

การใช้คลื่นไมโครเวฟสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร

Microwave-Assisted Extraction of Active Compounds from Medicinal Plants

อารีรัตน์ ชื่อดี

Areerat Suede

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

Faculty of Pharmacy, Eastern Asia University

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าองค์ประกอบทางเคมีจากสารสกัดของพืชสมุนไพรเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพื่อจะนำมาใช้ประโยชน์ทางยาหรือเป็นอาหารเสริมสุขภาพ ขั้นตอนการนำสารสำคัญจากพืชสมุนไพรออกมาจำเป็นต้องใช้วิธีการสกัด ในปัจจุบันการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความสะดวก รวดเร็ว ลดช่วงระยะเวลาของการสกัด และสามารถลดปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีสกัดแบบดั้งเดิมซึ่งเป็นวิธีที่สิ้นเปลืองตัวทำละลาย การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟนี้มีปัจจัยหรือสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดสารสำคัญดังนี้คือระบบตัวทำละลายและสัดส่วนของตัวทำละลายต่อผงสมุนไพรกำลังของคลื่นไมโครเวฟและอุณหภูมิระยะเวลาการสกัดและจำนวนรอบในการสกัดพื้นที่ผิวสัมผัสและการคนสาร วิธีการนี้จะเหมาะสมสำหรับสารประกอบฟีนอลที่เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น ฟีนอลิก แอซิด, ไอโซฟลาโวนและทราน-เรสเวราทรอลนอกจากนั้นวิธีการนี้อาจเรียกได้ว่าเป็นวิธีกรีน ซึ่งส่วนมากจะใช้น้ำหรือแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลายในการสกัดร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิและสภาวะความดันที่ใช้ให้เหมาะสมดังนั้นวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจึงเป็นวิธีทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อทดแทนวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมได้

คำสำคัญ: การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ, สารสกัดพืชสมุนไพร, สารสำคัญ, สารประกอบฟีนอล

Abstract

Study of phytochemicals from medicinal plant extracts are of great importance to the pharmaceutical medicine and dietary supplement industry. Extraction method is a tool for the extraction of active compounds from medicinal plants. Currently, Microwave-assisted extraction (MAE) method is used because this method is convenient, rapid, has a shorter extraction time and less solvent consumption as compared to traditional methods which use of large volumes of organic solvent. The optimum operating factors influencing in the MAE processes such as solvent nature and solvent feed ratio were: S/F ratio, microwave power and extraction temperature, extraction time and cycle, plant matrix characteristic and effect of stirring. MAE is suitable for small-molecule phenolic compounds such as phenolic acids, isoflavin and trans-resveratrol. Moreover, MAE is known as the “Green method” that mainly uses water or alcohol as solvent extraction with controlled temperature and pressure suitable conditions. Therefore, MAE is an interesting alternative method that can be used to replace the traditional extraction methods.

Keywords: microwave-assisted extraction, medicinal plant extracts, active compounds, phenolic compounds

บทนำ

ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากสารสกัดของพืชสมุนไพรเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางยาหรือเป็นอาหารเสริมสุขภาพซึ่งจะเริ่มต้นจากตั้งแต่การเก็บตัวอย่างของพืชสมุนไพร ตามด้วยขั้นตอนการสกัดสาร การแยกสาร การทำให้สารที่แยกออกมานั้นบริสุทธิ์และการวิเคราะห์พืชสมุนไพรเอกลักษณ์ของสูตรโครงสร้าง โดยขั้นตอนวิธีการการนำสารสำคัญจากพืชสมุนไพรออกมาเพื่อใช้ประโยชน์ทางยาได้นั้นจำเป็นต้องใช้วิธีการสกัดเพื่อให้ได้เป็นสารสกัดหยาบ จากนั้นจึงไปสู่ขั้นตอนการแยกสารเพื่อทำให้สารนั้นบริสุทธิ์มากขึ้น ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการสกัดมีหลากหลายวิธีด้วยกัน ยกตัวอย่างได้ดังนี้คือ (Handa, S. S., et. al., 2008; Liu, W. J. H., 2011; Azwanida, N. N., 2015)

1. การหมัก (Maceration Extraction--ME) วิธีการเป็นการนำผงสมุนไพรที่ผ่านการบดแล้วใส่ลงในภาชนะปิด จากนั้นเติมด้วยตัวทำละลายที่ต้องการสกัดแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3-7 วัน หมั่นกวนหรือคนสารสกัดบ่อย ๆ เพื่อให้ได้สารสำคัญออกมาจากสารสกัด เมื่อครบกำหนดเวลาจึงค่อย ๆ กรองนำสารสกัดออก ถ้าต้องการให้ได้สกัดสารออกมาได้มากที่สุดอาจสามารถสกัดซ้ำได้หลายครั้ง

2. การใช้ตัวทำละลายให้ไหลผ่านผงสมุนไพร (Percolation Extraction) เป็นการสกัดแบบต่อเนื่องด้วยเครื่อง percolator โดยการนำสมุนไพรมาหมักกับตัวทำละลายให้พอตัวเต็มทีพอขึ้นประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วค่อย ๆ ไล่ผงสมุนไพรไปที่ละน้อยจากนั้นจึงเติมตัวทำละลายลงไปให้สูงเหนือระดับสมุนไพร แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมงจากนั้นจึงไปเพื่อนำสารที่สกัดไว้ออกมาแล้วจึงเติมตัวทำละลายลงไปเช่นเดิมเพื่อสกัดซ้ำ ควรระวังอย่าให้ตัวทำละลายแห้ง

3. การชง (infusion) เป็นการสกัดสมุนไพรโดยใช้ระยะเวลาช่วงสั้น ๆ ร่วมกับการใช้น้ำร้อนหรือน้ำเย็น

4. การตุ๋น (digestion) เป็นการสกัดสมุนไพรโดยใช้ความร้อนแต่ใช้เวลานานกว่าการต้มโดยปริมาตรของตัวทำละลายอาจจะเหลือเพียง 1 ส่วนจาก 3 ส่วน

5. การต้ม (decoction) เป็นการต้มเพื่อสกัดสมุนไพร

ที่ละลายในน้ำได้ดีและทนความร้อนได้ดี ต้มหลังจากที่น้ำเดือดไปอีกประมาณ 15 นาที

6. hot continuous extraction (soxhlet extraction) เป็นการสกัดแบบต่อเนื่องโดยการใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำร่วมกับการใช้ความร้อนเพื่อให้ตัวทำละลายในภาชนะบรรจุตัวทำละลายระเหยขึ้นไปกระทบกับ condenser ด้านบนแล้วถูกควบแน่นกลั่นตัวลงมาใน thimble ที่บรรจุผงสมุนไพรไว้ (สมุนไพรไม่ได้สัมผัสกับโดยตรงแต่จะอยู่ใน thimble ซึ่งทำมาจากกระดาษกรองที่มีความแข็งแรงหรือพวก cellulose) โดยตัวทำละลายใน chamber จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับกัลก้นน้ำและไหลกลับลงไปที่ภาชนะบรรจุตัวทำละลายด้านล่าง จากนั้นตัวทำละลายจะระเหยขึ้นไปกระทบกับ condenser แล้วถูกควบแน่นกลั่นตัวทำละลายลงมาใน thimble อีกครั้งซึ่งการสกัดจะวนเวียนซ้ำไปเช่นนี้เรื่อย ๆ จนได้การสกัดที่สมบูรณ์

7. Heat Reflux Extraction (HRE) เป็นการสกัดสารสำคัญของสมุนไพรกับตัวทำละลายโดยใช้ความร้อนโดยจะสัมผัสกับความร้อนโดยตรงและถูกต้มให้ความร้อนจนเดือด จากนั้นตัวทำละลายจะระเหยขึ้นไปด้านบน condenser แล้วจะถูกควบแน่นกลั่นตัวลงมาเพื่อสกัดอย่างต่อเนื่อง และวนเวียนเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนได้การสกัดที่สมบูรณ์ซึ่งสารสกัดจะเข้มข้นขึ้น

8. Ultrasound Extraction (UAE) หรือ Sonication เป็นการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงในช่วง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 2,000 กิโลเฮิร์ตซ์เพื่อทำให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือเสียดสีกันเป็นความร้อนทำให้เกิดการสกัดและเกิดการปลดปล่อยสารสำคัญจากสมุนไพรออกมา

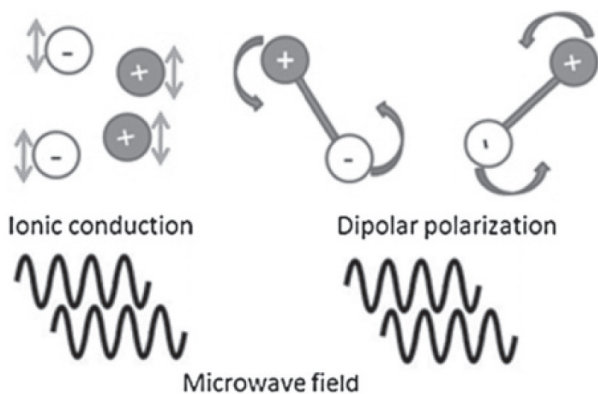
9. Microwave Extraction (MAE) เป็นวิธีการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่นนี้จะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกันและเกิดความร้อนขึ้นหรืออาจกล่าวได้ว่าเมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงด้านการเคลื่อนที่หรือเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้นซึ่งมีผลต่อเซลล์พืชและเกิดการสกัดออกมาของสารสำคัญ (ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในหลักการสกัดต่อไป)

จากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมที่ได้ยกตัวอย่างมานั้นจะมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปเช่นวิธีการการหมักการใช้ตัวทำละลายให้ไหลผ่านผงสมุนไพรนั้นเป็นการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ใช้ความร้อนจึงลดการสูญเสียสารสำคัญแต่สิ้นเปลืองตัวทำละลายค่อนข้างมากและใช้ระยะเวลาในการสกัดค่อนข้างนานกว่าจะสกัดสารได้อย่างสมบูรณ์ (Handa, S. S., et. al., 2008; Azwanida, N. N., 2015) ส่วนวิธีการขง การตุ๋น การต้มเป็นการสกัดโดยใช้ความร้อนซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญเสียสารสำคัญได้ การขงจะใช้ความร้อนในระยะเวลาสั้น ๆ มากกว่าการต้มซึ่งใช้ความร้อนสูงและเวลานาน ส่วนการตุ๋นความร้อนเช่นกันแต่จะใช้ระยะเวลานานกว่าการต้ม เป็นต้นดังนั้นกระบวนการการพัฒนาวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้สารสกัดที่มีคุณภาพซึ่งนอกเหนือจากวิธีการสกัดตามที่กล่าวมาแล้วนั้นในปัจจุบันการสกัดโดยใช้ MAE เป็นวิธีที่มีความนิยมมากขึ้น ดังนั้นในบทความนี้จะขอกล่าวถึงข้อมูลการสกัดโดยใช้ MAE เป็นหลัก เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความสะดวก รวดเร็ว สามารถลดช่วงระยะเวลาและปริมาณการใช้ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม เช่น การหมักและการสกัดด้วย Soxhlet (Dhobil, M., et. al., 2009; Joshi, U., et. al., 2010; Ming, L. & Wenxiang, H., 2010; Azwanida, N. N., 2015) และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสกัดได้ (Zhao, L., et. al., 2006; Dhobi I, M., et. al., 2009; Ming, L. & Wenxiang, H., 2010) (โดยหากพิจารณาถึงปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดแบบดั้งเดิม วิธีการนี้จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดได้) ซึ่งได้มีการใช้ MAE เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการสกัดสารจากธรรมชาติในกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ glycosides, alkaloids, carotenoids, terpenoids, polyphenols และ essential oils (Alupului, A., et. al., 2012) ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสมสำหรับสารในกลุ่ม phenolic compounds ที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น phenolic acids (gallic acid และ ellagic acid), quercetin, isoflavin และ trans-resveratrol เพราะโมเลกุลของสารเหล่านี้จะมีความคงตัวที่ภายใต้สภาวะความร้อนของคลื่นไมโครเวฟที่ 100 °C เป็นเวลา 20 นาที แต่ในการเพิ่มจำนวนรอบของการสกัด (เช่น จาก 2 รอบ, 10 วินาที ไปเป็น 3 รอบ, 10 วินาที) จะทำให้ปริมาณของสารกลุ่ม phenolics และ flavanones และหรือ dihydroflavonols ลดลงอย่างมาก

ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร ส่วนสารกลุ่ม tannins และ anthocyanins อาจจะไม่เหมาะสมกับวิธีการสกัดนี้เนื่องจากอาจเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิที่สูงได้ (Trusheva, B., et. al., 2007; Azwanida, N. N., 2015)

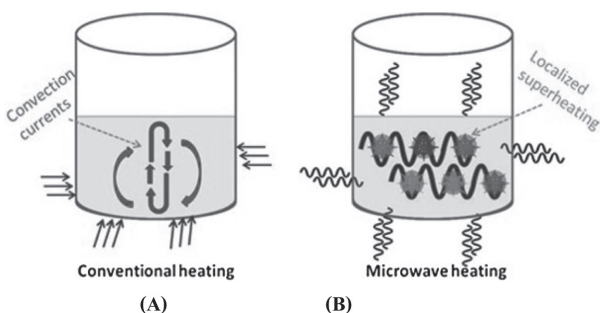
หลักการสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถอธิบายได้คือ เป็นการใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 3×10^2 ถึง 3×10^5 เมกะเฮิรตซ์ และความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 1 เมตร (Afoakwah, A. N., et. al., 2012; Songsak, T., 2016; Terigar, B. G., et. al., 2010) ร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดสารจากพืชสมุนไพรโดยเมื่อนำสารที่จะสกัดไปวางอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากนั้นด้วยคุณสมบัติความเป็นขั้วของโมเลกุลภายในสารที่จะสกัดจะเกิดแรงด้านการเคลื่อนที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นซึ่งมีผลต่อเนื้อเยื่อเซลล์ ของสารสกัดและมีผลต่อการละลายของสารสำคัญที่ต้องการและด้วยคุณสมบัติของตัวทำละลายที่แตกต่างกันจึงทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกันไปเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออาจกล่าวได้ว่ากระบวนการทำความร้อนของคลื่นไมโครเวฟเกิดจากกระบวนการถ่ายเทพลังงานจาก 2 กลไก ได้แก่ dipole rotation และ ionic conduction ผ่านการเปลี่ยนแปลง dipole และแทนที่ไอออนที่มีประจุในสารและตัวทำละลาย โดยที่ทั้งสองกระบวนการเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน การเคลื่อนย้ายไอออนจากการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเรียกว่า ionic conduction หากตัวทำละลายด้านการเคลื่อนที่ของไอออน จะส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานและทำให้เกิดความร้อนขึ้น การปรับเปลี่ยน dipole ของโมเลกุลรวมกับการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าเรียกว่า dipole rotation โดยที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ คลื่นไมโครเวฟเปลี่ยน electric component ด้วยความเร็ว 4.9×10^4 ครั้งต่อวินาที จึงเกิดความร้อนขึ้นจากแรงเสียดทาน การถ่ายเทพลังงานเป็นคุณสมบัติหลักของการทำความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ พบว่าที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์เป็นความถี่นิยมใช้กันมาก มีกำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วง 600-700 วัตต์ ซึ่งโดยปกติการถ่ายเทความร้อนของกระบวนการสกัดแบบดั้งเดิมนั้น พลังงานจะถ่ายเทไปยังสมุนไพรโดยการพาความร้อน (convection) การนำความร้อน (conduction) และการแผ่รังสี (radiation) ผ่านพื้นผิวภายนอก

ของสมุนไพรมีความแตกต่างของอุณหภูมิ (thermal gradient) ในกรณีของการสกัดสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ พลังงานไมโครเวฟถูกนำส่งโดยตรงไปยังสมุนไพรรผ่านอันตรกิริยาระดับโมเลกุล (molecular interaction) ด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านการเปลี่ยนแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนหรืออาจกล่าวได้ว่าคลื่นไมโครเวฟจะเปลี่ยนไปเป็นความร้อนโดยการทำให้อนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขั้วเสียดสีกันและทำให้เกิดความร้อนขึ้น (Afoakwah, A. N., et. al., 2012; Azwanida, N. N., 2015; Brian, W. R., 1994; Gude, V.G., et. al., 2013; Handa, S. S., et. al., 2008; Veggi, P. C, et. al., 2013; Rungsardthong, V., 2014; Songsak, T., 2016)



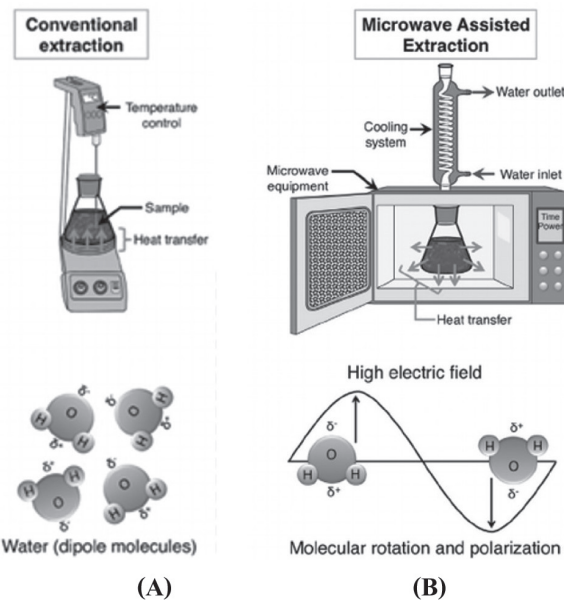
ภาพ 1 แสดง dipole rotation และ ionic conduction ของคลื่นไมโครเวฟ

ที่มา. จาก *Microwave energy potential for biodiesel production*, โดย Gude, V. G., Patil, P., Martinez-Guerra, E., Deng, S., & Nirmalakhandan, N., 2013, *Sustainable Chemical Processes*, 1(5), 1-31.



ภาพ 2 แสดงกลไกการสกัดของวิธีการแบบดั้งเดิม (A) และการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (B)

ที่มา. จาก *Microwave energy potential for biodiesel production*, โดย Gude, V. G., Patil, P., Martinez-Guerra, E., Deng, S., & Nirmalakhandan, N., 2013, *Sustainable Chemical Processes*, 1(5), 1-31.



ภาพ 3 แสดงการสกัดของวิธีการแบบดั้งเดิม (A) และการสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (B)

ที่มา. จาก *Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review*, โดย Barba, F. J., Zhu, Z., Koubaa, M., Sant'Ana, A. S., & Orlie, V., 2016, ค้นจาก https://www.researchgate.net/figure/290045785_fig3_Fig-3-A-Experimental-set-up-for-conventional-extraction-of-high-added-value-molecules

นอกจากนี้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากคลื่นไมโครเวฟขึ้นอยู่กับค่า Dissipation factor ($\tan \delta$) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของการสกัดสารที่ใช้คลื่นไมโครเวฟโดยวัดความสามารถของวัสดุตัวอย่างในการดูดซับพลังงานไมโครเวฟและกระจายความร้อนไปยังโมเลกุลข้างเคียงซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการเกิดความร้อนของไมโครเวฟ โดยวัสดุตัวอย่างที่มีค่า $\tan \delta$ และ dielectric loss หรือ loss factor (ϵ'') สูง ร่วมกับค่า dielectric constant (ϵ') ปานกลาง จะสามารถเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟไปเป็นพลังงานความร้อนได้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทั้งสามประการนี้แสดงได้

ดั่งสมการ

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$$

โดยที่ค่า dielectric constant (ϵ') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เมื่อนำวางใน สนามไฟฟ้ากระแสสลับหรือเป็นค่าที่บ่งบอกถึงควมมีขั้ว (polarity) ของวัตถุตัวอย่างที่อุณหภูมิใด ๆ โดยถ้ามีค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มากแต่ค่าจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความชื้นของวัตถุตัวอย่าง ค่า dielectric loss หรือ loss factor (ϵ'') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูงคำว่า “loss” หรือสูญเสียหมายถึง การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

ดังนั้นจากสมการค่า loss tangent ($\tan \delta$) แสดงให้เห็นถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนค่าเหล่านี้ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น (Alupului, A., et. al., 2012; Veggi, P. C, et. al., 2013; Rungsardthong, V., 2014; Songsak, T., 2016)

ตาราง 1

แสดงค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของตัวทำละลายที่นิยมใช้ใน MAE (Veggi, P. C, et. al., 2013; Songsak, T., 2016)

ตัวทำละลาย	Dielectric constant ^a (ϵ')	Dissipation factor ($\tan \delta$) ($\times 10^{-4}$)	จุดเดือด ^b (°C)	ความหนืด ^c (cP)
อะซีโตน	20.7	5,555	56	0.30
อะซีโตนไนไตรล์	37.5	-	82	-
เอทานอล	24.3	2,500	78	0.69
เฮกเซน	1.89	-	69	0.30
เมทานอล	32.6	6,400	65	0.54
2-โพรพานอล	19.9	6,700	82	0.30
น้ำ	78.3	1,570	100	0.89
เอทิล อะซิเตท	6.02	5,316	77	0.43
เฮกเซน-อะซีโตน	-	-	52	-

^aวัดที่อุณหภูมิ 20 °C, ^bวัดที่ 101.4 kPa, ^cวัดที่อุณหภูมิ 25 °C

ในการสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพในการสกัดได้ดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับการใช้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดในด้านต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ระบบตัวทำละลายและสัดส่วนของตัวทำละลายต่อผงสมุนไพร (Solvent nature and solvent feed ratio --S/F ratio)

การคัดเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมจะส่งผลให้สามารถสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรได้มากขึ้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการละลายของสารสำคัญที่ต้องการสกัดออกมา การซึมผ่านของตัวทำละลายและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างด้านในของสารตัวอย่างสมุนไพร โดยที่ค่า ϵ' ของตัวทำละลายและจลนศาสตร์การถ่ายเทมวลของสารของตัวทำละลายที่ดีควรจะมีค่าเฉพาะต่อสารสำคัญที่ต้องการสกัด ในขณะที่สามารถสกัดสารที่ไม่ต้องการออกมาได้น้อยที่สุด การคัดเลือกตัวทำละลายที่นำมาใช้ในการสกัดสารด้วยคลื่นไมโครเวฟจะต้องพิจารณาความสามารถของตัวทำละลายในการดูดซึมพลังงานไมโครเวฟเพื่อทำให้เกิดความร้อนโดยที่ระดับของการดูดซึมคลื่นไมโครเวฟจะเพิ่มขึ้นตามค่า ϵ' ดังแสดงในตารางที่ 1

2. กำลังของคลื่นไมโครเวฟ (microwave power) และอุณหภูมิ (extraction temperature)

การตั้งค่ากำลังของคลื่นไมโครเวฟและอุณหภูมิจะแปรผันตามกัน โดยกำลังของคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ผลผลิตจากการสกัดเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งคงที่และลดลง ในที่สุดการที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ระบบการสกัดมีความหนืดและแรงตึงผิวลดลง ซึ่งจะทำให้ตัวทำละลายที่ใช้สามารถละลายสารได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นการเพิ่มกำลังไมโครเวฟจะช่วยเพิ่มปริมาณสารสำคัญจากการสกัดและลดระยะเวลาการสกัดสารได้อย่างไรก็ตามในการเพิ่มกำลังไมโครเวฟอาจทำให้สูญเสียสารสำคัญบางชนิดหรือเกิดการสลายตัวได้

3. ระยะเวลาการสกัดและจำนวนรอบในการสกัด (extraction time and cycle)

การสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมโดยทั่วไปจะใช้เวลาต่ำกว่า 30 นาที ซึ่งสามารถช่วยลดความเสี่ยงการสลายตัวของสารที่ไวต่อความร้อนหรือปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ในการเพิ่มระยะเวลาและจำนวนรอบการสกัดนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณสารสำคัญจากสารสกัด ในการเพิ่มจำนวนรอบของการสกัดนั้น หากเพิ่มถึงในระดับหนึ่งแล้วปริมาณสารสกัดที่ได้จะคงที่จนกระทั่งไม่สามารถสกัดเพิ่มได้อีก

4. พื้นที่ผิวสัมผัส (plant matrix characteristic)

เนื่องจากประสิทธิภาพการสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟไม่ได้ขึ้นอยู่กับสถานะของการสกัดเพียงเท่านั้น แต่ส่วนของพืชสมุนไพรเองก็สามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดได้เช่นกัน พื้นที่ผิวของ

พืชสมุนไพรที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของการสกัดสูงขึ้นด้วย ขนาดของพืชสมุนไพรที่มีขนาดเล็กจะทำให้ผ่านคลื่นไมโครเวฟได้มากยิ่งขึ้น แต่หากขนาดอนุภาคที่เล็กเกินไปนั้นอาจทำให้เกิดความยุ่งยากต่อการกรองหรือการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกกากสมุนไพรออกจากสารละลาย ซึ่งอาจใช้วิธีการแช่พืชสมุนไพรในตัวทำละลายก่อนที่จะสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตจากการสกัดได้มากขึ้นอีกทั้งความชื้นของพืชสมุนไพรที่ยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายในการสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟได้ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของตัวทำละลาย ยกตัวอย่างเช่น การเติมน้ำลงไปในระบบตัวทำละลายจะสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซึมไมโครเวฟได้ โดยจะส่งผลต่อกระบวนการทำความร้อนและจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสำคัญในสมุนไพรได้

5. ผลของการคนสาร (effect of stirring)

ในการคนสารนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายเทมวลสาร ซึ่งการคนสารนั้นจะช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการสกัดสารโดยจะช่วยเพิ่มการละลายของสารออกมาจากด้านในของสมุนไพรได้อีกทั้งในการคนสารจะช่วยลดการใช้ตัวทำละลายให้น้อยลงหรือสามารถทำให้ระบบตัวทำละลายและสัดส่วนของตัวทำละลายต่อพืชสมุนไพรลดลงได้ (Chan, C. H., et. al., 2011; Alupului, A., et. al., 2012; Songsak, T., 2016)

จากตามที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งได้มีข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรโดยใช้ MAE ซึ่งเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมหรือแบบอื่น ๆ ได้ดังตารางที่ 2 และมีรายงานการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรโดยใช้ MAE ที่สภาวะการสกัดต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตาราง 2

แสดงข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสารโดยใช้ MAE โดยเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมหรือแบบอื่น ๆ

พืช	สาร/กลุ่มสาร	วิธีการสกัด	ปริมาณสาร/ สารสำคัญที่สกัดได้	เอกสาร อ้างอิง
<i>Ganoderma atrum</i> (เห็ดหลินจือ)	Triterpenoidsaponins	MAE: 95% ethanol, 25 ml/g, 800 W, 5 min (10 min total), 2 extraction cycles, 90 °C	5.11%	Chen, Y., et. al., 2007; Chan, C. H., et. al., 2011
		HRE: 95% ethanol, 25 ml/g, 1hr, 95 °C	2.22%	
		UAE: 95% ethanol, 25 ml/g, 15 min, room temperature, ultrasonic bath	1.72%	
<i>Macleayacordata</i> (พล)	Sanguinarine, Chelerythrine	MAE: 0.1 M HCl, 100 ml/g, 280 W, 5 min	17.10 mg/g (Sanguinarine)	Zhang, F., et. al., 2005; Chan, C. H., et. al., 2011
			7.09 mg/g (Chelerythrine)	
		UAE: 0.1 M HCl, 100 ml/g, 30 min, ultrasonic bath	10.74 mg/g (Sanguinarine)	
			5.61 mg/g (Chelerythrine)	
<i>Mimusops elengi</i> (ใบพิศุกล)	Epigallocatechin	ME: 0.1 M HCl, 100 ml/g, 30 min, 100 °C	16.87 mg/g (Sanguinarine)	Suedee, A., 2012
			7.31 mg/g (Chelerythrine)	
<i>Mimusops elengi</i> (ใบพิศุกล)	Epigallocatechin	MAE: methanol, 200 ml/g, 90 W, 1 min, 3 irradiation cycles (1 cycle = 60 sec power on และ 15 sec power off), 1 extraction cycle	5.15%	Suedee, A., 2012
		HRE: methanol, 200 ml/g, 20 min	0.59%	
		UAE: methanol, 200 ml/g, 20 min, room temperature, ultrasonic bath	0.53%	

พืช	สาร/กลุ่มสาร	วิธีการสกัด	ปริมาณสาร/ สารสำคัญที่สกัดได้	เอกสาร อ้างอิง
<i>Radix astragali</i> (รากอังกี้)	Astragaloside (AG I-IV)	MAE: 80% ethanol, 25 ml/g, 700 W, 5 min (15 min total), 3 extraction cycles, 70 °C	AG I: 0.788 mg/g	Yan, M. M., et. al., 2010; Chan, C. H., et. al., 2011
			AG II: 0.351 mg/g	
			AG III: 0.206 mg/g	
			AG IV: 0.278 mg/g	
			AG I: 0.770 mg/g	
			AG II: 0.347 mg/g	
			AG III: 0.193 mg/g	
			AG IV: 0.242 mg/g	
			AG I: 0.761 mg/g	
			AG II: 0.352 mg/g	
			AG III: 0.203 mg/g	
			AG IV: 0.257 mg/g	
			AG I: 0.519 mg/g	
			AG II: 0.302 mg/g	
			AG III: 0.19 mg/g	
			AG IV: 0.225 mg/g	
			AG I: 0.411 mg/g	
			AG II: 0.299 mg/g	
			AG III: 0.166 mg/g	
			AG IV: 0.206 mg/g	
<i>Pometiapinnata</i> (ใบแดงน้ำ)	Proanthocyanidin A2	MAE: methanol, 200 ml/g, 90 W, 1 min, 4 irradiation cycles (1 cycle = 60 sec power on และ 15 sec power off), 1 extraction cycle	36.58%	Suedee, A., 2012
		HRE: methanol, 200 ml/g, 20 min	3.42%	
		UAE: methanol, 200 ml/g, 20 min, room temperature, ultrasonic bath	3.43%	
<i>Xanthoceras sorbifolia</i> Bunge	Triterpenoid saponins	MAE: 40% ethanol, 30 ml/g, 900 W, 7 min (15 min total), 3 extraction cycles, 50 °C	11.62%	Li, J., et. al., 2010; Chan, C. H., et. al., 2011
		HRE: 40% ethanol, 30 ml/g, 90 min, 90 °C, 3 extraction cycles, 50 °C	10.82%	
		UAE: 40% ethanol, 30 ml/g, 60 min, 3 extraction cycles, 50 °C, ultrasonic bath	6.78%	

หมายเหตุ: ปริมาณสาร/สารสำคัญที่สกัดได้ (%) = น้ำหนักของสารสำคัญที่สกัดได้ x 100 / น้ำหนักของสารตัวอย่าง
(mg/g) = น้ำหนักของสารที่สกัดได้ / น้ำหนักของสารตัวอย่าง

โดยจากข้อมูลงานวิจัยในตารางที่ 2 จะพบว่าการใช้ MAE เพื่อสกัดสารจากพืชสมุนไพรแต่ละชนิดนั้นจะลดช่วงระยะเวลาของการสกัดสาร สามารถสกัดเพื่อเพิ่มปริมาณสารหรือสารสำคัญออกมาได้มากกว่าวิธีการสกัด

แบบดั้งเดิมอื่น ๆ โดยมักจะใช้ตัวทำละลายที่เป็นน้ำหรือแอลกอฮอล์ (เมทานอลหรือเอทานอล) ในการสกัดสารจากสมุนไพรที่มีการควบคุมอุณหภูมิและสภาวะความดันที่ใช้ให้เหมาะสม

ตาราง 3

แสดงข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสารโดยใช้ MAE ที่สภาวะการสกัดต่าง ๆ

พืช	สาร/กลุ่มสาร	ความถี่ (MHz), กำลังไฟฟ้า (W)	ตัวทำละลาย	อัตราส่วนของตัวทำละลาย/พืช (ml/g)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ความดัน (KPa)	เอกสารอ้างอิง
<i>Artemisia annua</i> Linn. (โถงจุฬาลัมพา)	Artemisinin	NA, 650 W	Ethanol, Trichloromethane, Cyclohexane, <i>n</i> -Hexane, Petroleum ether	>11.3	30-90	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 18	NA	Hao, J. U., et. al., 2002; Ruen-ngam, D., 2014; Songsak, T., 2016
<i>Camellia sinensis</i> (ชา)	Caffeine, Catechins	600 W	Ethanol-Water (1:1) หรือ Citric Acid-Water (1:1)	20	80	3	NA	Serdar, G., et. al., 2016;
<i>Camellia sinensis</i> (ชา), <i>Salvia officinalis</i> (เสฉง), <i>Achillea millefolium</i> , <i>Alchemilla vulgaris</i>	Polyphenols	NA, NA	80% Ethanol	20	80	4	NA	Songsak, T., 2016
<i>Capsicum annum</i> Linn. (พริก)	Capsaicinoids	NA, 500 W	Methanol, Ethanol, Acetone, Ethyl Acetate และ Water	50	50-200	5-20	NA	Barbero, G. F., et. al., 2006; Ruen-ngam, D., 2014
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (อบเชย), <i>Coriandrum sativum</i> (ผักชี), <i>Cuminum cyminum</i> (เทียนขาว), <i>Crocus sativus</i> (หญ้าฝรั่น)	Phenolic compounds	NA, NA	50% Ethanol	20	50	18	NA	Gallo, M., et. al., 2010; Songsak, T., 2016
<i>Eucommia ulmoides</i> (โด้วต่ง)	Geniposidic, Chlorogenic acid	2450 MHz, 700 W	Methanol-Water (80%), Methanol-Water (20%)	20	NA	0.10, 0.30, 50	NA	Li, H., et. al., 2004; Ruen-ngam, D., 2014

พืช	สาร/กลุ่มสาร	ความถี่ (MHz), กำลัง ไฟฟ้า (W)	ตัวทำละลาย	อัตราส่วน ของตัว ทำละลาย/ พืช (ml/g)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ความ ดัน (KPa)	เอกสาร อ้างอิง
<i>Ganoderma atrum</i> (เห็ดหลินจือ)	Total triterpenoid saponins	2450 MHz, 800 W	95% Ethanol, Chloroform, Ethyl Acetate, <i>n</i> -Butanol, Acetone, Methylene chloride-Methanol mixture (v/v,1:1)	25	60, 70, 78, 100, 120	5	NA	Chen, Y., et. al., 2007; Chan, C. H., et. al., 2011; Ruen-ngam, D., 2014
<i>Glycine max</i> Linn. Merrill (ถั่วเหลือง)	Isoflavones	NA, 500W	Ethanol หรือ Methanol, (vary water 30–70%)	50	50 - 150	10, 15, 20, 25, 30	NA	Mauricio, A., et. al., 2007; Ruen-ngam, D., 2014
<i>Glycyrrhiza glabra</i> Linn. (รากชะเอมเทศ)	Glycyrrhizic acid (GA)	2450 MHz, 700 W	Water, Ethanol, 50-60% Ethanol, Ammonia	10	85-90	4-5	NA	Pan, X., et. al., 2000; Ruen- ngam, D., 2014
<i>Herba epimedii</i> (หยีเมี่ยงขี้ก)	Flavonoids	NA, 100 W	Ethanol และ Methanol	NA	80	10	NA	Ruen-ngam, D., 2014
<i>Melilotus officinalis</i>	Coumarin, <i>o</i> -coumaric และ melilotic acids	NA, 100 W	Ethanol-Water	50	50, 110	5, 10	NA	Martino, E., et. al., 2006; Ruen-ngam, D., 2014
<i>Nicotiana glauca</i> Linn. (ใบยาสูบ)	Solanesol	2450 MHz, 700 W	Hexane, Ethanol, Hexane-Ethanol (3:1, 1:1, 1:3)	NA	60	5, 10, 20, 40, 60	NA	Ruen-ngam, D., 2014
<i>Panax ginseng</i> (รากโสม)	Ginsenosides	2450 MHz, 30 และ 150 W	Water-Ethanol	7.5	Ambient	1, 2, 5, 10, 15	NA	Shu, Y. Y., et. al., 2003; Ruen-ngam, D., 2014
<i>Radix puerariae</i>	Puerarin	2450 MHz, 700 W	Ethanol-Water (%) 0, 30, 50, 70, 95	5, 10, 20, 30, 40, 50	85, 90, 100, 115, 130, 135	2, 5, 8, 12, 30	50- 100	Ruen-ngam, D., 2014; Songsak, T., 2016
<i>Rhodiola</i> Linn.	Salidroside, Tyrosol	2450 MHz, 400 W	50% Methanol-Water	5	NA	1-8	NA	Mao, Y., et. al., 2007; Ruen- ngam, D., 2014
<i>Salvia miltiorrhiza</i> Bunge (รากตังกุย)	Tanshinones	NA	<i>n</i> -Butylacetate, 95% Ethanol, Methanol, Acetone, <i>n</i> -butanol, Ethyl acetate, Tetrahydrofuran	10	80	0.5 – 5	NA	Pan, X., et. al., 2001; Ruen- ngam, D., 2014

พืช	สาร/กลุ่มสาร	ความถี่ (MHz), กำลัง ไฟฟ้า (W)	ตัวทำละลาย	อัตราส่วน ของตัว ทำละลาย/ พืช (ml/g)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ความ ดัน (KPa)	เอกสาร อ้างอิง
<i>Taxusbaccata</i> (ยู)	Paclitaxel	NA, NA	90% Methanol	10:1.5	95	7	NA	Talebi, M., et. al., 2004; Songsak, T., 2016

หมายเหตุ NA = Not Available หรือไม่ได้กล่าวถึงในเอกสารอ้างอิง

บทสรุป

ในการสกัดสารโดยใช้ MAE ซึ่งในปัจจุบันเป็นวิธีที่มีความนิยมมากขึ้น โดยวิธีการนี้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหรือสภาวะที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ระบบตัวทำละลายและสัดส่วนของตัวทำละลายต่อผงสมุนไพร, กำลังของคลื่นไมโครเวฟ และอุณหภูมิ, ระยะเวลาการสกัดและจำนวนรอบในการสกัด, พื้นที่ผิวสัมผัส และการคนสารซึ่งวิธีการสกัดสารโดยใช้คลื่นไมโครเวฟนี้เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก มีความสะดวกและรวดเร็วในการสกัดเพื่อเพิ่มปริมาณสกัดหรือสารสำคัญให้สูงขึ้นโดยสามารถลดปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดจึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้สามารถลดช่วงระยะเวลาของการสกัดจากวิธีการดั้งเดิมได้เช่น วิธีการหมัก การใช้ตัวทำละลายให้ไหลผ่านผงสมุนไพรซึ่งเป็นการสกัดที่ไม่ใช้ความร้อนจึงลดปริมาณการสูญเสียสารสำคัญได้แต่สิ้นเปลืองตัวทำละลายมากและใช้ระยะเวลาในการสกัดนานกว่าเป็นต้น โดยเทคนิค MAE นี้สามารถนำไปใช้ในการสกัดสารจากธรรมชาติในกลุ่มต่าง ๆ ได้แก่ glycosides, alkaloids, carotenoids, terpenoids, polyphenols และ essential oils หรือน้ำมันหอมระเหยซึ่งวิธีการนี้มีข้อที่ถูกต้องเหมาะสมสำหรับสารในกลุ่ม phenolic compounds ที่เป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น phenolic acids (gallic acid และ ellagic acid), quercetin, isoflavins และ trans-resveratrol เพราะโมเลกุลของสารเหล่านี้จะมีความคงตัวหรือมีเสถียรภาพภายใต้สภาวะความร้อนของคลื่นไมโครเวฟที่ 100 °C เป็นเวลา 20 นาที แต่การเพิ่มจำนวนรอบของการสกัด (เช่น จาก 2 รอบ, 10 วินาที ไปเป็น 3 รอบ, 10 วินาที) จะทำให้ปริมาณ

ของสารกลุ่ม phenolics และ flavanones และหรือกลุ่ม dihydroflavonols นั้นลดลงอย่างมาก ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร ส่วนสารในกลุ่ม tannins และ anthocyanins อาจจะไม่เหมาะสมกับวิธีการสกัดนี้เนื่องจากอาจทำให้เกิดการสลายตัวของอนุมูลอิสระสูงได้ในการใช้คลื่นไมโครเวฟอาจเรียกได้ว่า Green method โดยเป็นเทคนิคที่ช่วยลดความพิชต่อสิ่งแวดล้อมโดยส่วนใหญ่จะใช้ตัวทำละลายในการสกัดที่เป็นน้ำหรือแอลกอฮอล์ร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิและสภาวะความดันที่ใช้ให้เหมาะสม (Trusheva, B., et. al., 2007; Azwanida, N. N., 2015) ซึ่งจากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะพบว่าตัวทำละลายที่ใช้ใน MAE ส่วนใหญ่จะใช้น้ำและเอทานอลหรือเมทานอล อาทิเช่นการสกัดสาร isoflavone จากถั่วเหลืองด้วย 30-70% เอทานอลหรือเมทานอล (Mauricio, A., et. al., 2007; Ruen-ngam, D., 2014) การสกัดสาร epigallocatechin จากใบพิกุลและการสกัดสาร Proanthocyanidin A2 จากใบแดงน้ำด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยจะใช้ตัวทำละลายเป็นเมทานอลในการสกัด (Suede, A., 2012) อย่างไรก็ตามในการเลือกวิธีการสกัดอาจขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสกัดคุณสมบัติสารตัวอย่างจากพืชสมุนไพรและตัวสารสำคัญที่ต้องการสกัดออกมา (Azwanida, N. N., 2015)

นอกจากนั้นยังสามารถนำเทคนิคนี้เพื่อปรับประยุกต์ใช้ในระดับที่ใหญ่ขึ้นหรือในอุตสาหกรรมในด้านต่าง ๆ ได้ ไม่ว่าจะเป็นด้านอาหารเพื่อการแปรรูปอาหารต่าง ๆ (การอบขนม การละลายน้ำแข็ง การทำให้อาหารสุก ฯลฯ) ด้านการเตรียมสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางยาหรืออาหารเสริมสุขภาพด้านการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณซึ่งจำเป็นต้องมี

ขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์หรือใช้เพื่อเพิ่มปริมาณสารสำคัญโดยอาจใช้ร่วมกับการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญของสมุนไพรโดยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งจะ

ทำให้ทราบถึงวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญสูงได้ ดังนั้น MAE จึงเป็นวิธีทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อทดแทนวิธีการสกัดสารแบบดั้งเดิมได้



References

- Afoakwah, A. N., Owusu, J., Adomako, C., & Teye, E. (2012). Microwave Assisted Extraction (MAE) of antioxidant constituents in plant materials. *Global journal of Bio-Science & Biotechnology*, 1(2), 132-140.
- Alupului, A., Călinescu, I., & Lavric, V. (2012). Microwave extraction of active principles from medicinal plants. *U.P.B. Scientific Bulletin, Series B*, 74(2), 129-142.
- Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatic Plants*, 4(3), 1-6.
- Barba, F. J., Zhu, Z., Koubaa, M., Sant'Ana, A. S., & Orlie, V. (2016). *Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/290045785_fig3_Fig-3-A-Experimental-set-up-for-conventional-extraction-of-high-added-value-molecules
- Barbero, G. F., Palma, M., & Barroso, C. G. (2006). *Determination of capsaicinoids in peppers by microwave-assisted extraction-high-performance liquid chromatography with fluorescence detection*. Retrieved from <http://files.instrument.com.cn/bbs/upfile/200611281082.pdf>
- Brian, W. R. (1994). *Microwave assisted extraction*. Retrieved from <http://www.cem.de/documents/pdf/re/re014.pdf>
- Chan, C. H., Yusoff, R., Ngoh, G. C., & Kung, F. W. L. (2011). Microwave-assisted extractions of active ingredients from plants. *Journal of Chromatography A*, 1218(37), 6213-6225.
- Chen, Y., Xie, M. Y., & Gong, X. F. (2007). Microwave-assisted extraction used for the isolation of total triterpenoidsaponins from Ganoderma atrum. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 162-170.
- Dhobil, M., Mandal, V., & Hemalatha, S. (2009). Optimization of microwave assisted extraction of bioactive flavonolignan - silybinin. *Journal of Chemical Metrology*, 3(1), 13-23.
- Gallo, M., Ferracane, R., Graziani, G., Ritieni, A., & Fogliano, V. (2010). Microwave assisted extraction of phenolic compounds from four different spices. *Molecules*, 15(9), 6365-6374.
- Gude, V. G., Patil, P., Martinez-Guerra, E., Deng, S., & Nirmalakhandan, N. (2013). Microwave energy potential for biodiesel production. *Sustainable Chemical Processes*, 1(5), 1-31.
- Handa, S. S., Khanuja, S. P. S., Longo, G., & Rakesh, D. D. (2008). *Extraction technologies for medicinal and aromatic plants*. Retrieved from https://www.unido.org/fileadmin/user_media/Publications/Pub_free/Extraction_technologies_for_medicinal_and_aromatic_plants.pdf

- Hao, J. U., Han, W., Huang, S. D., Xue, B. Y., & Deng, X. (2002). *Microwave-assisted extraction of artemisinin from Artemisia annua L.* Retrieved from <http://site.iugaza.edu.ps/tbashiti/files/2011/02/sdarticle1.pdf>
- Li, H., Chen, B., Zhang, Z., & Yao, S. (2004). Focused microwave-assisted solvent extraction and HPLC determination of effective constituents in Eucommia ulmoides Olive (E. ulmoides). *Talanta*, 63(3), 659–665.
- Li, J., Zu, Y. G., Fu, Y. J., Yang, Y. C., Li, S. M., Li, Z. N., & Wink, M. (2010). Optimization of microwave-assisted extraction of triterpenesaponins from defatted residue of yellow horn (Xanthoceras orbifolia Bunge) kernel and evaluation of its antioxidant activity, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(4), 637-643.
- Liu, W. J. H. (2011). *Traditional herbal medicine research methods: Identification, analysis, bioassay, and pharmaceutical and clinical studies*. New Jersey: Canada.
- Joshi, U., Ware, L., & Upadhye, M. (2010). Microwave assisted extraction of crude drugs. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 1(4), 330-332.
- Martino, E., Ramaiola, I., Urbano, M., Bracco F., & Collina S. (2006). Microwave-assisted extraction of coumarin and related compounds from Melilotus officinalis (L.) pallas as an alternative to soxhlet and ultrasound-assisted extraction. *Journal Chromatography A*, 1125(2), 147-151.
- Mauricio, A., Rostagno, Miguel, P., & Carmelo, G.B. (2007). Microwave assisted extraction of soy isoflavones. *Analytical Chimica Acta*, 588(2), 274-282.
- Mao, Y., Li, Y., & Yao, N. (2007). Simultaneous determination of dalidroside and tyrosol in extracts of Rhodiola L. by microwave assisted extraction and high-performance liquid chromatography. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 45(3), 510-515.
- Ming, L., & Wenxiang, H. (2010). *Highly efficient microwave-assisted and ultrasonic-assisted extraction*. Retrieved from <http://file.scirp.org/pdf/19-1.21.pdf>
- Pan, X., Liu, H., Jia, G., & Shu, Y. Y. (2000). Microwave-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. *Biochemical Engineering Journal*, 5(3), 173-177.
- Pan, X., Niu, G., & Liu, H. (2001). Microwave-assisted extraction of tanshinones from Salvia miltiorrhiza Bunge with analysis by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 922(1), 371-375.
- Ruen-ngam, D. (2014). Extraction of antioxidants. *Journal of Science Ladkrabang*, 23(2), 120-139. (in Thai)
- Rungsardthong, V. (2014). *Food processing technology: Using of microwave and infrared radiation*. Bangkok: Text and Journal. (in Thai)
- Serdar, G., Demir, E., Bayrak, S., & Sökmen, M. (2016). New approaches for effective microwave assisted extraction of caffeine and catechins from green tea. *International Journal of Secondary Metabolite*, 3(1), 3-13.
- Shu, Y. Y., Koa, Y. M., & Chang, Y. S. (2003). Microwave-assisted extraction of ginsenosides from ginseng root. *Microchemical Journal*, 74(2), 131-139.

- Songsak, T. (2016). *Extraction of active chemical constituent of herbal medicinal plant using microwave-assisted extraction technique*. Retrieved from http://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=79(in Thai)
- Suedee, A. (2012). *Phytochemical studies of Mimusopselengi and Pometiapinnata leaf extracts with anti-HIV-1 integrase activity*. Retrieve from <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/9292>
- Talebi, M., Ghassempour, A., Talebpour, Z., Rassouli, A., & Dolatyari, L. (2004). Optimization of the extraction of paclitaxel from *Taxusbaccata* L. by the use of microwave energy. *Journal of Separation Science*, 27(13), 1130-1136.
- Terigar, B. G., Balasubramanian, S., & Boldor, D. (2010). An analysis of the microwave dielectric properties of solvent-oil feedstock mixtures at 300-3,000 MHz. *Bioresource Technology*, 101(16), 6510-6516.
- Trusheva, B., Trunkova, D., & Bankova, V. (2007). Different extraction methods of biologically active components from propolis: A preliminary study. *Chemistry Central Journal*, 1(13), 1-4.
- Veggi, P. C, Martinez, J., & Meireles, M. A. A. (2013). Chapter 2: Fundamentals of microwave extraction. In Chemat, F., Cravotto, G. (Editors), *Microwave-assisted extraction for bioactive compounds: Theory and practice*. (15-52). Massachusetts: Springer US
- Yan, M. M., Liu, W., Fu, Y. J., Zu, Y. G., Chen, C. Y., & Luo, M. (2010). Optimisation of the microwave-assisted extraction process for four main astragalosides in *Radix astragali*. *Food Chemistry*, 119(4), 1663-1670.
- Zhang, F., Chen, B., Xiao, S., & Yao, S. (2005). *Optimization and comparison of different extraction techniques for sanguinarine and chelerythrine in fruits of Macleayacordata (Willd) R. Br 283*. Retrieved from <http://hgxy.hunnu.edu.cn/UploadFile/20061116102026532.pdf>
- Zhao, L., Zhao, G., Chen, F., Wang, Z., Wu, J., & Hu, X. (2006). Different effects of microwave and ultrasound on the stability of (all-E)-astaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(21), 8346-8351.

