

การสกัดวิตามินอีจากไบโพาล์มน้ำมันโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

ภัทริรา ภัทรโสภายชัย กฤษดา คำแสน กิตติพงศ์ รักช่วย สุวิธสา พงษ์อำไพ ละเอียด เพ็งโสภา และ สุภาภรณ์ ตักกลาส*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email : supaporn.chu@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาการสกัดวิตามินอี (แอลฟาโทโคฟีรอล) จากไบโพาล์มน้ำมันโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด และหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยทำการสกัดภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส ความดันในช่วง 15-35 เมกะปาสคาล และอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 0.26-1.00 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 15 เมกะปาสคาล อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที และใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง ได้ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลเท่ากับ 101.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยเครื่องชกเล็ดภายใต้สภาวะสูญญากาศและการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวภายใต้สภาวะบรรยากาศ พบว่า การสกัดด้วยเครื่องชกเล็ดและการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวให้ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลสูงกว่าการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต แต่อย่างไรก็ตามสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตมีความบริสุทธิ์มากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าสารที่สกัดได้ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตมีความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันหมู่น้ำได้ดีใกล้เคียงกับสารแอลฟาโทโคฟีรอลมาตรฐาน

คำสำคัญ : ปาล์มน้ำมัน คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต วิตามินอี (แอลฟาโทโคฟีรอล)

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่ให้ผลว่าวิตามินอีคือ สารอาหารสำคัญในการป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคสมองเสื่อม และเป็นสารยับยั้งอนุมูลอิสระ เป็นต้น โดยทั่วไปวิตามินอีจะแบ่งออกเป็นวิตามินอีที่ได้จากธรรมชาติและวิตามินอีที่ได้จากการสังเคราะห์ วิตามินอีที่ได้จากธรรมชาติจะให้ผลมากกว่าวิตามินอีที่ได้จากการสังเคราะห์ประมาณ 1.36 เท่าโดยปริมาณที่เท่ากัน และร่างกายยังสามารถเก็บและดูดซึมวิตามินอีที่ได้จากธรรมชาติได้ดีกว่าวิตามินอีที่ได้จากการสังเคราะห์ถึง 2 เท่า ดังนั้นความต้องการวิตามินอีที่มาจากธรรมชาติจึงมีเพิ่มมากขึ้น

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชยืนต้นอยู่ในพืชกลุ่มน้ำมันที่ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าพืชน้ำมันอื่นๆ ปลูกมากในพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยทั่วไปแล้วผลผลิตที่ได้จากปาล์มน้ำมันจะอยู่ในรูปของทะลายปาล์มสด โดยเกษตรกรจะทำการผลิตเพื่อส่งเข้าโรงงานสกัดน้ำมันที่กระจายอยู่ตามจังหวัดต่างๆ ทางภาคใต้ สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ของต้นปาล์มน้ำมันสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้มากมายและใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ต้นปาล์มน้ำมันนิยมใช้ทำเฟอร์นิเจอร์, กะลาปาล์มใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ ของต้นปาล์มน้ำมัน เช่น ทะลายปาล์มน้ำมัน, ทางใบปาล์มน้ำมัน, ใบปาล์มน้ำมัน และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมัน

เกษตรกรจะใช้ทำปุ๋ย อาหารสัตว์ และเชื้อเพลิง นอกจากนี้ไบโพลีเมอร์น้ำมันยังมีวิตามินอี ซึ่งหากสามารถสกัดออกมาได้จะเป็นการเพิ่มมูลค่าได้มากมาย (ธีระ, 2546)

การสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤตเป็นกระบวนการสกัดที่มีความสามารถในการทำลายสูง และมีความเลือกสรร selectivity สูง โดยส่วนใหญ่จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสกัด เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟง่าย ไม่กัดกร่อน และราคาถูก คาร์บอนไดออกไซด์มีอุณหภูมิวิกฤต 31.1 องศาเซลเซียส ความดันวิกฤต 73.8 บรรยากาศ การสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤตสามารถทำการสกัดที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันการสลายตัวของสารที่ไวต่อความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดมีความปลอดภัยทั้งในด้านสุขภาพและโภชนาการ ดังนั้นการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตจึงเหมาะในการสกัดสารต่างๆที่ได้จากแหล่งธรรมชาติ

ในงานวิจัยนี้ทำการสกัดวิตามินอีจากไบโพลีเมอร์น้ำมันโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดคือ ความดัน อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เครื่องสกัด Supercritical Fluid Extraction (Model 260D Syringe Pump)

แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่อง Supercritical Fluid Extraction (Model 260D Syringe Pump)

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

นำไบโพลีเมอร์น้ำมันมาอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 50 ± 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการลดขนาดและคัดขนาดให้ได้ 850 ไมโครเมตร นำไปวิเคราะห์ความชื้นได้เท่ากับ 5.07 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

2.3 การสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต

นำไบโพลีเมอร์น้ำมันบดปริมาณ 0.50 กรัม ใส่ในหน่วยสกัด ปรับอุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส ความดัน และอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตตามต้องการ ทำการสกัดโดยบรรจุเอธานอล 10 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองเพื่อรองรับสารที่สกัดได้ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

2.4 การสกัดด้วยทำลายของเหลวภายใต้สภาวะบรรยากาศ

นำไบโพลีเมอร์น้ำมันบดปริมาณ 1.00 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำทำลายเอธานอล 100 มิลลิลิตร สกัดโดยการเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองและนำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

2.5 การสกัดด้วยเครื่องชอกเลตภายใต้สภาวะสุญญากาศ

นำไบโพลีเมอร์น้ำมันบดปริมาณ 3.00 กรัม ใส่ในกรวยกระดาษ เติมน้ำทำลายเอธานอล 300 มิลลิลิตร ลงในขวดกันกลบขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับอุณหภูมิเครื่องสกัด 55 ± 5 องศาเซลเซียส เปิดปั๊มสุญญากาศให้ความดันอยู่ในช่วง 550-600 มิลลิเมตรปรอท ทำการสกัดจนกระทั่งได้ตัวทำลายใส เป็นเวลา 17 ชั่วโมง นำสารที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

2.6 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

ปริมาณวิตามินอี (แอลฟาโทโคฟีรอล) สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้คอลัมน์ Symmetry C18 3.9×150 mm และใช้เมธานอลต่ออะซีโตรไนไตร (10:90) เป็นเฟสเคลื่อนที่

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การศึกษาผลของความดันที่มีต่อการสกัด

3.1.1 ผลของความดันที่อัตราการไหลของ

คาร์บอนไดออกไซด์ 0.26 มิลลิลิตรต่อนาที

จากการศึกษาผลของความดันที่มีต่อการสกัด เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต 0.26 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2 พบว่า อัตราการสกัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 300 นาทีแรกของการสกัด และค่อยลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ สำหรับผลของความดันสามารถแบ่งออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรกความดัน 15-25 เมกกะปาสคาล เมื่อเพิ่มความดันปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความดัน 15 เมกกะปาสคาลสามารถสกัดสารแอลฟาโทโคฟีรอลได้เท่ากับ 101.54 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนที่ความดัน 25 เมกกะปาสคาล ให้ปริมาณสารสกัดเท่ากับ 121.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง สำหรับช่วงที่สองเป็นความดันในช่วง 25-35 เมกกะปาสคาล พบว่าเมื่อเพิ่มความดัน ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้มีค่าลดลง โดยที่ความดัน 35 เมกกะปาสคาลเป็นความดันที่ให้ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลน้อยที่สุดเท่ากับ 86.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า โดยทั่วไปการสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤต เมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้น ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้จึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ที่ความดัน 35 เมกกะปาสคาลนั้นจะเห็นว่าปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้มีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มความดันนั้นทำให้อนุภาคของไบโอสัมพันธ์มันเกิดการอัดตัวแน่นมากเกินไป ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถแพร่แทรกซึมเข้าไปในตัวอย่างได้ดีเท่าที่ควร จึงทำให้ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้ที่มีความดัน 35 เมกกะปาสคาลมีค่าลดลง

3.1.2 ผลของความดันที่อัตราการไหลของ

คาร์บอนไดออกไซด์ 0.60 มิลลิลิตรต่อนาที

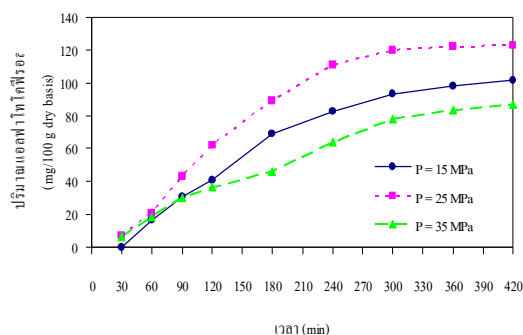
จากการศึกษาผลของความดันที่มีต่อการสกัด เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต 0.60 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ที่ทุกความดันอัตราการสกัดจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในเวลา 180 นาทีแรก และค่อยลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ นอกจากนี้ พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นสามารถสกัดสารแอลฟาโทโคฟีรอลได้น้อยลง โดยที่ความดัน 15 เมกกะปาสคาลเป็นความดันที่ให้ปริมาณสารสกัดสูงสุด คือ ให้ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลเท่ากับ 103.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่เวลาการสกัด 7 ชั่วโมง และได้ปริมาณสารสกัดสูงกว่าที่สกัดที่ความดัน 25 และ 35 เมกกะปาสคาล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 96.57 และ 76.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มความดันมีผลทำให้ความหนืดของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตเพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตลดลง (Lucas และคณะ, 2002, Tonthubthimtong และคณะ, 2000)

3.1.3 ผลของความดันที่อัตราการไหลของ

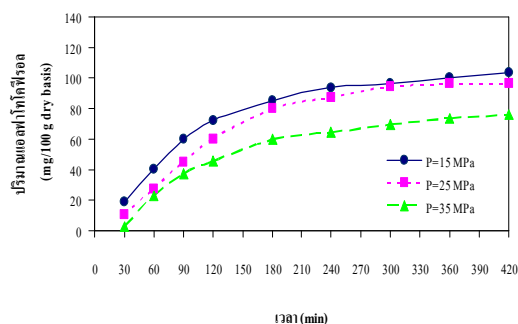
คาร์บอนไดออกไซด์ 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4 แสดงผลของความดันต่อการสกัดสารแอลฟาโทโคฟีรอลจากไบโอสัมพันธ์มันที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า แนวโน้มของผลการสกัดสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้คล้ายคลึงกับการสกัดที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.60 มิลลิลิตรต่อนาที คือ อัตราการสกัดจะเกิดได้เร็วในช่วงเวลา 180 นาทีแรก จากนั้นอัตราการสกัดจะค่อยลดลง และเมื่อความดันในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้จะน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง โดยที่ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดที่ความดัน 15, 25 และ 35

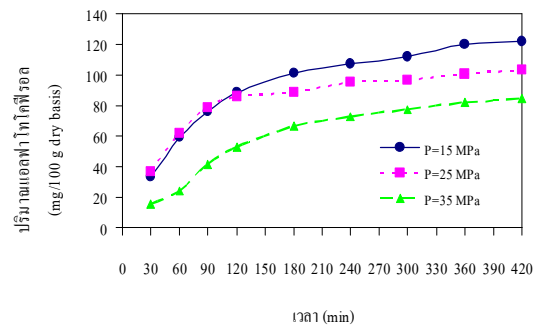
เมกกะปาสคาล ในเวลาการสกัด 7 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 122.18, 103.07 และ 84.55 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้ที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.60 มิลลิตรต่อนาที มีค่าลดลงจากการสกัดที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 1.00 มิลลิตรต่อนาที เนื่องจากอัตราการไหลที่สูงกว่าจะช่วยเสริมการสกัดโดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลผ่านอนุภาคไบโพาล์มน้ำมันบดเร็วขึ้น ทำให้ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารแอลฟาโทโคฟีรอลในอนุภาคไบโพาล์มน้ำมันบดและในคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ทำให้สารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้มีมากขึ้น (Tonthubthimong และคณะ, 2000)



รูปที่ 2 แสดงผลของความดันที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.26 มิลลิตรต่อนาที อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3 แสดงผลของความดันที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.60 มิลลิตรต่อนาที อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส

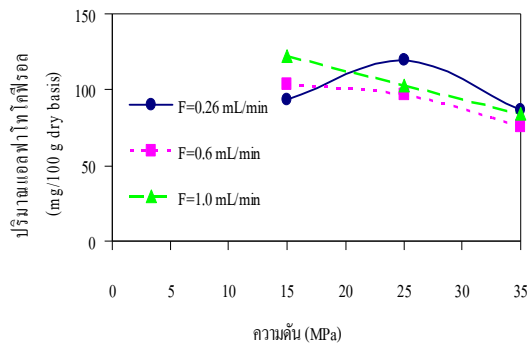


รูปที่ 4 แสดงผลของความดันที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 1.00 มิลลิตรต่อนาที อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส

3.2 การศึกษาผลของอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อการสกัด

ทำการศึกษามูลของอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 0.26-1.00 มิลลิตรต่อนาที ที่มีผลต่อการสกัดสารแอลฟาโทโคฟีรอล โดยทำการสกัดที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส และความดัน 15-35 เมกกะปาสคาล แสดงดังรูปที่ 5 พบว่าในช่วงอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.60-1.00 มิลลิตรต่อนาที เมื่อเพิ่มอัตราการไหลปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นทุกความดัน เนื่องจากอัตราการไหลหรือความเร็วของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลผ่านอนุภาคไบโพาล์มน้ำมันบดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่อยู่ในอนุภาคไบโพาล์มน้ำมันบดและคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทสารแอลฟาโทโคฟีรอลในอนุภาคไบโพาล์มน้ำมันบดที่มีความเข้มข้นของสารแอลฟาโทโคฟีรอลสูงกว่ามายังคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าได้ดีขึ้น (Ge และคณะ, 2002, Tonthubthimong และคณะ, 2000) แต่ที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.26 มิลลิตรต่อนาที พบว่าความดันที่เหมาะสมในการสกัดคือ ความดัน 25 เมกกะปาสคาล เนื่องจากที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำทำให้การสกัดเกิดขึ้นได้ไม่ดี

จำเป็นต้องใช้การสกัดที่ความดันสูงช่วยเสริมการสกัด และมีผลมาจากความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดัน แต่ที่ความดัน 35 เมกกะปาสคาลทำให้อนุภาคไบโพาล์มน้ำมันถูกบีบอัดแน่นส่งผลให้การสกัดแย่งลง



รูปที่ 5 แสดงผลของอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ ความดัน 15-35 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส

3.3 การศึกษาเปรียบเทียบผลการสกัด

จากการศึกษาการเปรียบเทียบผลการสกัด พบว่าการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤตให้ปริมาณการสกัดต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการสกัดด้วยทำละลายของเหลวภายใต้สภาวะบรรยากาศและการสกัดด้วยเครื่องชกเล็ดภายใต้สภาวะสุญญากาศแสดงดังตารางที่ 1 เนื่องจากการสกัดด้วยวิธีชกเล็ดเป็นการสกัดเพื่อหาปริมาณเริ่มต้นของสารที่ต้องการสกัด (conventional solvent extraction) จึงมีปริมาณสารสกัดสูงกว่าการสกัดด้วยวิธีอื่นๆ แต่การเลือกวิธีสกัดจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆควบคู่กัน

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลการสกัดด้วยวิธีต่างๆ

วิธีการสกัด	ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอล (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	สีของสารที่สกัดได้	เวลาที่ใช้ในการสกัด (ชั่วโมง)
คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต	122.18	เหลือง	7
ตัวทำละลายภายใต้สภาวะบรรยากาศ	193.91	เขียว	6
เครื่องชกเล็ดภายใต้สภาวะสุญญากาศ	201.23	เขียว	17

เช่น คุณสมบัติของสารที่สกัดได้ ความปลอดภัยจากสารเคมี ความบริสุทธิ์ของสารสกัด พลังงาน และเวลาที่ใช้ในการสกัด จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติอื่นๆ พบว่าสารที่สกัดได้จากการใช้ตัวทำละลายภายใต้สภาวะบรรยากาศ และเครื่องชกเล็ดที่สภาวะสุญญากาศมีสารอื่นปนเปื้อนหรือมีความบริสุทธิ์น้อยกว่าเมื่อเทียบการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต (เสาวนีย์, 2545)

4. สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด พบว่าที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.60-1.00 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อความดันในเครื่องสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณสารแอลฟาโทโคฟีรอลที่สกัดได้จะน้อยลง
2. ที่อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.26 มิลลิลิตรต่อนาที จะพบความดันที่เหมาะสมในการสกัดคือ ความดัน 25 เมกกะปาสคาล
3. สำหรับการสกัดที่ความดัน 35 เมกกะปาสคาล จะให้ปริมาณการสกัดต่ำ ที่ทุกอัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 0.26-1.00 มิลลิลิตรต่อนาที
4. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 15 เมกกะปาสคาล อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546 และบริษัท โอสิน จำกัด สำหรับการสนับสนุนโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, 2546, จดหมายข่าวปาล์ม
น้ำมัน , คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปีที่ 3 ฉบับที่ 4
- เสาวนีย์ เหลืองชนะผล, 2545, การสกัดสารแอนติ
ออกซิแดนท์จากเปลือกเมล็ดมะขามระดับ
อุตสาหกรรมขนาดเล็ก, วิทยานิพนธ์ระดับ
ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าธนบุรี
- อุทัย โสธนะพันธุ์ และ ดร.รพีพล ภโวาท, 2536,
หลักการเบื้องต้น Supercritical Fluids, วารสาร
ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- Ge. Y., Yan, H., Hui, B., Ni, Y. Wang, S.
and Cai, T., 2002, "Extraction of
Natural Vitamin E from Wheat Gum
by Supercritical Carbon Dioxide", J.
Agric, Food Chem., 50 (4) pp.685-680
- Lucas, A. de., E, Martinez de la Ossa., J,
Rincon., M.A., Blanco. And I., Gracia.
2002. "Supercritical fluid extraction of
tocopherol concentrates from Olive
tree leaves" J. Supercritical Fluid., 22,
221-228
- Tonthubthimtong, P., Chuaprasert, S.,
Douglas, P. and Luewisutthichat, W.,
2000, "Supercritical CO₂ extraction of
nimbin from seeds-an experimental
study" Journal of Food Engineering.,
Vol. 47, pp. 289-293

