 12 มิลลิกรัม ใน 100 กรัม ส่วนมะเขือเทศผงมีปริมาณไลโคปีน 1.13-1.26 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งไลโคปีนส่วนใหญ่อยู่ในเปลือกและส่วนของเนื้อมะเขือเทศที่ไม่สามารถละลายในน้ำได้

ตารางที่ 2-10 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในมะเขือเทศสุก และส่วนต่างๆของมะเขือเทศในของเหลือจากกระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น

ประเภทแคโรทีนอยด์	ปริมาณที่พบ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักเปียก)			
	มะเขือเทศสุก	เมล็ด	เปลือก	มะเขือเทศเข้มข้น
ไลโคปีน	8.8-42	0.04	11.98	16.79
เบต้า-แคโรทีน	0.23	0.13	0.30	1.06
ไฟโทอีน	1.86	0	เล็กน้อย	2.29
ไฟโทฟลูลีน	0.08	0	เล็กน้อย	1.86

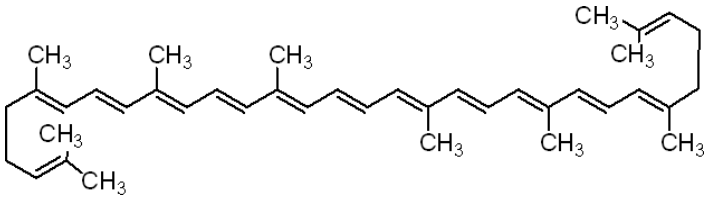
ที่มา: กันยนา ,2548

9.2.10.2.1 ไลโคปีน (Lycopene)

ไลโคพีน (lycopene) เป็นสารphytochemical ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุ (pigment) ที่พบมากตามธรรมชาติในผัก ผลไม้ ที่มีสีแดงหรือสีชมพู เช่น มะเขือเทศ แตงโม เกรพฟรุตสีชมพู (pink grapefruit) ฝรั่งไส้แดง เป็นต้น มีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงของพืช รวมทั้งสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ เช่น สาหร่าย รา แบคทีเรีย เป็นสารตั้งต้นสำคัญทางชีวภาพ เพื่อการสังเคราะห์สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ชนิดอื่น เช่น บีตา-แคโรทีน (beta-carotene) แซนโทฟิลล์ (xanthophyll)

โครงสร้างโมเลกุลของไลโคพีน เป็นแคโรทีนอยด์ โครงสร้างเป็นแบบ tetraterpene ประกอบด้วยisoprene 8 หน่วย ต่อเป็นสายยาว ไม่วงแหวนปิด มีพันธะคู่ 11 ตำแหน่ง (http://www.foodnetworksolution.com ,2018) lycopersicum เป็นชื่อวิทยาศาสตร์ บอกสปีชีส์ของมะเขือเทศ Solanum lycopersicum ไลโคปีนเป็นสารที่มีประโยชน์ ต่อร่างกาย ไลโคปีนมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ช่วยลดความผิดปกติและความเสื่อมของเซลล์ อันเนื่องมาจากการทำลายของอนุมูลอิสระ การได้รับไลโคพีนในปริมาณที่สูง อาจช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเป็นโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันการเกิดมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งต่อมลูกหมาก แต่ร่างการไม่สามรถสร้าง ไลโคปีนขึ้นมาได้เอง จึงต้องมีการบริโภคเข้าไป (ฐิตาและคณะ , 2555) ไลโคปีนที่พบมี โครงสร้างทางเคมี 2 แบบ

คือ trans – configuration และแบบ cis-isomer โดยในธรรมชาติจะพบไลโคปีนแบบ trans – configuration แต่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบ cis-isomer ได้เมื่อสัมผัสกับความร้อนหรือและแสง โดยในกระแสเลือดของคนเราพบไลโคปีนแบบ cis-isomer อยู่ถึง 60% ไลโคปีนสามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดแต่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ และเสื่อมสลายได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน แสง และออกซิเจน



ภาพที่ 2-10 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน

ที่มา: http://th.gmp-factory.com/herbal-medicine/anti-tumor/lycopene.html,2016

จากการศึกษาผลของสายพันธุ์มะเขือเทศและวีการสกัดไลโคปีนต่อ สมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศผงโดยทดสอบมะเขือเทศพันธุ์พื้นเมือง 5 สายพันธุ์ พื้นเมืองเบอร์ 1 พื้นเมืองเบอร์ 2 เพชรชมพู สีดา และอีเป้อ พบว่ามะเขือเทศพันธุ์อีเป้อมีปริมาณไลโคปินสูงสุด 67.61 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักมาตรฐานแห้ง (กานดาวดี และจิรภา, 2556)

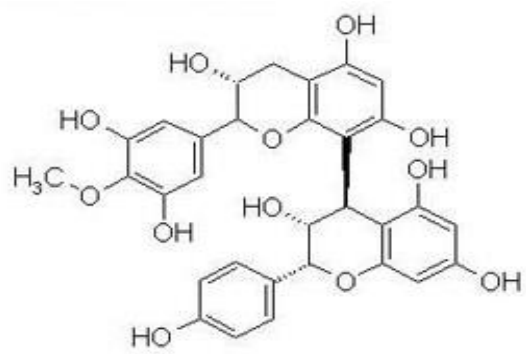
9.2.10.3 องุ่น

องุ่นมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vitis vinifera L.* จัดอยู่ในวงศ์องุ่น (VITACEAE) องุ่นจัดเป็นพุ่มไม้เลื้อยจำพวกเถา ซึ่งจะเลื้อยไปได้ยาวถึงประมาณ 10 เมตร ซึ่งปกติการปลูกมักจะต้องสร้างค้างไว้รองรับ เถาอ่อนจะมีลักษณะเป็นปล้อง ผิวเรียบ มีขนปกคลุมทั่วต้น ตามข้อเถามีส่วนยื่นสำหรับเกี่ยวยึดและเกาะกับค้าง หรือสิ่งต่างๆใบองุ่น จะมีก้านใบยื่นออกมายาวประมาณ 4 – 5 ซม. บริเวณข้อของต้นองุ่น และตรงปลายก้านจะออกเป็นใบเดี่ยวอยู่เรียงสลับกันไป เนื้อใบบาง ใต้ใบมีขน ลักษณะของใบด้านปลายจะคล้ายกับนิ้วมือ 3 – 5 หยัก ปลายแหลม ด้านโคนใบจะเว้าเข้าหากันเป็นรูปหัวใจ ขอบใบจะมีรอยหยักเหมือนฟันเลื่อย ขนาดกว้างยาวใกล้เคียงกัน คือประมาณ 10-20 ซม. บริเวณโคนก้านใบจะมีกิ่งแขนงเล็กๆ และตา อยู่ โดยกิ่งแขนงจะมี 1 กิ่ง ส่วนตา จะมี 3 ตา เป็นตาเอก 1 ตา และตารอง 2 ตา ตาเอกจะเป็นส่วนที่สำคัญเพราะจะเป็นส่วนของตายอดจะมีกลุ่มของดอกและผลอยู่ ดอกองุ่น จะมีลักษณะกลมยาว ออกเป็นช่อบนกิ่ง โดยลักษณะของดอกจะต่างกันตามพันธุ์ที่ปลูก โดยทั่วไปดอกจะเป็นดอกสมบูรณ์ แต่บางพันธุ์ก็จะมีดอกเพศผู้ และเพศเมียแยกจากกัน สังเกต ถ้าดอกเพศผู้และ

เพศเมียแยกจากกัน ก้านเกสรเพศผู้มักจะมีขนาดยาวกว่า ผลองุ่น เกิดขึ้นจากดอกที่ได้รับการผสมพันธุ์แล้ว หากดอกใดไม่ได้รับการผสมพันธุ์ ดอกก็จะหลุดร่วงออกจากต้น ดอกที่ได้รับการผสมจนเป็นผลนั้น ผลจะออกเป็นช่อ และโตเร็วในระยะแรก ก่อนจะเริ่มช้าลง ในระยะแรกผลองุ่นจะเป็นสีเขียวทุกพันธุ์ แต่เมื่อโตขึ้นสีจะเปลี่ยนไปตามพันธุ์ขององุ่นที่ปลูก ภายในผลองุ่นจะมีเมล็ด 1-3 เมล็ด และแต่ละผลส่วนใหญ่จะเป็นลูกกลมหรือรี จนถึงรีเป็นรูปไข่ สายพันธุ์องุ่นแดงทำไวน์ ที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ชีราส (Shiraz/Syrah) ,ดอร์นเฟลเดอร์(Dornfelder), เชอนิน บลองค์ (Chenin Blanc) ,โคลอมบาร์ด (Colombard),ซานจีโอเวเซ่ (Sangiovese) (ข้อมูลจาก monsoon_grape_variety ,2017) ในอุตสาหกรรมการทำไวน์จะพบของเสียหรือของเหลือทิ้งจากอุตสากรรมผลิตไวน์ ได้แก่เปลือกและเมล็ดขององุ่นซึ่ง ใน เมล็ดองุ่นมีปริมาณน้ำมันอยู่ 10-20% ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ น้ำมันจากเมล็ดองุ่นประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง โดยเฉพาะกรด ลิโนเลอิคและโอเลอิค ประมาณ 53-78% และ 16-31% ตำมลำดับ (ข้อมูลจาก Sabir และคณะ, 2012) และยังพบสารสำคัญที่สกัดได้มาจากเมล็ดองุ่นในกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ โดยเฉพาะสารโปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidins) (จิราวัฒน์ และคณะ 2557)

9.2.10.3.1 โพรแอนโธไซยานิดินส์ (Proanthocyanidins)

โพรแอนโธไซยานิดินส์เป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) เช่นเดียวกันกับสาร catechin และepicatechin สารนี้เมื่อรวมตัวกันจะอยู่ในรูป Oligomeric Proanthocyanidins (OPCs) พบในเมล็ดองุ่น เปลือกต้นสน เปลือก ต้นมะนาว แครนเบอร์รี เปลือกส้ม อัลมอนด์ และชา สารโพรแอนโธไซยานิดินส์ (Proanthocyanidins) ส่วน มากจะประกอบด้วยสาร catechin และ epicatechin และสารประกอบในรูป gallate โดยจะมีโครงสร้างแบบ diners, trimers และ tetramers ซึ่งจะพบสารนี้อยู่ประมาณ 60-70 % ของสารประกอบพวก polyphenols ในเมล็ดองุ่น กลไกการทำงานสารโพรแอนโธไซยานิดินส์ (Proanthocyanidins) ที่พบในเมล็ดองุ่นจะใช้เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) รวมไปถึงการกำจัดสารพวกไฮดรอกซิลและเปอร์ออกซิลและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ lipoprotein ที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งสาร catechin และ epicatechin ในสารโพรแอนโธไซยานิดินส์ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้ง นอกจากนี้ตำแหน่งของพันธะระหว่างโมเลกุล flavans ในสารนี้ยังมีอิทธิพลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของไขมันอีกด้วย ซึ่งสารโพรแอนโธไซยานิดินส์ (Proanthocyanidins) ที่ประ กอบด้วยพันธะ 4-6 พันธะ จะมีคุณ สมบัติในการยับยั้งดีกว่าสารที่ประกอบด้วยพันธะ 4 – 8 พันธะ และสารนี้ที่ประกอบด้วยกลุ่ม gallate ซึ่งเชื่อมกันด้วยพันธะไฮดรอกซี 3 พันธะจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยานี้ได้ดี ประโยชน์ของโพรแอนโธไซยานิดินส์ (Proanthocyanidins) นอกจากจะมีคุณสมบัติในการต่อต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant)แล้ว ยังช่วยป้องกันโรคเกี่ยวกับหัวใจและตับ รักษาความผิดปกติของหลอดเลือด เส้นเลือดฝอย เส้นเลือดขอด เส้นเลือดฝอยเปราะ รักษาเบาหวานขึ้นตาและจอประสาทตาเสื่อม บรรเทาอาการของโรคไข ข้ออักเสบ และรักษาโรคภูมิแพ้ ข้อมูลจากชวิดา และคณะ, 2548)



ภาพที่ 2-11 โครงสร้างทางเคมีของโพรแอนโธไซยานิดินส์ (Proanthocyanidins)

ที่มา: http://poiseandproud.blogspot.com/2012/06/grape-seed-extract.html ,2555

ตารางที่ 2-11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไลโคปีน แคปไซซิน และโปรแอนโทไซยานิดินส์ โดยการใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

อ้างอิง	ตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด	วิธีการสกัด	สภาวะที่ใช้ในการสกัด	สภาวะที่ให้ปริมาณสารสกัดสูง.ในการทดลอง	ปริมาณและสารที่สกัดได้
สมใจ, 2006	เมล็ดองุ่น	-SFE-CO2 - SFE-CO2 Co solvent	-ความดัน 30-40 MPa อุณหภูมิในช่วง อุณหภูมิ 35-45 องศาเซลเซียส ขนาดอนุภาค 20-80 mesh เวลา 180 นาที	ความดัน 40 MPa อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	โพรแอนโธไซยาไนดินส์มากที่สุด 50.71 % และเมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวสกัดร่วม จะเพิ่มขึ้นอีก 4.03%
,Siti M. et al, 2012	เปลือกมะเขือเทศรวมเมล็ด อัตราส่วน 37/63	SFE-CO2	อุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส ความดัน 20-40 MPa ขนาดอนุภาค 0.10 -1.05มิลลิเมตร อัตราการไหล CO2 2-4 มิลลิลิตร / นาที เวลาในการสกัด 180 นาที	อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความดัน 40 MPa	-ไลโคปีน 56 % yields
Ana C.et al, 2013	พริกไทย	SFE-CO_2	พริกไทย 3 สายพันธุ์ Dedo-de-moca,Malaguete ,bocly amarela ตัวอย่าง 4 กรัม อุณหภูมิ 40,50,60 องศาเซลเซียส ความดัน 15,25,35 MPa	พริกไทย Malaguete อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน15 MPa	-แคปไซซิน 42 ,มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง

อัตราการไหลของCO_2 1.98x10^{-4}
กก/วินาที
เวลาที่ใช้ 320 นาที

ตารางที่ 2-11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไลโคปีน แคปไซซิน และโปรแอนโทไซยานิดินส์ โดยการใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต (ต่อ)

อ้างอิง	ตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด	วิธีการสกัด	สภาวะที่ใช้ในการสกัด	สภาวะที่ให้ปริมาณสารสกัดสูง.ในการทดลอง	ปริมาณและสารที่สกัดได้
จิระวัฒน์ และคณะ, 2014	เมล็ดองุ่นป๊อกดำ	SFE-CO2	ความดัน 200,300 บาร์ อุณหภูมิ -30,40,50 องศาเซลเซียส	ความดัน 300 บาร์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	ปริมาณน้ำมัน 5.5 กรัม/100 กรัมตัวอย่างแห้ง
Da Porto C et al. 2014	Grape marc เปลือกรวมเมล็ด	SFE-CO_2 Co solvent	ความดัน 8,10,20,30 MPa อัตราการไหลของCO_2 4 ,6 กก./ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ 7.5% EtW, 10% EtW, 15% EtW อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 240 นาที	ความดัน 8 MPa อัตราการไหลของCO_2 4 กก./ชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ 7.5% EtW	-ฟีนอลิก 2600mg/100 ตัวอย่างแห้ง -โพรแอนโทไซนานิดินส์ 441.7 มิลลิกรัม/100 ตัวอย่างแห้ง
Santos P.etal, 2015	พริกไทย	SFE-CO2 Co ultrasound	ความดัน 15 MPa อุณหภูมอ 40 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของ CO_2 1.67x10^{-4} กก/วินาที พลังงาน 200,280,360 W เวลา 60,150,240 oนาที	ความดัน 15 MPa อุณหภูมอ 40 องศาเซลเซียส พลังงาน 360 W 60 นาที	แคปไซซิน 0.37 มิลลิกรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง
Natolino et al.	กากองุ่น	SFE-CO2	ความดัน 10,12 MPa	ความดัน 12 MPa ที่อุณหภูมิ	-โพรแอนโทไซยานิดินส์

2016			อุณหภูมิ 40,45 องศาเซลเซียส ปริมาณ CO_2 0.97,0.99 molar	45 องศาเซลเซียส และปริมาณ CO_2 0.99 molar	150 มิลลิกรัม/100 กรัม ตัวอย่างแห้ง
Krhilli et al. 2017	Tomato peels	SFE-CO_2	ตัวอย่าง 10 กรัม อุณหภูมิ 50,70,80 องศาเซลเซียส ความดัน 300,400,500 บาร์ อัตราการไหลของCO_2 3,4,6 กรัม/นาที ระยะเวลาในการสกัด 105 นาที	50 เซลเซียสความดัน 400 บาร์ ที่อัตราการไหล 4 กรัม/ นาที	ไลโคปีน 60.85 % แคโรทีน 58.8 % (% yields)

9.2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2012 Mohammed Jahural Haque Akanda และคณะ ได้ทำการประยุกต์ใช้การสกัด Supercritical CO_2 เป็นตัวทำละลาย พบว่าเป็นการกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบ Screw pressซึ่งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประเมินว่าเทคโนโลยี SFE เป็นวิธีที่ดีสำหรับการขยายการสกัดน้ำมันปาล์มในระดับอุตสาหกรรมการสกัดสาระสำคัญในพืชโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตถูกนำไปใช้ในการสกัดน้ำมันอย่างแพร่หลายในพืชสมุนไรหลายชนิด และมีการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารที่สกัด

ศึกษาการสกัดวิตามินอีจากใบปาล์มน้ำมันโดยใช้วิธีการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวดซึ่งจะทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและศึกษาปัจจัยอุณหภูมิในเครื่องสกัด ความดันในเครื่องสกัด และอัตราการป้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์ HPLC (High performance Liquid chromatography) (ข้อมูลจาก สุภาภรณ์, 2552)

ในปี 2553 กัญญรัตน์ และ จันทนีศึกษาการสกัดไลโคปีนจากการมะเขือเทศจากโรงงานอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับมะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นโดยใช้เอนไซม์และสารทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่า ผงกากมะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นมีปริมาณไลโคปีนสูงกว่าผงกากมะเขือเทศโรงงานและผงกากมะเขือเทศโรงงานที่ใช้เอนไซม์ทางการค้า 2 ชนิด Enz A และ Enz B ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์เพคติเนส, เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส โดยใช้เวลา 5 ระดับ พบว่า ระยะเวลาการย่อย 50 นาทีร่วมกับเอทิลอะซีเตดได้ปริมาณไลโคปีนสูงที่สุด 50.3 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัมแห้ง ส่วนมะเขือเทศจากตลามท้องถิ่นให้ปริมษไลโคปีนสูงสุด 80.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแห้ง

ในปี 2010 Go-Woon Jung.และคณะได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดโดยใช้ Supercritical กับ Near Critical ของ CO_2 ในการสกัดเพื่อเพิ่ม Carotenoid ในน้ำมันรำข้าวฟาง พบว่า Near Critical CO_2 มีสมรรถนะการสกัดน้ำมันสูงสุดที่ อุณหภูมิ 25 C และ 30 MPa และ Critical ของ CO_2มีสมรรถนะการสกัดน้ำมันสูงสุดที่ อุณหภูมิ 45 C และ 30 MPa โดยปริมาณ Carotenoid แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันไทย-เยอรมันได้พัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไรโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่สภาวะเหนือวิกฤติ ซึ่งออกแบบปฏิกรณ์ขอนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้บรรจุสมุนไพรบดละเอียด และใช้แรงดันอัดที่ 150-200 bar ใช้ต้นกำลังมอเตอร์ 5 A 220 V ราคาการจำหน่ายเริ่มต้นเครื่องละ 3,000,000 บาท ภายใต้โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยกระบวนการวิศวกรรมเพื่อการสร้างสรรค์คุณค่าประจำปีงบประมาณ 2555 (สถาบันไทย-เยอรมัน, มมป)

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าเทคโนโลยีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่สภาวะเหนือวิกฤติมาสกัดสารสำคัญ ในพืชนั้นมีความเหมาะสม ทั้งด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และด้านการส่งเสริมกลุ่มเกษตรกรแต่เนื่องจากราคาเครื่องจักรที่มีต้นทุนสูงทำให้การขยายผลเป็นไปได้ยาก ซึ่งถ้าเราสามารถเพิ่มสมรรถนะในการผลิตได้ จะทำให้การลงทุนมีการคืนทุนเร็วขึ้นจะทำให้เกษตรกรสามารถลงทุนได้และลดความเสี่ยงต่อการลงทุน

(Mohammed Jahural Haque Akanda et al. 2012) ได้ทำการประยุกต์ใช้การสกัด Supercritical CO_2 เป็นตัวทำละลาย พบว่าเป็นการกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบ Screw pressซึ่งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประเมินว่าเทคโนโลยี SFE เป็นวิธีที่ดีสำหรับการขยายการสกัดน้ำมันปาล์มในระดับอุตสาหกรรม

(Ugur Salgin .et al. 2005) ทำการทดสอบการสกัด Supercritical CO_2 กับน้ำมันทานตะวัน โดยใช้ความดัน 20, 30, 40 50 และ 60 MPa ที่อุณหภูมิ 313, 333 และ 353 K° ที่อัตราการไหลของ CO_2 1-4 และ 6 M^3/min ที่ขนาดแตกต่างกัน พบว่า อัตราการสกัดจะเพิ่มขึ้นตามความดันเป็นปัจจัยที่มีประสิทธิผลมากสุด โดยอัตราการไหลไม่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมัน

(Sami Gokhan Ozkal. 2004) ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันจากผลแอปริคอท โดยใช้ Supercritical CO_2 ทำการสกัดช่วงความเร็วสูงและต่ำ พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ในการกัดอย่างรวดเร็วน้ำมันจะกลับคืนน้อยมาก โดยผลการสกัดจะเพิ่มหรือลดลงขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคที่ใส่เข้าไป และอัตราการสกัดจะเพิ่มตาม ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มจ้นของเอทานอล โดยอัตราสูงสุดที่สามารถสกัดได้ที่ 0.26 g/g ที่อัตราการไหล 4 g/min อุณหภูมิ 60 C ที่ความดัน 450 bar และเอทานอล 3%

(Go-Woon Jung.et al. 2010) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดโดยใช้ Supercritical กับ Near Critical ของ CO_2 ในการสกัดเพื่อเพิ่ม Carotenoid ในน้ำมันรำข้าวฟาง พบว่า Near Critical CO_2 มีสมรรถนะการสกัดน้ำมันสูงสุดที่ อุณหภูมิ 25 C และ 30 MPa และ Critical ของ CO_2 มีสมรรถนะการสกัดน้ำมันสูงสุดที่ อุณหภูมิ 45 C และ 30 MPa โดยปริมาณ Carotenoid แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

(สุภาภรณ์, 2552) ศึกษาการสกัดวิตามินอีจากใบปาล์มน้ำมันโดยใช้วิธีการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด ซึ่งจะทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและศึกษาปัจจัยอุณหภูมิในเครื่องสกัด ความดันในเครื่องสกัด และอัตราการป้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์ HPLC (High performance Liquid chromatography)

(สมใจ,2549) ศึกษาการสกัดสารโพรแอนโธไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด พบว่าการสกัดสารจากเมล็ดองุ่นโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดเป็นตัวสกัดอย่างเดียวจะได้ปริมาณของสารโพรแอนโธไซยานิดินส์มากที่สุด 50.13 มิลลิกรัม/100กรัมเมล็ดองุ่น ภายใต้สภาวะความดันที่ 40 MPa อุณหภูมิ40 ° C และ ขนาดอนุภาคของเมล็ดองุ่น 60-80 mesh และปริมาณสารโพรแอนโธไซยานิดินส์ที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น 4.03 % เมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวสกัดร่วมภายใต้สภาวะการสกัดเดียวกัน

(กัญญรัตน์ และ จันทนี,2553) ศึกษาการสกัดไลโคปีนจากการมะเขือเทศจากโรงงานอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับมะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นโดยใช้เอนไซม์และสารทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ พบว่า ผงกากมะเขือเทศจากตลาดท้องถิ่นมีปริมาณไลโคปีนสูงกว่าผงกากมะเขือเทศโรงงานและผงกากมะเขือเทศโรงงานที่ใช้เอนไซม์ทางการค้า 2 ชนิด Enz A และ Enz B ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์

เพคติเนส, เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส โดยใช้เวลา 5 ระดับ พบว่า ระยะเวลาการย่อย 50 นาทีร่วมกับเอทิลอะซีเตดได้ปริมาณไลโคปีนสูงที่สุด 50.3 มิลลิกรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัมแห้ง ส่วนมะเขือเทศจากตลามท้องถิ่นให้ปริมษไลโคปีนสูงสุด 80.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมแห้ง

(กานดาวดี และจิรภา, 2556) ศึกษาผลของสายพันธุ์มะเขือเทศและวีการสกัดไลโคปินต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศผง โดยทดสอบมะเขือเทศพันธุ์พื้นเมือง 5 สายพันธุ์ พื้นเมืองเบอร์ 1 พื้นเมืองเบอร์ 2 เพชรชมพู สีดา และอีเป๋อ พบว่ามะเขือเทศพันธุ์อีเป๋อมีปริมาณไลโคปินสูงสุด 67.61 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักมาตรฐานแห้ง

(จารุวรรณ และสุดารัตน์,2554) ศึกษาเปรียบเทียบแคปไซซินอยด์และดัชนีความเผ็ดในพริกตามระยะการสุกแก่ของผล โดยเปรียบเทียบกับพริก 5 สายพันธุ์ ได้แก่ พริงพันธุ์หัวเรือ พันธุ์ทองคำ พันธุ์ซุปเปอร์ฮอท พันธุ์พริกช่อ และพันธุ์จินดา โดยใช้การสกัดวิธี Solvent extraction พบว่าพริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอทมีความเผ็ดสูงที่สุดทุกระยะการสุกแก่ของพริกดิบ และพริกแคปไซซินนอยด์มากที่สุด 5.83 มิลลิกรัม ในระยะพริกดิบ โดยพันธุ์หัวเรือมีปริมาณแคปไซซินนอยด์มากที่สุด 6.23 มิลลิกรัม ในระยะพริกสุก

(สถาบันไทย-เยอรมัน, มมป) ได้พัฒนาเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไร โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวที่สภาวะเหนือวิกฤติ ซึ่งออกแบบปฏิกรณ์ขอนาด 1,000 มิลลิลิตร โดยใช้บรรจุสมุนไพรบดละเอียด และใช้แรงดันอัดที่ 150-200 bar ใช้ต้นกำลังมอเตอร์ 5 A 220 V ราคาการจำหน่ายเริ่มต้นเครื่องละ 3,000,000 บาท ภายใต้โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีด้วยกระบวนการวิศวกรรมเพื่อการสร้างสรรค์คุณค่าประจำปีงบประมาณ 2555

9.3 วัตถุประสงค์

9.3.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบในการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับระบบกวนผสมแม่เหล็ก

9.3.2 วิจัยและพัฒนาเทคนิคการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ร่วมกับระบบกวนผสมแม่เหล็ก

9.4 ขอบเขตการวิจัย

9.4.1 พัฒนาเครื่องจักรต้นแบบในการสกัดน้ำมันธรรมชาติขนาดปริมาณบรรจุมากกว่า 2,000 มิลลิลิตร

9.4.2 ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันธรรมชาติ ในเมล็ดองุ่น พริกพันธุ์ยอดสนเข็ม 80 และ มะเขือเทศพันธุ์อีเป๋อ

9.5 สมมติฐาน

9.5.1 การสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายที่สภาวะแตกต่างกันมีผลต่อปริมาณน้ำมันธรรมชาติที่สกัดได้แตกต่างกัน

9.5.1 การเพิ่มความสามารถในการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลายโดยใช้เทคนิคpressure swing มีผลต่อการเพิ่มปริมาณน้ำมันธรรมชาติที่สกัดได้

10. วิธีดำเนินการ :

การทดลองที่ 1.2 ทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับพืชโดยใช้เทคนิค Press swing extractions

สำหรับในการทดลองที 1.2 เป็นส่วนของการทดสอบเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต เพื่อ เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องสกัด เปรียบเทียบเทคนิคการสกัด และปริมาณสารสำคัญที่ได้จากการทดลอง สำหรับกระบวนการวิจัยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ทดสอบและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต
2. ศึกษากระบวนการเตรียมวัตถุดิบและขนาดอนุภาคที่นำมาใช้ในการสกัด
3. ศึกษาการสกัดน้ำมันและสารสำคัญของพืชทั้ง 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิคซอกเทค (Soxtec Extraction)
4. ศึกษาเทคนิคการการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)
5. ศึกษาเทคนิคเทคนิคการการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล) และเทคนิค Press swing extractions

อุปกรณ์และสารเคมี

1.1 ตู้อบลมร้อนลมร้อน รุ่น LC-233 B1

1.2 เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง (RADWAG รุ่น AS220.R2)

1.3 เครื่องแยกกาก (รุ่น EJE 3000 Electrolux : China)

1.4 เครื่องบดหยาบแบบค้อน (hammer mill.รุ่น HM-5 Taiwan)

1.5 เครื่องบดละเอียดแบบเข็ม (Pin mill.รุ่น YPT-302 Thailand)

1.6 เครื่องสกัดซอกเทค (รุ่น Soxtec system HT 1046 SERVICE Unit USA)

1.7 เครื่องวัดขนาดอนุภาค (รุ่น EFL 300, Pamalyne :USA)

1.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV-Vis Spectrometer Shimadzu UV 1800)

1.9 เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) (ยี่ห้อ Waters รุ่น Water 600E)

1.10 คอลัม HPLC ขนาด C18 (บริษัท Purospher® รุ่น STAR RP-18 endcapped (5µm)

1.11 เอทานอล (99.9 % AR grade , บริษัท RCI-Labscan)

1.12 เมทานอล (99.99 HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan)

1.13 น้ำ double DI

1.14 กรดฟอร์มิก (99.99 HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan)

1.15 สารมาตรฐานเบต้าแคโรทีน ความบริสุทธิ์ 98% (บริษัท Sigma)

1.16 สารมาตรฐานไลโคปีน ความบริสุทธิ์ 99.98 % (บริษัท Sigma)

1.17 สารมาตรฐานแคปไซซิน ความบริสุทธิ์ 99.8% (บริษัท Sigma)

1.18 สารมาตรฐานไซยานิดินส์ ความบริสุทธิ์ 99.99% (บริษัท Sigma)

1.19 สารมาตรฐานไซยานิน ความบริสุทธิ์ 99.80 % (บริษัท Sigma)

10 .1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและศึกษาขนาดอนุภาคเบื้องต้นของพืชทั้ง 3 ชนิดก่อนทำการสกัด

นำพริกยอดสนเข็ม 80 สด จากพื้นที่ปลูกศูนย์การเรียนรู้ยางชุมน้อยโมเดลชุมชนบ้านโนนติ้ว ตำบลโนนคูณ อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ 2561 โดยใช้ผลพริกที่อยู่ในระยะแก่ (160 วันหลังการเพาะปลูก รุ่น 1) มะเขือเทศสดสายพันธุ์อีเป่อ จากศูนย์การค้าผักและผลไม้ตลาดศรีเมืองทอง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ทั้งพริกและมะเขือเทศต้องมีสีแดงสุกทั่วทั้งผลและไม่มีร่องรอยการบอบช้ำหรือเน่าเสีย และองุ่นสายพันธุ์ชิลีจาก ศูนย์การค้า แม็คโคร อำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น นำมาแช่ด้วย Potassium Permanganate ในอัตราส่วนต่อน้ำ 1 mg: 5 L เพื่อสลายสารพิษตกค้าง จากนั้นล้างผ่านด้วยน้ำสะอาดและผึ่งวัตถุดิบให้สะเด็ดน้ำ สำหรับพริกนำก้านขั้วพริกออก มะเขือเทศแยกน้ำมะเขือเทศออกด้วยเครื่องแยกกาก (รุ่น EJE 3000 Electrolux : China) เพื่อลดขนาดและความชื้นเบื้องต้นก่อนการทำแห้ง องุ่นทำการแยกเมล็ดออกจากผล จากนั้นนำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด เข้าตู้อบลมร้อนลมร้อน รุ่น LC-233 B1 อุณหภูมิในการทำแห้งอยู่ที่ 55±2 ° C จนระดับความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10-11 % dw (ดัดแปลงวิธี จาก Santos et al., 2015) บดวัตถุดิบแห้งด้วยเครื่องบดหยาบแบบค้อน (hammer mill.รุ่น HM-5 Taiwan) ให้มีขนาดเล็กลงและทำการบดซ้ำด้วยเครื่องบดละเอียดแบบเข็ม (Pin mill.รุ่น YPT-302 Thailand) ผ่านขนาด

ตะแกรง 50 Mesh จะได้วัตถุดิบพริกในรูปแบบผงเก็บตัวอย่างในถุงอลูมิเนียมฟอยด์เพื่อรอการสกัดและวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

สำหรับการศึกษาขนาดอนุภาคเบื้องต้นของพืชทั้ง 3 ชนิด นำ พริกผงแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงอุ่นจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ มาทำการชั่งน้ำหนัก 150±1 g ใส่ลงใน เครื่องวัดขนาดอนุภาค (รุ่น EFL 300, Pamalyne :USA) โดยใช้ตะแกรงในการทดลองขนาด 30, 40, 70 ,100 , 140 mesh วิเคราะห์ขนาดของอนุภาคผงพริกที่นำมาสกัด (ASTM C136)

10.2 ศึกษาการสกัดน้ำมันของพืชทั้ง 3 ชนิด ด้วยเทคนิคซอกเทค (Soxtec Extraction)

ชั่งตัวอย่างผงพริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดอุ่น ที่ต้องการสกัด 2±0.1 g ในกระดาษกรองและใส่ลงในเครื่องสกัดซอกเทค (รุ่น Soxtec system HT 1046 SERVICE Unit USA) (เตรียม 5 ชุด) ใช้เอทานอล 99.9% (Analytical Reagent grade, AR) เป็นตัวทำละลายปริมาณ 20 ml ต่อชุดสกัด ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ ด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง (RADWAG รุ่น AS220.R2) และเก็บน้ำมันที่สกัดได้ ในขวดสีชาเก็บรักษาไว้อุณหภูมิ -18 ºC เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป (Aguiar et al., 2014)

10.3 ศึกษาเทคนิคการการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)

สำหรับในขั้นตอนนี้ จะแบ่งการสกัดออกเป็น 4 ส่วน ปัจจัยควบคุมสภาวะการทดลองคือ ใช้วัตถุดิบ (ผงพริก ผงมะเขือเทศ ผงเมล็ดองุ่น) 10±1 g บรรจุลงในถุงกรองชา อุณหภูมิในการสกัด 40±3 ° C

1. เทคนิคการสกัดโดยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว สภาวะในการสกัด ความดันที่ 15 MPa ระยะเวลาในการสกัด 180 นาที ใช้ผงพริกในการสกัด
2. เทคนิคการสกัดโดยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอลโดยใช้สภาวะการสกัด ที่ความดัน 8 MPa (ช่วง near critical) ระยะเวลาในการสกัด 180 นาที ปริมาณเอทานอล 40 ml. ใช้ผงพริกในการสกัด
3. เทคนิคการสกัดโดยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตเป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอลโดยการวางแผนการทดลองแบบ การวางแผนทดลองแบบ Box-Behnken (15 Run Order) แสดงดังตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2 ใช้ผงพริกและผงมะเขือเทศในการสกัด
4. เทคนิคการสกัดโดยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตเป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอลโดยใช้สภาวะจากการทดลองที่ 3 คือ ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลาในการสกัด 60 นาที ในผงมะเขือเทศ และ ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลาในการสกัด 90 นาที ในนผงเมล็ดองุ่น

ระบบการอัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีสถานะเป็นของเหลวที่ความบริสุทธิ์ 99.8% (Food grade) โดยจะใช้ปั๊มอัดคาร์บอนไดออกไซด์ (รุ่น 3RC SERIES CO2 ASPIRATOR-PUMP) ข้อจำกัดของปั๊มการอัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าต้องมีสถานะเป็นของเหลว (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

ตารางที่ 3-1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองสกัดสารแคปไซซินอยด์จากพริกยอดสนเข็ม 80 และไลโคปีนจากมะเขือเทศพันธุ์อีเป่อ ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย

ปัจจัย	หน่วย	ระดับปัจจัย		
		-1	0	1
ความดัน (P)	MPa	10	15	20
เวลา (t)	min	30	60	90
อัตราส่วนวัตถุดิบต่อเอทานอล (RM:EtOH)	g:ml	1:1	1:2.5	1:4

-1 = หมายถึง ระดับของปัจจัยระดับต่ำ

0 = หมายถึง ระดับของปัจจัยระดับกลาง

1 = หมายถึง ระดับของปัจจัยระดับสูง

ตารางที่ 3-2 จำนวนชุดการทดลองและสภาวะการสกัดด้วยวิธีคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตร่วมกับตัวทำละลาย

Treatment	Code X_1	Pressure (MPa) X_1	Code X_2	Time (min) X_2	Code X_3	Ethanol (ml) X_3
1	-1	10	-1	30	0	1:2.5
2	-1	10	+1	90	0	1:2.5
3	+1	20	-1	30	0	1:2.5
4	+1	20	+1	90	0	1:2.5
5	-1	10	0	60	-1	1:1
6	-1	10	0	60	+1	1:4
7	+1	20	0	60	-1	1:1
8	+1	20	0	60	+1	1:4
9	0	15	-1	30	-1	1:1
10	0	15	-1	30	+1	1:4
11	0	15	+1	90	-1	1:1
12	0	15	+1	90	+1	1:4
13	0	15	0	60	0	1:2.5
14	0	15	0	60	0	1:2.5
15	0	15	0	60	0	1:2.5

10.4 ศึกษาเทคนิคการการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือ วิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล) โดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions

สำหรับเทคนิคการสกัดสารสารจากพืชทั้ง 3 ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล) โดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions เป็นการนำเทคนิค Pressure swing หรือการสลับความดันเข้ามาเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัด ให้ได้ปริมาณสารที่ต้องการเพิ่มขึ้น โดยในการทดลองออกแบบการ Pressure swing ปัจจัยควบคุมในการทดลองคือ วัตถุดิบ (ผงพริก ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดองุ่น) 10±1 g บรรจุลงในถุงกรองชา อุณหภูมิในการสกัด 40±3 ° C และรอบ Pressure swing 3 รอบ ซึ่งพืชแต่ละชนิดใช้ระยะเวลา Pressure swing ในแต่ละรอบที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. การสกัดสารแคปไซซินจากผงพริก ความดัน 15 MPa ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยแบ่งรอบการ swing ความดันออกเป็น 3 รอบ คือที่เวลา 15 ,30 และ 45 นาที โดยจะลดความดันจาก 15 MPa จนถึงความดันบรรยากาศ เก็บตัวอย่างการสกัดแต่ละรอบการสกัดในขวด และเพิ่มปริมาณเอทานอลรอบละ 25 ml

2. การสกัดสารไลโคปีนจากผงมะเขือเทศ ความดัน 20 MPa ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยแบ่งรอบการ swing ความดันออกเป็น 3 รอบ คือที่เวลา 15 ,30 และ 45 นาที โดยจะลดความดันจาก 20 MPa จนถึงความดันบรรยากาศเก็บตัวอย่างการสกัดแต่ละรอบการสกัดในขวด และเพิ่มปริมาณเอทานอลรอบละ 40 ml

3. การสกัดสารโปรแอนโทไซยานิดินส์จากผงเมล็ดองุ่น ความดัน 20 MPa โดยแบ่งรอบการ swing ความดันออกเป็น 3 รอบ คือที่เวลา 23 , 45 และ 68 นาที โดยจะลดความดันจาก 20 MPa จนถึงความดันบรรยากาศเก็บตัวอย่างการสกัดแต่ละรอบการสกัดในขวด และเพิ่มปริมาณเอทานอลรอบละ 40 ml

10.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันจาก พริก มะเขือเทศ และเมล็ดองุ่น จากการสกัดด้วยวิธีซอกเทค และการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย จากการสกัดแต่ละสภาวะจะถูกรวบรวมและนำไประเหยเอทานอลเพื่อนำตัวทำละลายออก ด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศจนเหลือแต่น้ำมัน จากนั้นบันทึกน้ำหนักของน้ำมันหลังการระเหย ปริมาณสารสกัดรายงานผลเป็น g / 100 g dw (Sricharoen *et al*., 2017) แสดงสมการที่ 1

$$\% \text{ น้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังการระเหย}}{\text{น้ำหนักพริกที่ใช้ในการสกัด}} \times 100 \qquad (1)$$

10.6 การวิเคราะห์ปริมาณสารแคปไซซินด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารแคปไซซินในพริกด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Waters รุ่น Water 600E โดยวิเคราะห์แบบ isocratic elution เป็นการใช้สัดส่วน Mobile phase คงที่ตลอดการวิเคราะห์โดยจะใช้ Mobile phase ชนิดผสมกันและ ใช้คอลัมน์ C18 (บริษัท Purospher® รุ่น STAR RP-18 endcapped (5µm) LiChroCART® 250-4.6) จับสัญญาณด้วยยูวี-เวิส ดีเทคเตอร์ (UV-Vis detector) ความยาวคลื่น 280 nm โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็น เมทานอล (HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan) และน้ำ double DI อัตราส่วน 80 :20 อัตราการไหล 1 ml/ml อุณหภูมิ 30 ° C ฉีดตัวอย่าง 10 µl สร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้แคปไซซินบริสุทธิ์ (บริษัท Sigma) เป็นสารมาตรฐาน ปรับความเข้มข้นที่ 0.2 , 0.4, 0.6, 0.8 1.0 mg/ml ด้วยเอทานอล เพื่อคำนวณหาปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ (ดัดแปลงจาก Sricharoen. *et al*., 2017)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารไลโคปีนในมะเขือเทศด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารไลดคปีน วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Waters รุ่น Water 600E โดยวิเคราะห์แบบ isocratic elution เป็นการใช้สัดส่วน Mobile phase คงที่ตลอดการวิเคราะห์โดยจะใช้ Mobile phase ชนิดผสมกันและ ใช้คอลัมน์ C18 (บริษัท Purospher® รุ่น STAR RP-18 endcapped (5µm) LiChroCART® 250-4.6) จับสัญญาณด้วยยูวี-เวิส ดีเทคเตอร์ (UV-Vis detector) ความยาวคลื่น 470 nm โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็น อะซิโตไนไตรและ ไดคลอโรมีเทน (HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan) อัตราส่วน 75 :25 อัตราการไหล 1.5 ml/ml อุณหภูมิ 30 ° C ฉีดตัวอย่าง 20 µl สร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้ไลโคปีนบริสุทธิ์ (บริษัท Sigma) เป็นสารมาตรฐาน ปรับความเข้มข้นที่ 0.2 , 0.4, 0.6, 0.8 1.0 mg/ml ด้วยอะซิโตไนไตร เพื่อคำนวณหาปริมาณสารไลโคปีนที่สกัดได้ (ดัดแปลงจาก Kehili *et al*., 2017)

การวิเคราะห์หาปริมาณสารโปรแอนโทไซยานิดินส์ในเมล็ดองุ่นด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Waters รุ่น Water 600E โดยวิเคราะห์แบบ isocratic elution เป็นการใช้สัดส่วน Mobile phase คงที่ตลอดการวิเคราะห์โดยจะใช้ Mobile phase ชนิดผสมกันและ ใช้คอลัมน์ C18 (บริษัท Purospher® รุ่น STAR RP-18 endcapped (5µm) LiChroCART® 250-4.6) จับสัญญาณด้วยยูวี-เวิส ดีเทคเตอร์ (UV-Vis detector) ความยาวคลื่น 520 nm โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็น เมทานอล (HPLC grade, บริษัท RCI-Labscan) และน้ำ double DI ผสมกรดฟอร์มิก 5% อัตราส่วน 75 :25 อัตราการไหล 1 ml/ml อุณหภูมิ 30 ° C ฉีดตัวอย่าง 20 µl สร้างกราฟมาตรฐาน โดยใช้สารแอนโทไซยานิ

ดินส์บริสุทธิ์ 99.9% (บริษัท Sigma) เป็นสารมาตรฐาน ปรับความเข้มข้นที่ 0.2 , 0.4, 0.6, 0.8 1.0 mg/ml ด้วยเอทานอล เพื่อคำนวณหาปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ (ดัดแปลงจาก Natolino *et al*., 2016)

10.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวางแผนทดลองแบบ Box-Behnken (15 Run Order) โดยมีปัจจัยศึกษา 3 ปัจจัยคือ ความดัน (10,15,20 MPa) ปริมาณเอทานอล (10,25,40 ml) และระยะเวลาในการสกัด (30 ,60, 90 min) และกำหนดให้วิธีการสกัดแบบซอกเทค เป็นชุดควบคุม ทำการทดลอง 3 ซ้ำค่าสังเกตนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance) แบบ one way anova เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตที่วิเคราะห์ด้วย Duncan' s Multiple Rang Test (DRMT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics (Version 19.0)

10.8 ศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้ Supercritical carbon dioxide ในการสกัดน้ำมัน

1.3.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

1.3.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR)

1.3.3 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point Analysis: BEP)

1.3.4 อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C)

11. ผลการทดลองและวิจารณ์

11.1 ผลทดสอบและพัฒนาเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตกับพืชโดยใช้เทคนิค Press swing extractions

11.1.1 ผลทดสอบข้อมูลการทำงานของเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันธรรมชาติจากพืชด้วยพืชด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

การทดลองการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลในการสกัดพริกพันธุ์ยอดสนเข็ม 80 ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในการสกัดความดันและอุณหภูมิของระบบการทำความเย็น แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-3

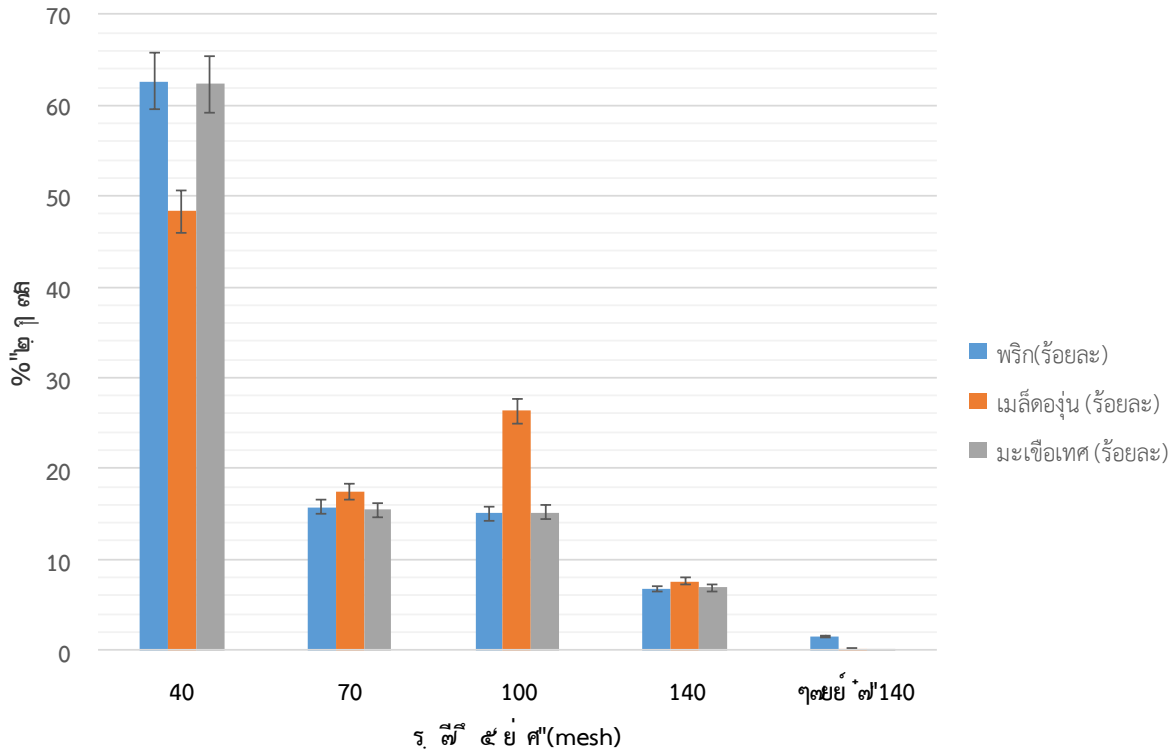
ตารางที่ 4-3 ข้อมูลการทำงานของเครื่องสกัดองค์ประกอบน้ำมันด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตจากสภาวะการสกัดที่แตกต่างกัน

Pressure : EtOH : time	อุณหภูมิระบบสกัด (° C)		
	ถังสกัด 1	ถังสกัด 2	Cooling system
10:25:30	36.7 ± 0.29	40.7 ± 0.42	5.9
10:10:60	38.9 ± 2.19	37.6 ± 0.98	4.3
10:40:60	38.2 ± 5.03	36.7 ± 0.43	6.4
10:25:90	36.8 ± 4.02	35.2 ± 0.50	5.6
15:10: 30	41.8 ± 3.25	37.2 ± 0.22	5.8
15:40:30	37.2 ± 0.77	39.9 ± 1.84	5.4
15:25:60	38.7 ± 0.97	36.6 ± 1.23	5.4
15:10:90	35.7 ± 1.22	34.7 ± 0.69	5.4
15:40:90	36.7 ± 0.64	34.8 ± 0.64	5.4

20:25:30	37.8 ± 0.43	38.1 ± 1.45	5.4
20:10:60	39.8 ± 2.68	37.8 ± 1.41	5.4
20:40:60	37.5 ± 0.79	38.8 ± 2.09	5.4
20:25:90	36.6 ± 1.35	35.1 ± 0.40	5.4

สำหรับอุณหภูมิของการสกัดในระบบของถังสกัดที่ 1 อยู่ในช่วง 36.6 -41.8 องศาเซลเซียส ในถังสกัดที่ 2 อยู่ในช่วง 34.7 40.7 องศาเซลเซียส จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการสกัดอยู่ในช่วงคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ ซึ่งสูงกว่า 7.3 MPa อุณหภูมิสูงกว่า 31 องศาเซลเซียส ในทุกสภาวะการสกัด และอุณหภูมิของระบบทำความเย็น ของคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าสู่ระบบมีอุณหภูมิอยู่ที่ 4.3 – 5.9 องศาเซลเซียส

11.1.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค พริก มะเขือเทศ เมล็ดองุ่น



จากการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคพริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดองุ่น ที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดละเอียดแบบเข็มผ่านตะแกรงขนาด 30, 40, 70, 100 และ 140 mesh ตามลำดับ พบว่าขนาดอนุภาคผงพริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดองุ่นส่วนใหญ่ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh ร้อยละ 62.63 , 48.29, 62.36 ตามลำดับ ไม่ผ่านตะแกรง 70 mesh ร้อยละ 15.69 , 17.50, 15.46 ตามลำดับ ไม่ผ่านตะแกรง 100 mesh ร้อยละ 15.07, 26.29, 15.19 ตามลำดับ ไม่ผ่านตะแกรง 140 mesh ร้อยละ 6.76, 7.55, 6.85 ตามลำดับ และที่เหลือร้อยละ 1.51 , 0.11, 0.03 ตามลำดับ ซึ่งอนุภาคของผงพริกที่ใช้ในการสกัดส่วนใหญ่จะมีขนาดอนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงในช่วง 40-100 mesh (0.15 - 0.40 mm) พริกแห้งผง ร้อยละ 93.39 มะเขือเทศแห้งผงร้อยละ 92.08 เมล็ดองุ่นแห้งผงร้อยละ 93.01 ซึ่งรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4-36 โดยขนาดของอนุภาคเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการสกัด Richard (1982) ได้ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของผงถั่วเหลืองต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดพบว่าขนาดอนุภาคถั่วเหลืองที่มีขนาดเล็กลงทำให้น้ำมันที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการลดขนาดอนุภาคเป็นการลดระยะทางในการแพร่ของตัวทำละลายทำให้ความสามารถในการสกัดสูงขึ้น Santos *et al.* (2015) ศึกษาอนุภาคของผงพริกในการสกัดสารแคปไซซินด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตพบว่าผงพริกที่มีขนาด 0.177- 0.342 mm มีผลเพิ่มปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ในพริก

11.1.3 ผลการศึกษาเทคนิคการการสกัดสารจากพืช 3 ชนิด (พริก มะเขือเทศ องุ่น) ด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)

ตารางที่ 4-4 แสดงผลปริมาณน้ำมันพริก (%) และปริมาณสารแคปไซซิน (mg/100 g dw) ด้วยเทคนิคการสกัดคาร์บอนไดออกไซดเหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)

Pressure : EtOH : time	% น้ำมันพริก	Capsaicin (mg/100 g dw)
10:25:30	5.16 ± 0.25^{h}	11.899 ± 0.38^{cd}
10:10:60	5.58 ± 0.26^{gh}	9.086 ± 0.64^{f}

10:40:60	18.26 ± 0.18 b	13.504 ± 1.04 b
10:25:90	13.87 ± 0.73 d	13.228 ± 0.53 bc
15:10: 30	6.00 ± 0.13 gh	10.228 ± 1.02 ef
15:40:30	9.41 ± 0.17 e	17.939 ± 0.93 a
15:25:60	8.33 ± 0.35 ef	19.599 ± 0.87 a
15:10:90	7.82 ± 0.22 f	11.173 ± 0.63 de
15:40:90	20.32 ± 0.46 a	13.736 ± 0.56 bc
20:25:30	9.16 ± 0.31 e	17.809 ± 0.80 a
20:10:60	6.57 ± 0.08 g	12.265 ± 0.48 cd
20:40:60	18.52 ± 0.44 b	18.422± 0.50 a
20:25:90	16.73 ± 0.39 c	17.092 1.16 a

*สภาวะการสกัด Pressure: EtOH : time (MPa : ml: min)

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

ปริมาณน้ำมันพริก (% Oleoresin) ที่สกัดได้ของพริกยอดสนเข็ม 80 จากการสกัดทั้ง 15 สภาวะ (สภาวะกึ่งกลางทำซ้ำ 3 จุด รายงานผล 13 สภาวะ) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 5.16 - 20.3 ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 15 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 90 นาที ดัง ตารางที่ 4-4 และจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเอทานอลในการสกัดร่วมจะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงเกือบทุกสภาวะที่ความดันเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการสกัดปริมาณน้ำมันของพริกพันธุ์เดียวกันด้วยวิธีเทคนิคอัลตร้าโซนิคร่วมกับเมธานอลและน้ำสามารถสกัดปริมาณน้ำมันได้ร้อยละ 28.03 (Sricharoen et al., 2017) ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าเทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลจากทุกเงื่อนไขการทดลอง

ปริมาณการสกัดสารแคปไซซินของพริกแห้งผง จากพริกยอดสนเข็ม 80 โดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอล โดยที่ปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้จากการทดลอง 15 สภาวะ (สภาวะกึ่งกลางทำซ้ำ 3 จุด รายงานผล 13 สภาวะ) จากการวิเคราะห์สถิติพบว่าปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อปริมาณแคปไซซิน ได้แก่เมื่อเพิ่มความดันและปริมาณเอทานอลจะสามารถสกัดปริมาณแคปไซซินได้สูงขึ้น ในส่วนของอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อปริมาณแคปไซซิน (Interaction Effects) เมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลสามารถลดระยะเวลาในการสกัดให้สั้นลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan, s Multiple Range Test (DMRT) ของปริมาณแคปไซซินในพริก ระหว่างปัจจัย ความดัน เอทานอล และ

เวลา พบว่า เมื่อสภาวะเหมาะสมในการสกัดที่ใช้ความดันที่ 10 MPa มีความแตกต่างทางสถิติกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับความดัน 15 MPa และ 20 MPa โดยที่ความดัน 15 MPa กับ 20 MPa มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารแคปไซซิน คือ การใช้เอทานอล 25 ml ความดัน 15 MPa และใช้ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยผลการสกัดสารแคปไซซินทั้งหมดอยู่ในช่วง 9.0863 - 19.5999 mg/100 g dw แสดง ตารางที่ 4-4 และเมื่อเปรียบเทียบเทคนิคซอกเทคเป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารแคปไซซินได้ 25.702 mg/100 g dw ใช้เวลา 3 ชั่วโมงเพราะฉะนั้นการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลมีความสามารถในการสกัดที่ให้แคปไซซินสูงสุดร้อยละ 76.26 อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบการสกัดพริกยอดสนเข็ม 80 จากการทดลองของ Sricharoen et al. (2017) พบว่ามีปริมาณแคปไซซินที่ 18.26 mg/100 g dw ซึ่งความสามารถในการสกัดมีค่าใกล้เคียงกับการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลที่ความดัน 15 MPa, เอทานอล 25 ml ซึ่งเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลใช้เวลาเพียง 60 นาที โดยลักษณะของน้ำมันพริกที่สกัดได้ แสดงดังภาพที่ 4-37

ภาพที่ 4-37 แสดงลักษณะของน้ำมันพริกในตัวทำละลายเอทานอลที่สกัดได้จากเครื่องสกัด

ตารางที่ 4-5 การเปรียบเทียบปริมาณสารแคปไซซินจากเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกัน

เทคการสกัด	แคปไซซิน

	(mg/100 g dw)
ซอกเทค (Control)	25.702 ± 0.666[a]
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ	4.010 ± 0.409[d]
คาร์บอนไดออกไซด์ก่อนวิกฤติร่วมกับเอทานอล	12.810 ± 0.633[c]
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล*	19.599 ± 0.870[b]
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions	24.570 ± 0.819[a]

*.ใช้สภาวะการสกัด ที่ ความดัน 15 MPa เอทานอล 25 ml เวลา 60 นาที

** ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

ตารางที่ 4-6 แสดงผลปริมาณน้ำมันมะเขือเทศสารไลโคปีน (mg/100 g dw) ด้วยเทคนิคการสกัดคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลาย (เอทานอล)

Pressure : EtOH : time	% น้ำมันมะเขือเทศ	ไลโคปีน (mg/100 g dw)
10:25:30	4.28 ± 0.15[f]	1.588 ± 0.027 [fg]
10:10:60	3.04 ± 0.23[h]	1.097 ±0.021[g]
10:40:60	4.56 ± 0.12 [ef]	1.481 ±0.043 [fg]
10:25:90	4.77 ± 0.43[ef]	1.390 ±0.049 [fg]
15:10: 30	3.68 ± 0.43[g]	1.220 ±0.047 [g]
15:40:30	9.41 ± 0.25 [b]	3.982 ±0.024 [e]
15:25:60	5.03 ± 0.85 [d]	2.666 ±0.073 [f]
15:10:90	4.42 ± 0.52[ef]	1.689 ±0.051 [fg]
15:40:90	13.52 ± 0.76[a]	12.330 ±0.155 [b]
20:25:30	9.16 ± 0.31[b]	9.182 ±0.175 [d]
20:10:60	6.57 ± 0.68[c]	8.023 ±0.228 [d]
20:40:60	14.02 ± 0.54[a]	14.467 ±0.133 [a]
20:25:90	10.13 ± 0.59[b]	10.980 ±0.163 [c]

*สภาวะการสกัด Pressure: EtOH : time (MPa : ml: min)

** ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

ปริมาณน้ำมันมะเขือเทศ ที่สกัดได้ของมะเขือเทศพันธุ์อีเป้อ จากการสกัดทั้ง 15 สภาวะ (สภาวะกึ่งกลางทำซ้ำ 3 จุด รายงานผล 13 สภาวะ) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 3.04-14.02 ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 20 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที ดัง ตารางที่ 4.4 และจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเอทานอลและความดันที่เพิ่มขึ้นในการสกัดจะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงเกือบทุกสภาวะที่ความดันเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการสกัดปริมาณน้ำมันมะเขือเทศที่สกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตแบบไหลผ่านโดยใช้ความดันที่ 50 MPa.ใช้เวลาสกัดนาน 105 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสร้อยละ 32.02 (Kehili et al., 2017) ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าเทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลจากเงื่อนไขการทดลอง

ปริมาณการสกัดสารไลโคปีนในผงมะเขือเทศสายพันธุ์อีเป้อ โดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอล โดยที่ปริมาณสารไลโคปีนที่สกัดได้จากการทดลอง 15 สภาวะ (สภาวะกึ่งกลางทำซ้ำ 3 จุด รายงานผล 13 สภาวะ) จากการวิเคราะห์สถิติปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อปริมาณไลโคปีน เมื่อเพิ่มความ เอทานอล และ เวลา สารไลโคปีนที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ของปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยพบว่า การใช้ ความดันที่ 20 MPa เอทานอลที่ 40 ml และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที จะมีความสามารถในการสกัดสารไลโคปีนออกมาในปริมาณสูงมีค่า 14.467 mg/100 g dw และการใช้ความดันที่ 20 MPa ขึ้นไป สารกลุ่มไลโคปีนที่สกัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในทุกสภาวะการสกัด เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการแช่ร่วมกับเอนไซม์เป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารไลโคปีนได้ 67.610 mg/100 g dw และเมื่อเปรียบเทียบการสกัดมะเขือเทศด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลมีความสามารถในการสกัดร้อยละ 21.39 และเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 25.31 จากการทดลองของ Kehili *et al*. (2017) พบว่ามีปริมาณไลโคปีนอยู่ที่ 28.38 mg/100 g dw ซึ่งความสามารถในการสกัดมีสูงกว่าการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายทีความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml, เวลา 60 นาที เนื่องจากความดันที่ใช้ในสูงถึง 40 MPa และใช้เทคนิคแบบตัวทำละลายเอทานอลไหลผ่าน

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบปริมาณสารแคปไซซินจากเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกัน

เทคการสกัด	**ไลโคปีน**** **(mg/100 g dw)**
การแช่ร่วมกับเอนไซม์ (Control)	67.610 ± 0.782 [a]

(อ้างอิงจากกานดาวดี และจิรภา, 2556)	
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล*	14.467 ± 0.890 [c]
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions	17.114 ± 0.819 [b]

*.ใช้สภาวะการสกัด ที่ ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 60 นาที

** ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

ปริมาณการสกัดสารไลโคปีนของผงมะเขือเทศสายพันธุ์อีเป้อ โดยเปรียบเทียบเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกันพบว่า การสกัดทั้ง 3 เทคนิค มีปริมาณสารไลโคปีนแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยเทคนิคที่ให้ปริมาณแคปไซซินสูงสุดคือ เทคนิคการแช่ (67.61 mg/100 g dw) เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions (17.114 mg/100 g dw) คาร์บอนไดออกไซด์**เหนือวิกฤติ**ร่วมกับเอทานอล (14.467 mg/100 g dw) แสดงดัง ตารางที่ 4-7 เมื่อเปรียบเทียบ ความสามารถในการสกัดของเทคนิคการสกัดสารไลโคปีน โดยให้เทคนิคการแช่ร่วมกับเอนไซม์ (Control) มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 100 พบว่าเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 25.32 ปริมาณเทคนิคการสกัดที่ให้ปริมาณไลโคปีนสูงสุด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการนำเทคนิค Pressure swing extractions เข้ามาเพิ่มความสามารถในการสกัดทำให้สามารถสกัดสารไลโคปีนได้เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 3.93 เมื่อใช้เพียงเอทานอลเป็นตัวทำละลายร่วมเพียงอย่างเดียว

ภาพที่ 4-38 แสดงลักษณะของน้ำมันมะเขือเทศในตัวทำละลายเอทานอลที่สกัดได้จากเครื่องสกัด

ตารางที่ 4-8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานิดินส์จากผงเมล็ดองุ่น

เทคนิคการสกัด	**% น้ำมันเมล็ดองุ่น**	**โพรแอนโทไซยานิดินส์**** **(mg/100 g dw)**

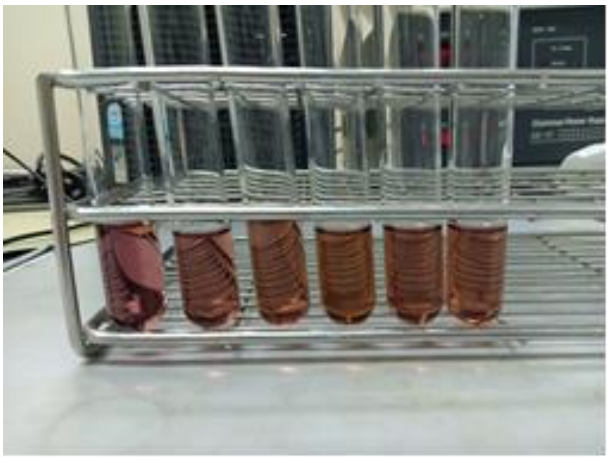
การแช่ (Control) (อ้างอิงจาก Liazid et al. 2011)	6.61 ± 0.13[c]	3.590 ± 0.300 [c]
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล*	9.32 ± 0.86[b]	6.202 ± 0.416 [b]
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions	13.45 ±0.48[a]	15.661 ± 1.037 [a]

*.ใช้สภาวะการสกัด ที่ ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 90 นาที

** ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

ปริมาณน้ำมันเมล็ดองุ่น ที่สกัดได้ของเมล็ดองุ่นพันธุ์ชิลีจากสภาวะการสกัดที่ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 90 นาที ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดอยู่ที่ร้อยละ 9.32 และการนำเทคนิค Pressure swing extractions เข้ามาร่วมในการสกัดจะสามารถให้ปริมาณน้ำมันอยู่ที่ร้อยละ 13.45 ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นร้อย 4.13 และเทคนิคการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล ยังให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าเทคนิคการสกัดแบบวิธีการแช่อีกด้วย

ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานิดินส์ ของผงเมล็ดองุ่น เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกัน 3 เทคนิค พบว่าปริมาณสารโพรแอนโทไซยานิดินส์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินส์สูงสุด (15.661 mg/100 g dw) เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล (6.202 mg/100 g dw) และเทคนิคการแช่ (3.590 mg/100 g dw) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสกัดสารแอนโทไซยานิดินส์ โดยใช้วิธีการแช่ (Control) มีความสามรถในการสกัดร้อยละ 100 พบว่าเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions ให้ความสามารถในการสกัดสูงกว่า Control ถึง 3.36 เท่า จากการทดลองของ Porto at al.(2014) ศึกษาปริมาณสารโพรแอนโทไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่นโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายผสมเอทานอลและน้ำที่ความดัน 30 MPa.แบบไหลผ่านนาน 180 นาที ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานิดินส์ 14 mg/100 g dw ใกล้เคียงกับการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions



ภาพที่ 4-39 แสดงลักษณะของน้ำมันเมล็ดองุ่นในตัวทำละลายเอทานอลที่สกัดได้จากเครื่องสกัด

11.1.4 ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้ Supercritical carbon dioxide ในการสกัดน้ำมัน

กรณีใช้สารสกัดแคปไซซินเพื่อผลิตในอุตสาหกรรมยาสูตรการหาปริมาณการผลิตและขายที่จะคุ้มทุนที่ใช้ในการคำนาณ

สูตร Q_x=TFC/(P-VC)

โดยที่ Q_x = ปริมาณขาย ณ ระดับคุ้มทุน

TFC = ต้นทุนคงที่รวม

P = ราคาขายต่อหน่วย

VC = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย = TVC/Q

TFC = ต้นทุนคงที่รวม ราคาเครื่องจักรในการสกัดสาระสำคัญจากพริก 2,000,000 บาทต่อเครื่องอายุการใช้งาน 10 ปี

โดยที่ 1 ปี ทำงาน 241 วัน เพราะฉะนั้น 830 บาทต่อวัน

VC = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

1. การสกัดสารในถังสกัดขนาด 10 ลิตร ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลว 20 กิโลกรัม ราคา 1500 บาท 1 วันสกัดสาร 5 รอบ เพราะฉะนั้น 7,500 บาทต่อวัน

2. ราคาพริกสดยอดสนเข็ม 80 ราคา 150 บาทต่อกิโลกรัม, 1 กิโลกรัมสดเท่ากับ 300 กรัมแห้ง เพราะฉะนั้นการสกัดถัง 10 ลิตร ใช้พริก 500 กรัมแห้ง ราคา 250 บาท 1 วันสกัดสาร 5 รอบ เพราะฉะนั้น 1,250 บาทต่อวัน

3. เอทานอล 1.25 ลิตร ราคา 4,000 บาท ต้นทุนเอทานอล 800 บาท 1 วันสกัดสาร 5 รอบ เพราะฉะนั้น 4,000 บาทต่อวัน

รวมต้นทุนแปรผันต่อ 12,750 บาทต่อวัน

หมายเหตุ: ราคาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลวถังขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร (20 กิโลกรัม)

เอทานอลสามารถนำมากลั่นแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ 80% สารที่สกัดได้จากพริกยอดสนเข็ม 80 0.5 กิโลกรัม ได้สารสกัดแคปไซซิน 1133.6 มิลลิกรัม น้ำมันพริก 41.95 กรัม ถ้า 1 วันสามารถสกัดสารได้ 5 รอบๆ ละ 90 นาที เพราะฉะนั้น 1 วัน สกัดสารได้ 5,668 มิลลิกรัม หรือ 209.75 กรัม

ถ้าใช้สารสกัดแคปไซซิน 25 มิลลิกรัม ในยา 100 กรัมตัวอย่างเพราะฉะนั้นสามารถผลิตยาได้ 226.72(100/35)= 647.78 หลอด (หลอดละ 35 กรัม)

ยาที่ใช้สารสกัดแคปไซซิน หลอดละ 35 กรัม ราคา 175 บาท

ต้นทุนการผลิตรวมต่อวัน = ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนแปรผัน

= 830 + 12,750 = 13,580 บาทต่อวัน

เพราะฉะนั้นต้นทุนต่อหลอด 13,580/647.78 = 20.96 บาทต่อหลอด

หรือ คิดปริมาณสารที่สกัดได้ 13,580/5,668 = 2.396 บาทต่อมิลลิกรัม

ถ้าพิจารณาต้นทุนสารสกัดแคปไซซินในการผลิตยา 20 % มูลค่า 35 บาทต่อหลอด

จากสูตร Q_x=TFC/(P-VC) = 2,000,000/(35-20.96)=142,450 หลอด

ระยะเวลาคืนทุน 142,450/647.78 =219.905 วัน หรือระยะเวลา 1 ปีคืนทุน

12.สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ : การสกัดสารสำคัญของผงพริกแห้ง ผงมะเขือเทศ และผงเมล็ดองุ่นส่วนใหญ่ผ่านตะแกรงขนาด 30 และไม่ผ่านตะแกรงขนาด 40 mesh ซึ่งผลของอนุภาคจะส่งผลต่อการสกัดดัง Santos et al. (2015) ศึกษาอนุภาคของผงพริกในการสกัดสารแคปไซซินด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตพบว่าผงพริกที่มีขนาด 0.177- 0.342 mm มีผลเพิ่มปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้ในพริก การสกัดพริกพันธุ์ยอดสนเข็ม 80 ได้ปริมาณน้ำมันพริก (% Oleoresin) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 5.16 - 20.3 ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 15 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 90 นาที และปริมาณเอทานอลในการสกัดร่วมจะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงเกือบทุกสภาวะที่ความดันเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบการสกัดปริมาณน้ำมันของพริกพันธุ์เดียวกันด้วยวิธีเทคนิคอัลตร้าโซนิคร่วมกับเมธานอลและน้ำสามารถสกัดปริมาณน้ำมันได้ร้อยละ 28.03 (Sricharoen et al., 2017) ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าเทคนิค การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล แต่ปริมาณการสกัดสารแคปไซซินของพริกแห้งผง จากพริกยอดสนเข็ม 80 โดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอล โดยที่ปริมาณสารแคปไซซินที่สกัดได้จากการทดลอง 15 สภาวะ จากการวิเคราะห์สถิติพบว่าปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อปริมาณแคปไซซิน ได้แก่เมื่อเพิ่มความดันและปริมาณเอทานอลจะสามารถสกัดปริมาณแคปไซซินได้สูงขึ้น ในส่วนของอิทธิพลร่วมที่มีผลต่อปริมาณแคป- ไซซิน (Interaction Effects) เมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลสามารถลดระยะเวลาในการสกัดให้สั้นลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan, s Multiple Range Test (DMRT) ของปริมาณแคปไซซินในพริก ระหว่างปัจจัย ความดัน เอทานอล และ เวลา พบว่า เมื่อสภาวะเหมาะสมในการสกัดที่ใช้ความดันที่ 10 MPa มีความแตกต่างทางสถิติกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) กับความดัน 15 MPa และ 20 MPa โดยที่ความดัน 15 MPa กับ 20 MPa มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารแคปไซซิน คือ การใช้เอทานอล 25 ml ความดัน 15 MPa และใช้ระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยผลการสกัดสารแคปไซซินทั้งหมดอยู่ในช่วง 9.0863 - 19.5999 mg/100 g dw โดยเทคนิคซอกเทคเป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลสามารถสกัดสารแคปไซซินได้ 25.702 mg/100 g dw ใช้เวลา 3 ชั่วโมงเพราะฉะนั้นการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลมีประสิทธิภาพร้อยละ 76.26 แต่เมื่อเปรียบเทียบการสกัดพริกยอดสนเข็ม 80 จากการทดลองของ Sricharoen et al. (2017) พบว่ามีปริมาณแคปไซซินที่ 18.26 mg/100 g dw ซึ่งความสามารถในการสกัดมีค่าใกล้เคียงกับการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัว

ทำละลายเอทานอลที่ความดัน 15 MPa, เอทานอล 25 ml ซึ่งเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลใช้เวลาเพียง 60 นาที แต่เมื่อพัฒนาเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions 24.570 mg/100 g dw มีค่าใกล้เคียงกับเทคนิคซอกเทค

การสกัดน้ำมันมะเขือเทศ ที่สกัดได้ของมะเขือเทศพันธุ์อีเป่อ พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อยู่ในช่วงร้อยละ 3.04-14.02 ซึ่งสภาวะที่ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดคือที่ความดัน 20 MPa ปริมาณเอทานอล 40 ml ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที ดัง ซึ่งปริมาณเอทานอลและความดันที่เพิ่มขึ้นในการสกัดจะส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงเกือบทุกสภาวะที่ความดันเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบการสกัดปริมาณน้ำมันมะเขือเทศที่สกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตแบบไหลผ่านโดยใช้ความดันที่ 50 MPa. ใช้เวลาสกัดนาน 105 นาที และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสร้อยละ 32.02 (Kehili et al., 2017) ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันที่สูงกว่าเทคนิคการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล จากการวิเคราะห์สถิติปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่มีผลต่อปริมาณ ไลโคปีน เมื่อเพิ่มความ เอทานอล และ เวลาสารไลโคปีนที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น การใช้ ความดันที่ 20 MPa เอทานอลที่ 40 ml และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที จะมีความสามารถในการสกัดสารไลโคปีนออกมาในปริมาณสูงมีค่า 14.467 mg/100 g dw และการใช้ความดันที่ 20 MPa ขึ้นไป สารกลุ่มไลโคปีนที่สกัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในทุกสภาวะการสกัด เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการแช่ร่วมกับเอนไซม์เป็นสภาวะควบคุม (control) ที่ใช้ตัวทำละลาย เอทานอลสามารถสกัดสารไลโคปีนได้ 67.610 mg/100 g dw การสกัดมะเขือเทศด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลมีความสามารถในการสกัด ร้อยละ 21.39 และเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions มีความสามารถในการสกัดร้อยละ 25.31 แต่จากการทดลองของ Kehili et al. (2017) ใช้ความดันที่ใช้ในสูงถึง 40 MPa และใช้เทคนิคแบบตัวทำละลายเอทานอลไหลผ่าน พบว่ามีปริมาณไลโคปีนอยู่ที่ 28.38 mg/100 g dw เพราะฉะนั้นการสกัดสารไลโคปีนควรใช้ความดันสูง

การสกัดน้ำมันเมล็ดองุ่น ที่สกัดได้ของเมล็ดองุ่นพันธุ์ชิลีจากสภาวะการสกัดที่ความดัน 20 MPa เอทานอล 40 ml เวลา 90 นาที ให้ปริมาณน้ำมันในการสกัดอยู่ที่ร้อยละ 9.32 และการนำเทคนิค Pressure swing extractions เข้ามาร่วมในการสกัดจะสามารถให้ปริมาณน้ำมันอยู่ที่ร้อยละ 13.45 ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นร้อย 4.13 และเทคนิคการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับ เอทานอล ยังให้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าเทคนิคการสกัดแบบวิธีการแช่อีกด้วย ส่วนปริมาณสารโพรแอน-โทไซยานิดินส์ ของผงเมล็ดองุ่น เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดที่แตกต่างกัน 3 เทคนิค พบว่าปริมาณสารโพรแอนโทไซยานิดินส์แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมันร้อยละ 95 โดยการใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์

เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานินส์สูงสุด (15.661 mg/100 g dw) เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอล (6.202 mg/100 g dw) และเทคนิคการแช่ (3.590 mg/100 g dw) ตามลำดับ เมื่อเปรียบการทดลองของ Porto at al.(2014) ศึกษาปริมาณสาร โพรแอนโทไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่นโดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับตัวทำละลายผสมเอทานอลและน้ำที่ความดัน 30 MPa.แบบไหลผ่านนาน 180 นาที ให้ปริมาณสารโพรแอนโทไซยานิดินส์ 14 mg/100 g dw ใกล้เคียงกับการสกัดด้วยเทคนิคคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติร่วมกับเอทานอลโดยใช้เทคนิค Pressure swing extractions

ข้อเสนอแนะ

1. การให้ความร้อนได้รับส่งผลจากการสะสมความร้อนของถังสกัดที่มีความหนา ทำให้การควบคุมอุณหภูมิจำเป็นต้องตั้งค่าให้ต่ำกว่าค่าจริง จำเป็นต้องชดเชยสัญญาณ เพื่อให้เซ็นเซอร์สามารถสัญญาณค่าถูกต้อง

2. ส่วนในการออกแบบระบบผสมซึ่งจะนำระบบหัวอัลตัลโซนิคมาช่วยในการทำการผสม เนื่องจากทางบริษัทที่นำเข้าเทคโนโลยีผลิตหัวอัตตัลโซนิคไม่สามารถทำหัว Horn ที่สามารถปรับคลื่นความถี่ได้ จำเป็นต้องนำเข้าเทคโนโลยีหรือทำการวิจัยต่อ

3. การสกัดสารไลโคปีนควรใช้ความดันสูงกว่า 200 บาร์

12 . การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ **:** การนำผลงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์แล้วไปเผยแพร่และถ่ายทอดเทคโนโลยีในรูปแบบเอกสารวิชาการสู่กลุ่มเป้าหมาย เช่น สถาบันการศึกษา หน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ ผู้ประกอบการภาคเอกชน

13.1 นำเสนอผลการวิจัยแก่นักวิชาการ เจ้าหน้าที่ภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้อง ในการประชุมวิชาการหรือสัมมนาวิชาการของหน่วยงานต่างๆ เช่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร และสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย เป็นต้น

13.2 เผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ประชาชนทั่วไป ผ่านสื่อต่างๆ เช่น ข่าวสารกองเกษตรวิศวกรรม, วารสาร น.ส.พ.กสิกร, และวารสารอื่นๆในวงการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น

13.3 จัดแสดงนิทรรศการ สาธิต และโปสเตอร์แก่ประชาชนทั่วไป

13.4 ถ่ายทอดเทคโนโลยีและต้นแบบที่พัฒนาได้ให้กับโรงงานผู้ผลิตและผู้ที่สนใจ

12. คำขอบคุณ (ถ้ามี) : งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัยโครงการบูรณาการ ประจำปี 2559 ระยะเวลาทำการวิจัย 3 ปีทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณ คณะกรรมการสำนักผู้เชี่ยวชาญพิจารณาโครงการ ผอ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมเกษตร ได้ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัย

13. เอกสารอ้างอิง :

กัญญรัตน์ กัญญาคำ และ จันทนี อุริยะพงศ์สรรค์, 2553. การสกัดไลโคปีนจากกากมะเขือเทศโดยใช้เอนไซม์และสารละลายอินทรีย์ต่างชนิด. ว.วิทย์ กษ. 41(3/1)(พิเศษ): 289-292

กันยนา กรณ์เกษม. 2548. ความคงตัวของไลปีนที่สกัดได้จากกากมะเขือเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต.มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

กานดาวดี โนชัย และจิรภา พงษ์จันตา, 2556. ผลของสายพันธุ์มะเขือเทศและวิธีการสกัดสารไลโคปินต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของมะเขือเทศผง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 36 ฉบับที่ 4 ตุลาคม – ธันวาคม

จารุวรรณ และสุดารัตน์. 2554. การเปรียบเทียบปริมาณแคปไซซินอยด์และดัชนีความเผ็ดในพริกตามระยะการสุกแก่ขอผล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 13 ฉบับที่ 2: 6-13

จิระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์, ปารมี เพ็งปรีชา, ภัทรนันทร์ กมลนัทธ์, กนกวรรณ ไพรพนาพงศ์. 2557. การสกัดและลักษณะน้ำมันจากเมล็ดองุ่นไทยที่สกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือสภาวะวิกฤต. ว.วิทย์. กษ. 45(2)(พิเศษ): 157-160

จีรศักดิ์ เพ็งคุณ. 2557. การศึกษาทดลองการดูดซับก๊าซคาร์อนไดออกไซด์โดยถ่านกัมมันต์และดูซึมโดยน้ำ. สืบค้นข้อมูลจาก http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9815/1/387943.pdf [5 มกราคม 2561]

เฉลิม อยู่วิทยา. มปป. สายพันธุ์องุ่นที่นิยมปลูกในประเทศไทย สืบค้นข้อมูลจาก

https://www.monsoonvalley.com/th/articles/_news-blog- list/monsoon_grape_variety [3กันยายน2560]

ชวิดา ปัญญาสุรยุธ, ลักคณา เฮ้งบริบูรณ์ และอุมาพร ไขชัยภูมิ. 2549. การสกัดสารโพรแอนโธไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด. รายงานการศึกษาภาควิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น

ฐิตา ฟูเผ่า, ฐิตินาถ สุคนเขตร์, วีรชน ภูหินกอง และคณะ. 2556. การเปรียบเทียบการสกัดไลโคปีนจากผลฟักข้าวด้วยการใช้เอนไซม์ร่วมกับตัวทำละลายและการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหนือจุดวิกฤต. สืบค้นข้อมูลจาก http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9815/1/387943.pdf [1,มกราคม 2561]

ณกัญภัทร จินดา. อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันพืชและสัตว์. สืบค้นจาก:course.ku.ac.th/lms/files/resources_files/20904/89985/biot_i.ppt. [22 มิ.ย.2555].

ตติยา โชคบุญเปี่ยม. 2550. การศึกษาการทำให้สารแคปไซซินบริสุทธิ์.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ

ธนภัทร์ ทรงศักดิ์. มปป. การสกัดน้ำมันระเหยง่ายโดยใช้ของไหลวิกฤตยิ่งยวด.กลุ่มวิชาเภสัชเวท มหาวิทยาลัยรังสิต,ปทุมธานี

ประเทืองศรี สินชัยศรี. 2545. การผลิตสมุนไพรและเครื่องเทศ. กรมส่งเสริมการเกษตร.คู่มือพืชสมุนไพรและเครื่องเทศ ชุดที่ 3 พืชสมุนไพรน้ำมันหอมระเหย.

ประเสริฐ ประภานภสินธุ์. 2544. เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดสารแคปไซซิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ผกาวดี แก้วกันเนตร.2560. เทคโนโลยีกระบวนการแยกสาร.ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. ไลโคปีน. สืบค้นจาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2755/lycopene.[พฤศจิกายน 2559]

วินัย ดะห์ลัน. 2550. โภชนาการพื้นฐานเพื่อการมีสุขภาพสมบูรณ์สูงสุด. เอกสารประกอบการบรรยาย "

วิชชุลดา ชัยพร. 2549. การสกัดสารไลโคปีนจากมะเขือเทศ โดยใช้เทคนิคคาร์บอนไดร์ออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น

สถาบันไทย-เยอรมัน.มมป. เครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวสภาวะเหนือวิกฤต. เทคโนโลยีการเกษตร. Catalog สถาบันไทยเยอรมัน

สุชีลา เตชะวงค์เสถียร. 2557. พริกนวัตกรรมจากทฤษฎีการปรับปรุงพันธุ์พืชสู่การใช้ประโยชน์. ขอนแก่น: หจกโรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

สุภาภรณ์ ดั๊กกลาส, สุวัสสา พงษ์อำไพ และละเอียด เพ็งโสภา. 2552. การสกัดวิตามินอีจากใบปาล์มน้ำมัน. 20 มีนาคม 2557. www.kmutt.ac.th/rippc/plamoil2.htm

สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. 2549. การสกัดสารโพรแอนโธไซยานิดินส์จากเมล็ดองุ่นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด. วิศวกรรมสาร มข. ปีที่33 ฉบับที่4 (431- 442) กรกฎาคม - สิงหาคม 2549

สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และอาทิตย์ รังษีสันติวานนท์. 2546. การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด.วารสารศูนย์บริการวิชาการ. ปีที่11 ฉบับที่ 2 เมษายน-,มิถุนายน

Apichatsite.มปป.องประกอบทางเคมีของพริก.7มิถุนายน2560.https://apichatsite.wordpress.com/62-

AromaHub.com. 2014. วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหย. บทควา http://www.aromahub.com/articles/essential-oils/176-2012-10-07-08-57-20/59-2010-04-03-15-40-01. 15 July 2014

Botanicessence.nd. prue essential oil. cited Available from: http://www.botanicessence.com/essential-oil/home/knowledge.jsp [5 january 2018]

C. M. P. Sarmento, S. R. S. Ferreira, and H. Hense. 2006. Supercritical fluid extraction (SFE) of rice bran oil to obtain fractions enriched with tocopherols and tocotrienols. Brazilian. Journal of Chemical Engineering, vol.23 no.2

Da Porto C, Natolino A, and Decorti D. 2014. Extraction of proanthocyanidins from grape marc by supercriticalfluid extraction using CO2as solvent and ethanol–water mixture asco- solvent. The Journal of Supercritical Fluids, 87:59-64

E-books มหาวิทยาลัยรามคำแหง. มปป. สารให้กลิ่นรสในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส. สืบค้นข้อมูลจากhttp://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-1.pdf. [1,มกราคม 2561]

Go-Woon Jung, Md. Salim Uddin, Kyung-Tae Kwon and Byung-Soo Chun. 2010. Comparison of supercritical and near-critical carbon dioxide extraction of carotenoid enriched wheat bran oil African. Journal of Biotechnology, Vol.9(45):7702-7709

Kehilia M, Kammlott M, Chouraa S, Zammelc A, Zetzlb C, Smirnovab I, et al. 2017. Supercritical CO2extraction and antioxidantactivity of lycopene and carotene-enrichedoleoresin from tomato (Lycopersicum esculentum L.)peels by-product of a Tunisian industry. Food and Bioproducts Processing, 102:340-349

MedThai .2560. .มะเขือเทศ สรรพคุณและประโยชน์ของมะเขือเทศ 28 ข้อ. สืบค้นจาก .https://medthai.com/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%82%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%A8/ [10 ธันวาคม 2560]

Norhuda I, and Jusoff K. 2009. Supercritical carbon dioxide (SC-CO_2) as a clean technology for palm kernel oil extraction. J Biochem Tech ,1(3): 75-78

Natolinoa A, Da Portoa C, Rodríguez-Rojob S, Morenob T, José Cocero M. 2016. Supercritical antisolvent precipitation of polyphenols from grapemarc extract. The Journal of Supercritical Fluids, 118: 54-63

Perez-Galvez A, Jaren- Galvez M, Minguez-Mosquera I. 2006. Processing of red pepper fruits(Capsicum annuum L.) For production of paprika and paprika oleoresin. In Handbook of Fruits and Fruit Processing.; Blackwell Pub, Oxford, U.K, 565–579.

Poise Proud.2555.สารสกัดจากเมล็ดองุ่น Grape Seed Extract คืออะไร..?.สืบค้นข้อมูลจาก http://poiseandproud.blogspot.com/2012/06/grape-seed-extract.html [10 ธันวาคม 2560]

Rakesh Kr Dubey, Vikas Singh , Garima Upadhyay , A.K. Pandey , Dhan Prakash. 2015. Assessmentof phytochemical composition and antioxidant potentialin some indigenous chilli genotypes from North East India. Food Chemistry., (188): 119-125.

Sabir, A., Unver, A. and Kara, Z., 2012, The Fatty Acid and Tocopherol Constituents of the Seed Oil Extracted from Grape Varieties (Vitis spp.). Journal of the Science of Food and Agriculture,92: 1982-1987.

Salzer, U.J, Haarmann G., and Reimer, G.Analytical. 1975. evaluation of seasoning extracts (oleoresin) and essential oils from seasonings.Flavours., 64: 206-210

Sami Gokhan Özkal. 2004. Supercritical carbon dioxide extraction of apricot kernel oil, Thesis submitted to The graduate school of natural and applied sciences of the middle east technical Unicity Ugur Salgın, Önur Doker, Ayla Calımlı.2006.Extraction of sunflower oil with supercritical CO_2:Experiments and modeling.*J.* of Supercritical Fluids, 38:326–331

Santos P, Aguiar C, , Gerardo F, Barbero , Camila A., Rezende et al .2015. Supercritical carbon dioxide extraction of capsaicinoids from malagueta pepper (Capsicum frutescens L.) assisted by ultrasound. Ultrasonics Sonochemistry, 22: 78-88

Sodeifian G, Ardestani NS, Seyed Ali Sajadian, et al. 2016. Application of supercritical carbon dioxide to extract essential oil from Cleome coluteoides Boiss: Experimental, response surface and grey wolf optimization methodology. The Journal of Supercritical Fluids; 114: 55-63

Sovova H, Sajfrtova M, Topiar M. 2015. Supercritical CO2 extraction of volatile thymoquinone from Monarda didyma and M. fistulosa herbs. The Journal of Supercritical Fluids; 105: 29-34.

Sricharoen P, Lamaiphan N, Patthawaro P, et al. 2017. Phytochemicals in Capsicum oleoresin from different varieties of hot chili peppers with their antidiabetic and antioxidant activities due to some phenolic compounds. Ultrasonics Sonochemistry,