

การวิเคราะห์แนวคิด: การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการสกัดเบอร์จินินจากสมุนไพรมะเขือเทศ

ซาฟาวี มะแม^{*†}, วิลลภา เซยบัวแก้ว^{*}, สุกาญจนา กำลังมาก[†], ยมล พิทักษ์ภาณุศุทธิ[†]

^{*} หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ 222 หมู่ที่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

[†] หลักสูตรการแพทย์แผนไทยบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ 222 หมู่ที่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

[‡] Corresponding author: Safawimamae@gmail.com

บทคัดย่อ

บทนำและวัตถุประสงค์: เบอร์จินิน (bergenin) เป็นสารสำคัญที่พบในสมุนไพรมากชนิดและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและด้านการอักเสบ อย่างไรก็ตามยังขาดแนวทางมาตรฐานในการสกัดที่สามารถควบคุมคุณภาพได้อย่างเหมาะสม การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างกรอบแนวคิดเชิงเปรียบเทียบวิธีการสกัด เบอร์จินิน (bergenin) จากสมุนไพรมะเขือเทศ

วิธีการศึกษา: การศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์แนวทางของ Walker and Avant โดยดำเนินการเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การเลือกแนวคิด (2) การกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ (3) การระบุแหล่งที่มาของแนวคิด โดยสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูล ScienceDirect, Springer, Google Scholar, Pharmacia และ Thai Journal Citation Index (TCI) พบเอกสารทั้งหมด 1,211 บทความ และคัดเลือกบทความที่มีความเกี่ยวข้องจำนวน 6 บทความเพื่อนำมาวิเคราะห์เชิงลึก (4) การกำหนดคุณลักษณะของแนวคิด และ (5) การวิเคราะห์ปัจจัยก่อนหน้าและผล

ผลการศึกษา: วิธีการสกัดมีผลต่อปริมาณและความคงตัวของ bergenin โดยเทคนิค Microwave assisted extraction (MAE) และ Ultrasound assisted extraction (UAE) ให้ประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาน้อย และใช้ตัวทำละลายน้อย ขณะที่ Maceration และ Freeze drying เหมาะสำหรับสกัดที่เสถียรภาพ ส่วน Soxhlet extraction และ Decoction มีข้อจำกัดด้านความร้อน ตัวทำละลายที่มีขี้

อภิปรายผล: อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อความคงตัวของ bergenin เนื่องจากมีความไวต่อความร้อน การใช้เทคนิค MAE และ UAE ช่วยลดการสลายตัวและเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ขณะที่วิธีที่ใช้ความร้อนต่อเนื่องมีแนวโน้มทำให้สารเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ ระยะเวลาและชนิดตัวทำละลายมีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัด

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ: การเลือกวิธีการสกัดควรพิจารณาปัจจัยด้านอุณหภูมิ ระยะเวลาและตัวทำละลายร่วมด้วย

คำสำคัญ: เบอร์จินิน, การสกัดด้วยไมโครเวฟ, เทคนิคการสกัด, สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ, การวิเคราะห์แนวคิดของวอร์คเกอร์และอาวองท์

Conceptual Analysis: A Comparison of The Advantages and Disadvantages of Methods for Extracting Bergenin from Herbal Medicines

Safawi Mamae^{*,‡}, Wallapa Choeibuakaew^{*}, Sukanjana Kamlungmak[†], Yamon Pitakpawasutthi[†]

^{*} Doctor of Philosophy Program in Health Science, Faculty of Health and Sports Science, Thaksin University, No.222, No.2 village, Ban Phrao Sub-district, Pa Phayom District, Phatthalung Province, 93210, Thailand

[†] Bachelor of Thai Traditional Medicine, Faculty of Health and Sports Science, Thaksin University, No.222, No.2 village, Ban Phrao Sub-district, Pa Phayom District, Phatthalung Province, 93210, Thailand

[‡] Corresponding author: Safawimamae@gmail.com

Abstract

Introduction and Objective: Bergenin is a key bioactive compound found in various medicinal plants and exhibits antioxidant and anti-inflammatory activities. However, standardized extraction approaches that ensure consistent quality remain limited. This study aims to develop a comparative conceptual framework of extraction methods for bergenin from herbal sources.

Methods: This study employed the conceptual analysis approach proposed by Walker and Avant, consisting of five steps: (1) selecting the concept; (2) determining the purpose of the analysis; (3) identifying the sources of the concept through systematic searches of ScienceDirect, Springer, Google Scholar, Pharmacia, and the Thai Journal Citation Index (TCI), yielding 1,211 articles, of which six relevant studies were selected for in-depth analysis; (4) defining the attributes of the concept; and (5) determining antecedents and consequences.

Results: Extraction methods significantly influence the yield and stability of bergenin. Microwave-assisted extraction (MAE) and ultrasound-assisted extraction (UAE) demonstrated high efficiency, shorter extraction time, and lower solvent consumption. Maceration and freeze drying were more suitable for preserving compound stability, whereas Soxhlet extraction and decoction were limited by thermal degradation. Polar solvents showed favorable extraction performance.

Discussion: Temperature was identified as the most critical factor affecting bergenin stability due to its heat sensitivity. MAE and UAE minimized degradation and improved extraction efficiency, whereas continuous heat-based methods tended to reduce compound stability. In addition, extraction time and solvent type also influenced extraction efficiency.

Conclusion and Recommendations: Selection of extraction methods should consider temperature, extraction time, and solvent type to obtain high-quality bergenin with preserved bioactivity.

Key words: bergenin, microwave assisted extraction, extraction techniques, bioactive compounds, Walker and Avant

บทนำและวัตถุประสงค์

การใช้สมุนไพรในระบบบริการสุขภาพของประเทศไทยได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการบรรจุยาสมุนไพรในบัญชียาหลักแห่งชาติด้านสมุนไพร ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการใช้

สมุนไพรอย่างเป็นระบบและมีหลักฐานเชิงประจักษ์รองรับ^[1] อย่างไรก็ตาม คุณภาพและประสิทธิผลของยาสมุนไพรขึ้นอยู่กับปริมาณและความคงตัวของสารออกฤทธิ์สำคัญในสารสกัดสมุนไพร

เบอร์จินิน (bergenin) เป็นสารในกลุ่มโพลีฟีนอล

ที่พบในสมุนไพรหลายชนิด รวมถึงตำรับยาที่ใช้บรรเทาอาการของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก เช่น ตำรับยาผสมโคคลาน โดยมีฤทธิ์ด้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระผ่านกลไกการลดการสร้างไนตริกออกไซด์ (NO)^[2] แม้ว่าสารดังกล่าวจะมีศักยภาพทางเภสัชวิทยา แต่ปริมาณและคุณภาพของ bergenin ที่ได้จากสมุนไพรยังมีความแปรปรวนสูง ซึ่งสัมพันธ์กับวิธีการสกัดและสภาวะที่ใช้ในกระบวนการ ปัจจุบันยังขาดแนวทางมาตรฐานในการสกัดที่สามารถควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้เกิดช่องว่างองค์ความรู้ในการเลือกวิธีการสกัดที่มีประสิทธิภาพ^[3]

เทคนิคการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรมีทั้งแบบดั้งเดิมและแบบสมัยใหม่ เช่น Maceration, Soxhlet extraction, Decoction รวมถึง Microwave-assisted extraction (MAE) และ Ultrasound-assisted extraction (UAE) ซึ่งแตกต่างกันในด้านอุณหภูมิ ระยะเวลา และการใช้ตัวทำละลาย และส่งผลโดยตรงต่อปริมาณและความคงตัวของสารสำคัญ^[4]

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาและนำเสนอกรอบแนวคิดเชิงเปรียบเทียบวิธีการสกัด bergenin จากสมุนไพร โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์แนวคิดตามแนวทางของ Walker and Avant ในการสกัดสาร bergenin จากสมุนไพรในบัญชียาหลักแห่งชาติที่ใช้ในการบรรเทาอาการของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก โดยมีวัตถุประสงค์ ได้แก่ (1) พัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวิธีการสกัด bergenin จากยาสมุนไพรอย่างมีประสิทธิภาพ (2) เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการสกัดสาร bergenin จากสมุนไพร และ (3) รวบรวมและวิเคราะห์วิธีการสกัดสาร bergenin จากสมุนไพรอย่างเป็นระบบ โดยพิจารณาข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แต่ละวิธี

ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงมนทัศน์ตามแนวทางของ Walker และ Avant^[5] ซึ่งมีเป้าหมายเพื่ออธิบายและกำหนดองค์ประกอบที่ส่งผลต่อสารออกฤทธิ์ รวมถึงสรุปวิธีการสกัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสารเป้าหมาย วิธีการศึกษานี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

- (1) การเลือกแนวคิด (Selecting the concept)
- (2) การกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ (Determining the purpose of the analysis)
- (3) การระบุแหล่งที่มาของแนวคิด (Identifying the sources of the concept)
- (4) การกำหนดคุณลักษณะของแนวคิด (Defining the attributes of the concept)
- (5) การวิเคราะห์ปัจจัยก่อนหน้าและผล (Determining antecedents and consequences)

ผลการศึกษานี้จะถูกนำเสนอภายใต้กรอบการวิเคราะห์แนวคิดทั้งห้าขั้นตอน ซึ่งจะถูกเชื่อมโยงเข้ากับกรอบแนวคิดเชิงเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการสกัดสารออกฤทธิ์จากสมุนไพร

1. การเลือกแนวคิด (Selecting the concept)

ผู้วิจัยเลือกศึกษามโนทัศน์ การสกัดสาร bergenin ที่มีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาจากความสำคัญทางเภสัชวิทยาและความจำเป็นทางวิชาการ โดย bergenin เป็นสารในกลุ่มโพลีฟีนอลที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ^[6] และต้านอนุมูลอิสระ^[7] ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกของโรคในระบบกล้ามเนื้อและกระดูก อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าสารสกัดจากสมุนไพรในตำรับยาแผนไทยยังมีความแปรปรวนของปริมาณสารสำคัญสูง เนื่องมาจากความแตกต่างของวิธีการสกัดและสภาวะที่ใช้ อุณหภูมิ ระยะเวลา และ

ชนิดของตัวทำละลาย

นอกจากนี้ ยังพบว่าการเลือกใช้เทคนิคการสกัดระหว่างวิธีแบบดั้งเดิมและวิธีสมัยใหม่ยังขาดแนวทางที่ชัดเจน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของสารสกัดไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น การเลือกมโนทัศน์นี้จึงมีเป้าหมายเพื่ออธิบายองค์ประกอบของกระบวนการสกัด และสนับสนุนการพัฒนาแนวทางที่สามารถควบคุมคุณภาพของสารสำคัญได้อย่างเหมาะสม

2. การกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ (Determining the purpose of the analysis)

ผู้วิจัยกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นกรอบในการดำเนินการศึกษาและการสังเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

- (1) พัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวิธีการสกัด bergenin จากยาสมุนไพรอย่างมีประสิทธิภาพ
- (2) เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการสกัดสาร bergenin จากสมุนไพร
- (3) เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์วิธีการสกัดสาร bergenin จากสมุนไพรอย่างเป็นระบบ โดยพิจารณาข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แต่ละวิธี

3. การระบุแหล่งที่มาของแนวคิด (Identifying the sources of the concept)

ผู้วิจัยดำเนินการสืบค้นข้อมูลอย่างเป็นระบบจากฐานข้อมูล ScienceDirect, Springer, Google Scholar, Pharmacia และ Thai Journal Citation Index (TCI) โดยใช้คำสำคัญทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ได้แก่ “bergenin extraction”, “herbal extraction methods”, “phytochemical extraction”, “วิธีการสกัด bergenin” และ “การสกัดสารสำคัญจากสมุนไพร” เพื่อให้ครอบคลุมองค์ความรู้ที่

เกี่ยวข้องทั้งในระดับนานาชาติและในประเทศ

กำหนดช่วงเวลาการสืบค้นย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2558 - 2568) โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า ได้แก่ (1) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาร bergenin (2) งานวิจัยที่ศึกษาวิธีการสกัดสารจากสมุนไพร (3) บทความวิชาการที่ผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และ (4) บทความที่มีรายละเอียดของวิธีการทดลองอย่างชัดเจน

เกณฑ์การคัดออก ได้แก่ (1) งานวิจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับประชากรหรือสารเป้าหมาย (2) รูปแบบการศึกษาที่ไม่เหมาะสม (3) บทความที่ไม่มีข้อมูลผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้อง (4) บทความซ้ำ และ (5) บทความที่ไม่สามารถเข้าถึงฉบับเต็มได้

กระบวนการคัดเลือกเอกสารประกอบด้วยการคัดกรองจากชื่อเรื่องและบทคัดย่อ (screening) การประเมินความเหมาะสมของเนื้อหา (eligibility) และการคัดเลือกบทความสำหรับการวิเคราะห์ (inclusion)

2.3 การกำหนดคุณลักษณะของแนวคิด (Defining the attributes of the concept)

ผู้วิจัยกำหนดคุณลักษณะของแนวคิดโดยวิเคราะห์องค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัด bergenin ได้แก่ (1) คุณสมบัติทางเคมีความสามารถในการละลายและความเสถียรต่อสภาพแวดล้อม^[8] (2) ความไวต่ออุณหภูมิของสาร ซึ่งอาจส่งผลต่อการสลายตัวระหว่างกระบวนการสกัด^[9] และ (3) ปัจจัยด้านกระบวนการ ชนิดของเทคนิคการสกัดระยะเวลา รวมทั้งชนิดของตัวทำละลาย

เทคนิคการสกัดที่นำมาพิจารณา ได้แก่ Maceration, Soxhlet extraction, Decoction, Infusion รวมถึงเทคนิคสมัยใหม่ MAE และ UAE ซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านประสิทธิภาพ ระยะเวลา

และการใช้พลังงาน^[10] การเลือกตัวทำละลาย เช่น น้ำ เอทานอล และเมทานอล ต้องมีความเหมาะสมกับ คุณสมบัติของสารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด^[11]

2.5 การวิเคราะห์ปัจจัยก่อนหน้าและผล (Determining antecedents and consequences)

ผู้วิจัยวิเคราะห์ปัจจัยก่อนหน้าที่มีอิทธิพลต่อ ประสิทธิภาพการสกัด bergenin ได้แก่ คุณสมบัติทาง เคมีของสาร ชนิดของตัวทำละลาย อุณหภูมิ และระยะเวลาในการสกัด ซึ่งล้วนส่งผลต่อปริมาณและความ คงตัวของสารที่ได้ โดย bergenin เป็นสารที่มีความ

ไวต่อความร้อนและมีความสามารถในการละลายใน ตัวทำละลายที่มีขั้วระดับปานกลาง ดังนั้น การเลือก เงื่อนไขการสกัดที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญ

ผลลัพธ์ของกระบวนการสกัด (consequences) พิจารณาจากปริมาณสาร bergenin ที่ได้ ความ คงตัวของสาร และความเหมาะสมในการนำไปใช้ใน ระดับอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ปัจจัยดังกล่าวช่วยให้ สามารถออกแบบกระบวนการสกัดที่มีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียสารสำคัญ และสนับสนุนการพัฒนา ผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่มีคุณภาพและความสม่ำเสมอ^[12]

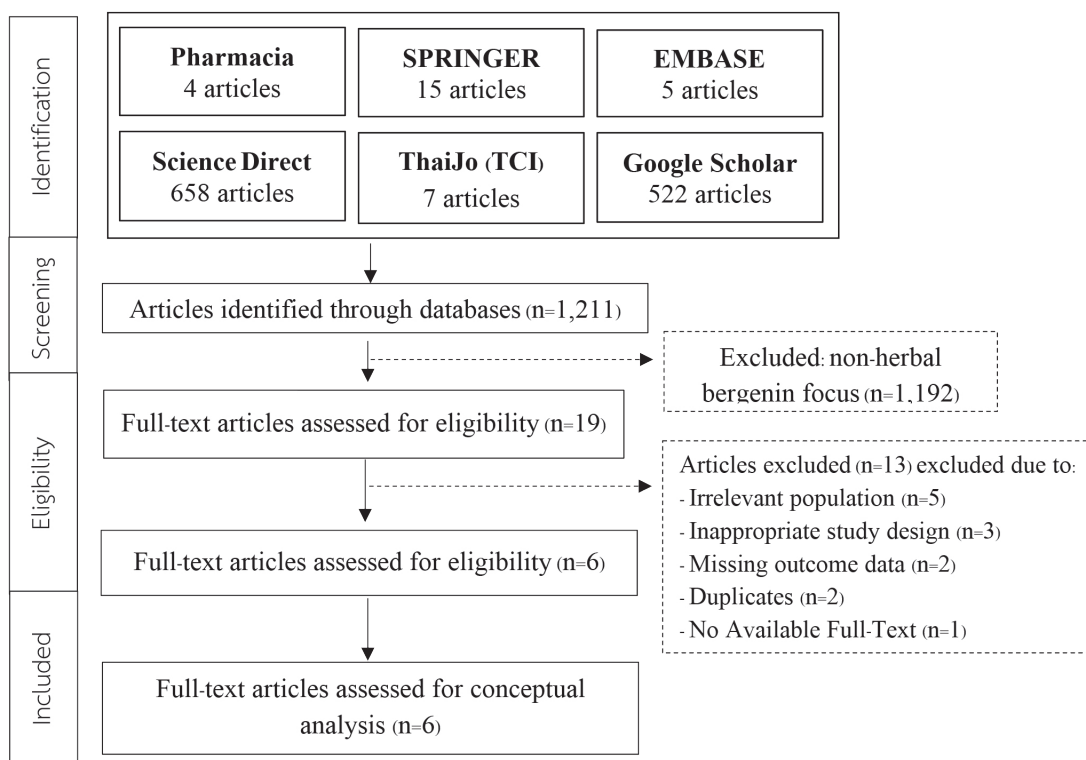


Figure 1 illustrates the study selection process according to the PRISMA framework

ผลการศึกษา

1. การระบุแหล่งที่มาของแนวคิด (Identifying the sources of the concept)

ผลการสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูล Science-Direct, Google Scholar, EMBASE, Pharmacia, Springer และ Thai Journal Citation Index (TCI) โดยใช้คำสำคัญที่กำหนด พบเอกสารทั้งหมด 1,211 บทความ ภายหลังการคัดกรองตามเกณฑ์ที่กำหนด คัดเลือกบทความที่มีความเกี่ยวข้องและมีคุณภาพ จำนวน 6 บทความ เพื่อนำมาวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับวิธีการสกัด bergenin ดังแสดงใน Figure 1

2. การกำหนดคุณลักษณะของแนวคิด (Defining the attributes of the concept)

2.1 คุณสมบัติทางเคมีและฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

ผลการวิเคราะห์พบว่า bergenin เป็นสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิในกลุ่มโพลีฟีนอล จัดอยู่ในกลุ่มอนุพันธ์ isocoumarin พบในพืชหลายชนิด เช่น *Bergenia ciliata*, *Bergenia crassifolia*, *Sacoglottis gabonensis*, *Corylopsis spicata*, กำจาย (*Caesalpinia digyna* Rottler) และมะกายเครือหรือโคคลาน [*Mallotus repandus* (Rottler) Mýl.

Arg.] ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในตำรับยาสมุนไพรในบัญชียาหลักแห่งชาติ

ข้อมูลจากเอกสารที่คัดเลือกแสดงให้เห็นว่า bergenin มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาหลากหลาย ได้แก่ ด้านการอักเสบ ด้านอนุมูลอิสระ ด้านเชื้อจุลชีพ ด้านเบาหวาน และลดใช้โดยกลไกสำคัญเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการสร้างไนตริกออกไซด์ (NO) และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอักเสบ^[13]

2.2 ปัจจัยกำหนดประสิทธิภาพการสกัด (Factors influencing extraction efficiency)

ผลการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพการสกัด bergenin ขึ้นอยู่กับ 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่

- (1) ชนิดของสารออกฤทธิ์
- (2) ความคงตัวต่อความร้อน
- (3) เทคนิคการสกัด
- (4) ชนิดของตัวทำละลาย

โดย bergenin เป็นสารในกลุ่มโพลีฟีนอลที่มีขั้วสูง จึงมีแนวโน้มละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว รายละเอียดของเทคนิคการสกัด เงื่อนไขที่ใช้ และปริมาณสารที่สกัดได้จากพืชสมุนไพรแต่ละชนิด แสดงดังใน Table 1

Table 1 Extraction techniques, conditions, and extraction yields of bergenin from herbal sources

Herbal source	Extraction technique	Solvent	Key conditions	Outcomes	Reference
<i>Ardisia crenata</i>	Microwave Assisted Soxhlet extraction	Methanol	500 W, 60 °C, 15 min 60 °C, 12 h	Bergenin yield of 26.5 ± 0.3 mg/g (comparable to Soxhlet extraction: 27.7 ± 0.4 mg/g using methanol for 12 h)	Deng <i>et al.</i> , 2010 ^[14]
Choklan Herbal Formula	Decoction Maceration	Water Ethanol	Decoction for 7 days (3:1 reduction) maceration in ethanol for 7 days	Highest bergenin content observed on day 5 of decoction; highest mallorepine content on day 3	Wasin Bumrungrachaichana <i>et al.</i> , 2019 ^[15]
Choklan Herbal Formula	Decoction Infusion	Water	Decoction for 7 days (3:1 reduction) infusion at 80 °C for 20 min	Average yield (%): decoction 23.71%, infusion 21.13%	Khwanachanok Maitnork <i>et al.</i> , 2020 ^[16]
<i>Endopleura uchi</i>	Decoction Soxhlet Ultrasound	Water Methanol Ethanol	100 °C, 30 min; 65 °C, 6 h; 40 kHz, 50 °C, 30 min	High bergenin with decoction (high phenolics); purer but lower bergenin with Soxhlet; highest bergenin with ultrasound using less solvent and time.	Magno Muniz <i>et al.</i> , 2020 ^[17]
<i>Ficus racemosa</i>	Ultrasound Freeze dried	Ethanol Water	60 kHz, 50 °C, 30 min; -20 °C	Water extraction yielded higher bergenin than 95% ethanol, reaching 1.512% (dry weight	Naiyana Boonsong <i>et al.</i> , 2020 ^[18]
<i>Mallotus repandus</i>	Soxhlet, Maceration	Methanol Ethanol Water	65 °C, 3 h 75 °C, 3 h 100 °C, 3 h maceration for 3 days	Soxhlet extraction with water resulted in the lowest ABTS IC ₅₀ value and a bergenin content of 12.67%	Yollada Sriset <i>et al.</i> , 2022 ^[19]

ข้อมูลจาก Table 1 แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้เทคนิคและตัวทำละลายมีความแตกต่างกันตามชนิดพืชและวัตถุประสงค์โดยตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ เมทานอล เอทานอล และน้ำ ซึ่งเป็นตัวทำละลายมีขั้ว และสามารถละลาย bergenin ได้ดี โดยเฉพาะน้ำและเอทานอลที่มีความปลอดภัยและเหมาะสมต่อการ

พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพร^[20]

เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการสกัด ได้แก่ Soxhlet extraction, Maceration, Decoction, Infusion, MAE, UAE และ Freeze Drying พบว่ามีความแตกต่างกันในด้านอุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณตัวทำละลาย ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Evaluation of the advantages and disadvantages of extraction techniques

Extraction technique	Operating principle		Advantages	Limitations
	Short time	Use of heat		
Soxhlet extraction	✓	✓	Reduced solvent consumption, high extract concentration, heat enhances extraction efficiency	High temperature may degrade heat-sensitive compounds
Maceration	–	–	Standardized procedure, Suitable for heat-sensitive compounds	Requires a long extraction time
Decoction	–	✓	Produces chemically standardized extracts, suitable for water-soluble compounds	Heat may degrade certain bioactive compounds
Infusion	–	✓	Uses water as a safe solvent, suitable for extracts intended for direct consumption	Limited to water as the sole solvent
Microwave Assisted Extraction (MAE)	✓	✓	Short extraction time, high efficiency, Low effective temperature, suitable for heat-sensitive compounds	Non-polar solvents do not efficiently absorb microwave energy
Ultrasound Assisted Extraction (UAE)	–	✓	Short extraction time, high efficiency; low effective temperature, suitable for heat-sensitive compounds	Requires specialized ultra sonic equipment; excessive energy may cause compound degradation
Freeze Drying	–	–	Preserves the stability of bioactive compounds, no heat involved, suitable for dry extract preparation	Time-consuming, high cost and energy consumption

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคนิคการสกัดสาร bergenin จากสมุนไพรจำนวน 7 วิธี ได้แก่ Soxhlet extraction, Maceration, Decoction, Infusion, MAE, UAE และ Freeze Drying โดยใช้ตัวทำละลายหลัก ได้แก่ น้ำ เอทานอล และเมทานอล พบว่าประสิทธิภาพและความเหมาะสมของแต่ละเทคนิคแตกต่างกันตามปัจจัยของกระบวนการสกัด ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นด้านอุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณตัวทำละลายที่ใช้

เมื่อพิจารณาเชิงกระบวนการ พบว่าเทคนิคการสกัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในเชิงเงื่อนไขการดำเนินการ ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณตัวทำละลาย โดยเทคนิค MAE และ UAE แสดงแนวโน้มให้ประสิทธิภาพการสกัดสูง ภายใต้ระยะเวลาสั้นและการใช้ตัวทำละลายในปริมาณจำกัด อีกทั้งสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ส่งผลให้สารสำคัญคงสภาพได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิม

ในขณะที่เทคนิคการสกัดด้วยวิธี Maceration และ Freeze Drying ซึ่งไม่อาศัยความร้อนในกระบวนการสกัด มีบทบาทสำคัญในการคงเสถียรภาพของสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ โดยเฉพาะสารในกลุ่มโพลีฟีนอล อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านระยะเวลาในการดำเนินการที่ใช้ระยะเวลายาวนานกว่า ส่วนเทคนิค Soxhlet extraction และ Decoction ซึ่งใช้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง แม้จะให้ความสะดวกในเชิงปฏิบัติ แต่มีแนวโน้มก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของสารสำคัญ

การวิเคราะห์เชิงปัจจัยแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเป็นตัวแปรกำหนดที่สำคัญต่อทั้งปริมาณและความคงตัวของ bergenin เนื่องจากสารดังกล่าวมีความไวต่อความร้อน เทคนิคที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ เช่น MAE และ UAE จึงมีแนวโน้มให้ผลผลิตของสารสูงกว่า ขณะที่เทคนิคที่ไม่ใช้ความร้อน เช่น Freeze Drying และ Maceration มีบทบาทในการรักษาโครงสร้างและฤทธิ์ทางชีวภาพของสาร

ระยะเวลาในการสกัดเป็นอีกปัจจัยที่สะท้อนประสิทธิภาพของเทคนิค โดย MAE และ UAE ใช้ระยะเวลานั้น ประมาณ 10 - 30 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับ Soxhlet extraction และ Decoction ที่ต้องใช้เวลามากกว่าหลายชั่วโมง และ Maceration ที่อาจใช้เวลาหลายวัน ซึ่งแสดงถึงข้อได้เปรียบเชิงประสิทธิภาพของเทคนิคสมัยใหม่

ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของการถ่ายเทมวลในระบบสกัด โดยพบว่า MAE และ UAE สามารถลดปริมาณตัวทำละลายได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากกลไกการให้พลังงานโดยตรงและการเพิ่มประสิทธิภาพการแพร่ของสาร ส่งผลให้การสกัดมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนำไปสู่การพัฒนากรอบแนวคิดเชิงเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการสกัด โดยอาศัยตัวแปรหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณตัวทำละลาย ดังแสดงใน Figure 2

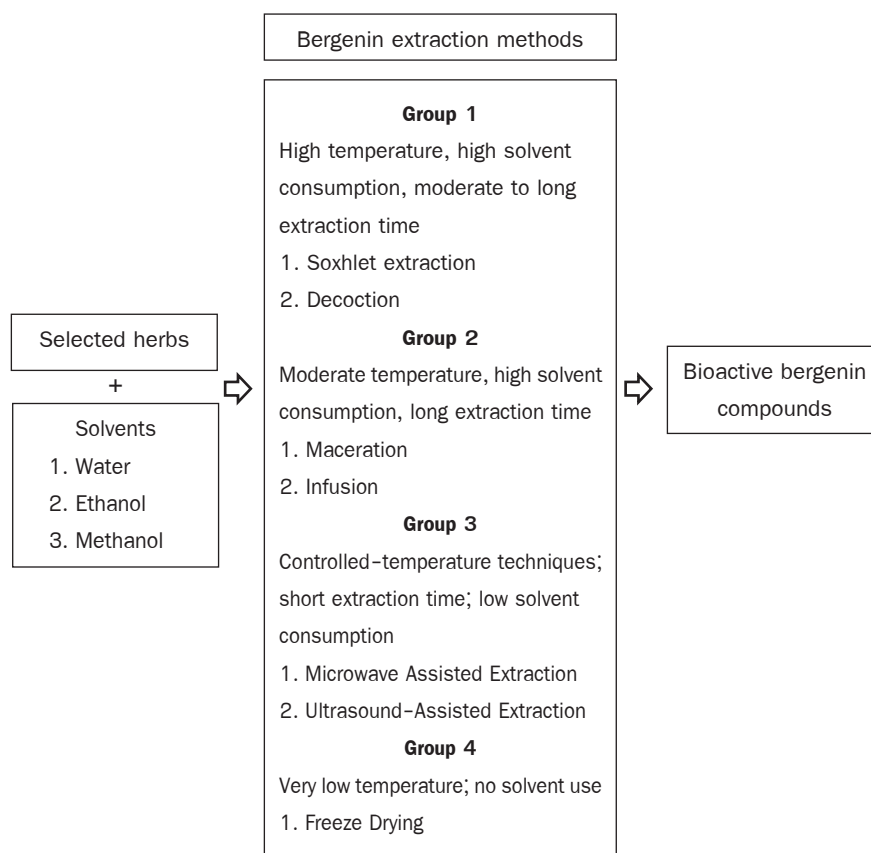


Figure 2 Conceptual framework illustrating the advantages and limitations of bergenin extraction processes

อภิปรายผล

การเลือกใช้เทคนิคการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การนำไปใช้ ควบคู่กับปัจจัยของกระบวนการที่มีผลต่อทั้งปริมาณและคุณภาพของสารออกฤทธิ์ โดยการศึกษาเรื่องนี้มุ่งวิเคราะห์ปัจจัยหลัก 3 ประการ ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณตัวทำละลาย ซึ่งมีอิทธิพลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการสกัดของ bergenin ทั้งในเชิงปริมาณ (%yield) และความคงตัวของสาร

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิเป็นตัวแปรกำหนดที่สำคัญที่สุดต่อความคงตัวของ bergenin

เนื่องจาก bergenin เป็นสารในกลุ่มโพลีฟีนอลที่ไวต่อความร้อน เทคนิคที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างเหมาะสม เช่น MAE และ UAE จึงมีแนวโน้มช่วยลดการสลายตัวของสารและเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ในทางตรงกันข้าม เทคนิคที่ใช้ความร้อนต่อเนื่อง เช่น Soxhlet extraction และ Decoction อาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของสาร ส่งผลต่อความบริสุทธิ์และฤทธิ์ทางชีวภาพ

นอกจากปัจจัยหลักดังกล่าว ความแปรปรวนของปริมาณ bergenin ยังสัมพันธ์กับปัจจัยเชิงวัตถุดิบและการเตรียมตัวอย่าง ได้แก่ ชนิดพืช แหล่ง

ปลูก และองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งมีผลต่อการปลดปล่อยและการละลายของสารในตัวทำละลาย ความแตกต่างดังกล่าวสามารถประเมินได้จากค่าร้อยละผลผลิต (%yield) และการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงแบบเฟสย้อนกลับ (Reversed-phase-high-performance liquid chromatography (RP-HPLC) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่มีความจำเพาะและความแม่นยำสูง^[21]

ผลการทบทวนยังสะท้อนว่า นอกจากอุณหภูมิ ระยะเวลา และตัวทำละลาย อาจมีปัจจัยเสริมอีก เช่น ค่า pH ความเข้มข้นของตัวทำละลาย การกวนผสม และการใช้ co-solvent มีบทบาทต่อประสิทธิภาพการสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การออกแบบกระบวนการสกัดควรพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ร่วมกัน เพื่อให้ได้สารสกัดที่มีปริมาณ bergenin สูงและคงสภาพทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพได้อย่างเหมาะสม

ข้อสรุป

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบเทคนิคการสกัดสาร bergenin จากสมุนไพร โดยอาศัยกรอบการวิเคราะห์แนวคิดของ Walker and Avant เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการสกัด ผลการศึกษารูปได้ว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และชนิดของตัวทำละลาย เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดทั้งปริมาณและความคงตัวของสาร โดยมีบทบาทในการสร้างสมดุลระหว่างการปลดปล่อยสารและการคงสภาพทางเคมีของ bergenin^[22]

การออกแบบกระบวนการสกัดอย่างเป็นระบบ โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวมีความสำคัญต่อการพัฒนาเทคนิคการสกัดที่มีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมคุณภาพได้ และมีศักยภาพในการ

ประยุกต์ใช้ทั้งในระดับงานวิจัยและอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์สมุนไพร

ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษานี้สะท้อนความจำเป็นของการพัฒนาแนวทางการสกัดที่มีมาตรฐานและสามารถทำซ้ำได้ เพื่อให้ได้สารสกัดที่มีคุณภาพสม่ำเสมอทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังอยู่ในระดับการวิเคราะห์เชิงแนวคิด จึงควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในเชิงทดลอง เพื่อกำหนดสภาวะการสกัดที่เหมาะสมที่สุด

นอกจากนี้ ควรมีการประเมินฤทธิ์ทางชีวภาพและความปลอดภัยของสารสกัดภายใต้เงื่อนไขที่พัฒนาแล้ว รวมถึงการศึกษาระดับคลินิก เพื่อยืนยันศักยภาพของ bergenin ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรหรือสารออกฤทธิ์ทางเภสัชกรรมที่มีมาตรฐานและสามารถนำไปใช้จริงได้ในอนาคต

Reference

1. Herbal Products Division. National list of essential medicines for herbal medicines. Bangkok: Herbal Products Division; 2023. (in Thai)
2. Silva-Neto OC, Felix CSA, Aguiar LO, et al. Microwave extraction and isolation of bergenin: optimization and analytical approaches. BMC Chem. 2024;18:112.
3. Ajrina Fitri Z, Ahmadi F, Islam MA, et al. A systematic review of extraction methods and phytochemicals: implications for bioactive compound recovery. Food Sci Nutr. 2025;13(4):e70138.
4. Zia S, Rifna EJ, et al. Impact of extraction techniques on phytochemical composition and bioactivity of natural products. Front Pharmacol. 2025;16:1615338.
5. Walker LO, Avant KC. Strategies for theory construction in nursing. 5th ed. Upper Saddle River (NJ): Pearson; 2005.

6. Bharate SB. Discovery and preclinical development of IIIM-160, a *Bergenia ciliata*-based anti-inflammatory botanical drug candidate. *J Integr Med.* 2019;17(3):192-204.
7. Qiu M, Zhang Y, Yuan L, Xiao Q, Zhang Z, Deng Y. Design and evaluation of pH-sensitive nanoformulation of bergenin. *Pharmaceutics.* 2022;14(5):1002.
8. Zhang Y, Li X, Wang Z. Advances in bergenin pharmacology and formulation strategies. *Pharmaceutics.* 2023;15(2):412.
9. Zhang QW, Lin LG, Ye WC. Techniques for extraction and isolation of natural products. *Chin Med.* 2018;13:20.
10. Parmar A, Immanuel G. Antioxidant activity of extracts produced by microwave-assisted and conventional methods. *Orient J Chem.* 2022;38(4):935-40.
11. Di M, Wang J, Zhang Z. Extraction and analysis of chemical compositions of natural products. *Separations.* 2021;8(12):598.
12. Chemat F, Rombaut N, Meullemiestre A, et al. Review of green extraction of natural products: principles and applications. *Int J Mol Sci.* 2019;20:459.
13. Maitnork K, Mahadlek J. Phenolic profiling with antioxidant activity of Thai traditional medicine formulation. *Trop J Nat Prod Res.* 2021;5(2):244-249. (in Thai)
14. Wang L, Weller CL. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends Food Sci Technol.* 2019;91:1-12.
15. Bumrungrachana W, Kamontham T. Comparative analysis of Koklan extract. *Sakthong J Sci Technol.* 2020;7(1):97-106. (in Thai)
16. Maitnork K, Sombutphoothorn S, Noontum P, et al. Total phenolic content of Ko Klan remedy. *KKU Sci J.* 2020;48(1):95-107. (in Thai)
17. Muniz MP, Nunomura RCS, Nunomura SM. Quantification of bergenin and NO inhibition. *Quim Nova.* 2020;43(4):469-473.
18. Boonsong N, Preeprame S, Putalun W. Quantitative determination of bergenin by HPLC. *KKU Res J (Grad Stud).* 2020;20(3):1-10. (in Thai)
19. Sriset Y, Chatuphonprasert W, Jarukamjorn K. Antioxidant potential of *Mallotus repandus*. *Songklanakarin J Sci Technol.* 2021;43(1):24-30. (in Thai)
20. Silva-Neto OC, Assis Felix CS, de Oliveira Aguiar L, et al. Microwave extraction and molecular imprinted polymer isolation of bergenin. *BMC Chem.* 2024;18:13.
21. Chen X, Zhang W. Reverse-phase HPLC quantification of bergenin in herbal extracts. *Sep Sci Plus.* 2019;2(1):15-20.
22. Ghosh T, Mitra PK. Effect of extraction conditions on bergenin. *Saudi J Biomed Res.* 2022;7(1):33-36.