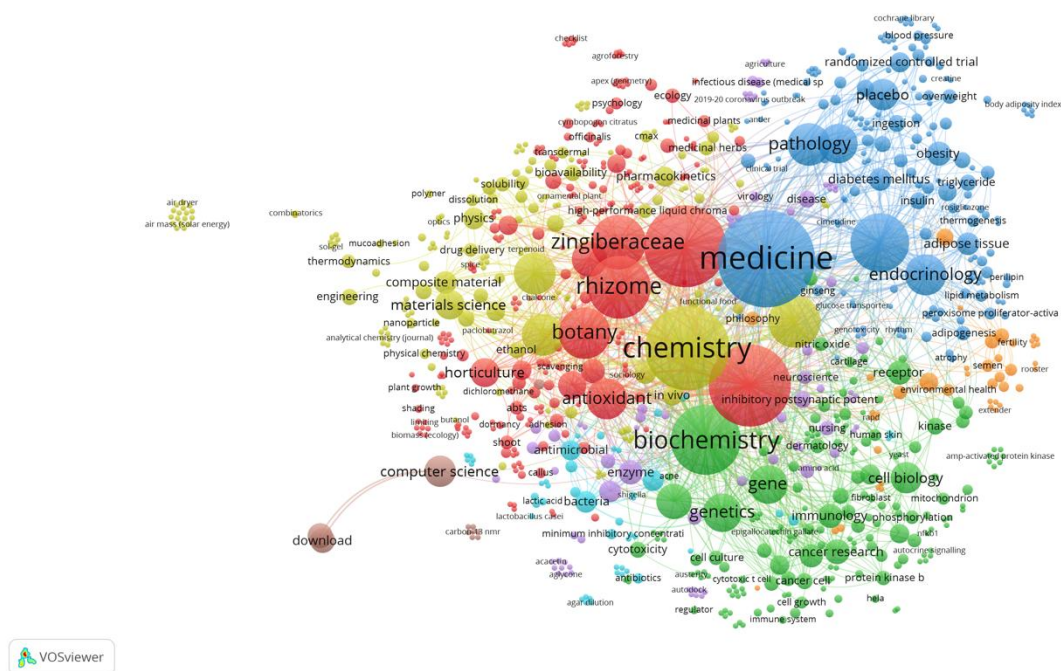


ผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการวิจัยและพัฒนากระชายดำ (*Kaempferia parviflora*) ระหว่างปี พ.ศ. 2557–2568 (ค.ศ. 2014–2025)



รูป 1 VOSviewer ของผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการวิจัยและพัฒนากระชายดำ

ภูมิทัศน์ของงานวิจัย (Research Landscape)

การทบทวนภูมิทัศน์งานวิจัย (Research Landscape) ของ *Kaempferia parviflora* ระหว่างปี พ.ศ. 2557–2568 (2014–2025) จากฐานข้อมูล OpenAlex และการทำแผนที่ด้วย VOSviewer แสดงให้เห็นการกระจุกตัวขององค์ความรู้ใน 5 คลัสเตอร์หลัก ซึ่งสามารถสะท้อนพลวัตขององค์ความรู้ (knowledge dynamics) ของกระชายดำในรอบทศวรรษที่ผ่านมาได้อย่างชัดเจน

คลัสเตอร์สีแดง: พืชศาสตร์ เหง้า และวงศ์ขิง (Botany / Rhizome / Zingiberaceae)

คลัสเตอร์นี้สะท้อนฐานความรู้ทางพฤกษศาสตร์และอนุกรมวิธานของกระชายดำ ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ขิง (Zingiberaceae) ที่มีความหลากหลายของสายพันธุ์สูง งานวิจัยในกลุ่มนี้มุ่งเน้นลักษณะทางสัณฐานวิทยา กายวิภาคของเหง้า และการจำแนกชนิดพันธุ์จากลักษณะทางพฤกษศาสตร์และดีเอ็นเอบาร์โค้ด (DNA barcoding) อย่างไรก็ตาม ความเชื่อมโยงกับศาสตร์แขนงอื่น เช่น horticulture, agronomy และ plant physiology ยังมีขนาด Node เล็กในเครือข่าย แสดงถึงการขาดการศึกษาเชิงระบบที่เชื่อมโยง พันธุกรรม–สิ่งแวดล้อม–การจัดการ (Genotype x Environment x Management: GxExM) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของ Good Agricultural and Collection Practices (GACP) ที่จะยกระดับคุณภาพวัตถุดิบสมุนไพรอย่างยั่งยืน

คลัสเตอร์สี่เหลือง: เคมี วัสดุศาสตร์ และเภสัชจลนศาสตร์ (Chemistry / Materials Science / Pharmacokinetics)

คลัสเตอร์นี้เป็นศูนย์กลางของการพัฒนาทางด้านเคมีสมุนไพรและวัสดุศาสตร์ โดยเฉพาะการเพิ่มการละลายและการดูดซึมของสารออกฤทธิ์หลักในกลุ่ม Polymethoxyflavones (PMFs) เช่น 5,7-dimethoxyflavone และ 3,5,7,3',4'-pentamethoxyflavone ซึ่งมีความเป็นไขมันสูงและละลายน้ำได้ยาก งานวิจัยในคลัสเตอร์นี้เน้นการใช้เทคโนโลยี nanoparticles, solid dispersion, phospholipid complex, cyclodextrin inclusion complex เพื่อเพิ่ม bioavailability ของสารสำคัญ อย่างไรก็ตาม การประเมิน pharmacokinetic–pharmacodynamic (PK/PD) correlation ยังขาดหลักฐานเชิงมนุษย์ (human bridging study) และยังไม่มี การเปรียบเทียบ (head-to-head) ระหว่างระบบนำส่งแต่ละประเภทอย่างเป็นระบบ

คลัสเตอร์สีเขียว: ชีวเคมี พันธุศาสตร์ และเภสัชวิทยา (Biochemistry / Genetics / Pharmacology)

คลัสเตอร์นี้เป็นพื้นที่ขององค์ความรู้ด้านฤทธิ์ทางชีวภาพของกระชายดำ โดยเฉพาะฤทธิ์ antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, anti-cancer, enzyme inhibition, nitric oxide modulation และ kinase regulation ซึ่งเกี่ยวข้องกับโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) และมะเร็ง งานจำนวนมากดำเนินในระดับ *in vitro* และ *in vivo* อย่างไรก็ตาม ความเชื่อมโยงเชิงกลไกระดับระบบ (systems-level mechanism) ยังไม่ชัดเจน การศึกษาเชิง network pharmacology ซึ่งสามารถอธิบายการออกฤทธิ์หลายเป้าหมาย (multi-target) และเส้นทางสัญญาณ (signal transduction pathways) ยังมีจำกัด ซึ่งจำเป็นต้องการเข้าใจ “ความซับซ้อนแบบองค์รวม” ของพฤติกรรมสารผสมในสมุนไพร

คลัสเตอร์สีฟ้า: การแพทย์และคลินิก (Medicine / Endocrinology / Clinical)

งานในคลัสเตอร์นี้ส่วนใหญ่เป็นการทดลองทางคลินิกแบบสุ่มและมีกลุ่มควบคุม (Randomized Controlled Trials: RCTs) ขนาดเล็กในคนไทย โดยมุ่งเน้นโรคที่เกี่ยวข้องกับ metabolic syndrome ได้แก่ โรคอ้วน เบาหวาน ความไวต่ออินซูลิน และความผิดปกติของระบบสืบพันธุ์เพศชาย (testosterone, sperm quality, sexual function) แม้ผลการทดลองให้สัญญาณบวกต่อสุขภาพเมตาบอลิซึมและการทำงานของต่อมไร้ท่อ แต่การศึกษาเหล่านี้มักมีขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 100 ราย ระยะเวลาสั้น และ outcome measures ที่ไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้ไม่สามารถสรุปเชิงสถิติที่มีพลังเชิงหลักฐาน (statistical power) ได้อย่างมั่นคง

คลัสเตอร์สีส้ม: สิ่งแวดล้อมและสัตวแพทย์ (Environmental & Veterinary)

แม้จะมีงานวิจัยจำนวนมากจำกัดในคลัสเตอร์นี้ เช่น การใช้กระชายดำเป็น poultry fertility extender และการศึกษาผลต่อสิ่งแวดล้อม แต่ประเด็นดังกล่าวสะท้อนโอกาสในการเชื่อมโยงแนวคิด “One Health” คือ สุขภาพของคน สัตว์ และสิ่งแวดล้อม อย่างบูรณาการ ซึ่งเป็นทิศทางสำคัญของงานสมุนไพรสมัยใหม่ในระดับสากล

องค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน (Current Knowledge)

1) ด้านเคมีพฤกษศาสตร์ (Phytochemistry)

องค์ความรู้ทางเคมีของกระชายดำมีความก้าวหน้าในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะการจำแนกและระบุสารในกลุ่ม Polymethoxyflavones (PMFs) ซึ่งถือเป็นสารออกฤทธิ์หลัก งานวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC, LC-MS/MS, NMR spectroscopy สามารถแยกและระบุโครงสร้างของสารหลักได้อย่างชัดเจน ได้แก่

- 5,7-dimethoxyflavone
- 3,5,7,3',4'-pentamethoxyflavone
- 5,7,4'-trimethoxyflavone

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์เชิงลึกของ “สารรอง (minor constituents)” และสารเมตาบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolites) อื่น ๆ ยังมีน้อยมาก

2) ด้านเภสัชวิทยา (Pharmacology)

งานวิจัยก่อนคลินิก (pre-clinical) ยืนยันฤทธิ์หลายด้าน ได้แก่

- ด้านออกซิเดชันและด้านการอักเสบ: ผ่านกลไกลดการแสดงออกของ NF- κ B, iNOS, COX-2 และการเพิ่มเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (SOD, GPx)
- ด้านมะเร็ง: ยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งหลายชนิดผ่านการเหนี่ยวนำ apoptosis และการยับยั้ง kinase cascade
- การคุ้มกันหัวใจและหลอดเลือด: ลด oxidative stress และภาวะไขมันในเลือดสูง
- ระบบเมตาบอลิซึมและสับสน: ปรับสมดุลฮอร์โมนเพศชาย เพิ่มคุณภาพน้ำอสุจิ และความไวต่ออินซูลิน

อย่างไรก็ตาม งานเหล่านี้มักจำกัดในระดับ *in vitro* หรือ *in vivo* โดยยังขาดการเชื่อมโยงกลไกจากระดับเซลล์สู่มนุษย์อย่างเป็นระบบ

3) ด้านการพัฒนาเทคโนโลยีการส่งยา (Formulation)

มีการเริ่มพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มการดูดซึม เช่น nanoparticles, phospholipid complex, cyclodextrin inclusion, self-emulsifying systems (SEDDS) แต่ยังไม่มีการศึกษาว่าแต่ละเทคโนโลยีมี pharmacokinetic advantage หรือความคงตัวสูงสุดในสภาวะ Zone IVb (ประเทศไทย) อย่างไร

4) ด้านการศึกษาทางคลินิก (Clinical Evidence)

มีการศึกษาทางคลินิกในคนไทยหลายฉบับ เช่น การใช้สารสกัดกระชายดำในผู้ป่วยโรคอ้วน เบาหวานชนิดที่ 2 และผู้ชายที่มีภาวะฮอร์โมนเพศชายต่ำ พบว่าสามารถปรับค่าดัชนี metabolic เช่น HOMA-IR, triglyceride, HDL และ serum testosterone ได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดคือ ระยะเวลาการศึกษาเฉลี่ย 8–12 สัปดาห์ และขาดข้อมูล เภสัชจลนศาสตร์ (PK) และเภสัชพลศาสตร์ (PD) ที่จำเป็นต่อการกำหนดขนาดยาอย่างเหมาะสมในมนุษย์

ช่องว่างของการวิจัยและพัฒนา (Research Gaps)

1) ด้านการปลูกและพฤกษศาสตร์ (Cultivation & Botany)

ปัจจุบันยังไม่มีงาน geo-chemotype mapping ที่เชื่อมโยงแหล่งปลูกกับองค์ประกอบทางเคมีอย่างเป็นระบบ ทั้งที่กระจายปลูกในหลายภูมิภาคของไทย (ภาคเหนือ อีสาน และตะวันตก) ซึ่งอาจมีความแตกต่างของสารสำคัญเนื่องจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม (pH ดิน ความสูงจากระดับน้ำทะเล โลหะหนัก และจุลินทรีย์ในดิน) การขาดฐานข้อมูลนี้ทำให้ยากต่อการพัฒนามาตรฐาน GACP เฉพาะพืช (Crop-specific GACP) และการควบคุมคุณภาพตั้งแต่ต้นน้ำ

2) ด้านองค์ประกอบทางเคมีและโอมิกส์ (Phytochemical & Omics)

งานวิจัยในปัจจุบันยังเน้นสาร PMFs เพียงไม่กี่ชนิด ขาดการศึกษาด้วยเทคนิค untargeted metabolomics, transcriptomics, proteomics, และ microbiome ที่สามารถอธิบายการตอบสนองของร่างกายต่อสารผสมได้ในระดับระบบ (systems level) นอกจากนี้ ยังไม่มีการศึกษา gut microbiota-mediated biotransformation ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญต่อการทำความเข้าใจกลไกการออกฤทธิ์ในร่างกายมนุษย์

3) ด้านเภสัชวิทยาเชิงระบบ (Pharmacology & Systems Biology)

แม้งานวิจัยก่อนคลินิกยืนยันฤทธิ์หลายด้าน แต่ยังไม่มี network pharmacology ที่เชื่อมโยงสารสำคัญกับกลุ่มเป้าหมายโมเลกุล (targets) และทางเดินสัญญาณ (pathways) อย่างชัดเจน เช่น AMPK–PPAR–AKT–eNOS–NF- κ B axis ที่อาจอธิบายฤทธิ์ต่อ metabolic syndrome ได้ การขาดกลไกเชิงระบบนี้เป็นช่องว่างสำคัญที่ทำให้ไม่สามารถคาดการณ์ “จุดร่วมของฤทธิ์ยา (polypharmacology)” ได้อย่างแม่นยำ

4) ด้านการแปลผลสู่คลินิก (Clinical Translation)

RCT ที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นแบบ single-center และมีผู้เข้าร่วมจำนวนน้อย (<100 ราย) ทำให้ผลการศึกษาไม่สามารถใช้สร้างมาตรฐานการรักษาได้ ขณะเดียวกัน ขาดข้อมูลทาง PK/PD ในมนุษย์ และ dose–exposure–response relationship ที่เป็นหัวใจของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้มาตรฐานสากล

5) ด้านเทคโนโลยีการผลิตและคุณภาพ (Formulation & Quality by Design)

การใช้เทคโนโลยีเพิ่มการละลายของสารออกฤทธิ์เริ่มต้นขึ้นแล้ว แต่ยังไม่มีการศึกษาว่าเทคโนโลยีใดมีศักยภาพสูงสุดในเชิง pharmacokinetic performance, stability, และ manufacturability การพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมยังไม่เข้าสู่แนวคิด Quality by Design (QbD) ซึ่งเป็นมาตรฐานการผลิตยาสมัยใหม่ที่เชื่อมโยง Critical Quality Attributes (CQAs) กับ Critical Process Parameters (CPPs) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคงที่

6) ด้านความปลอดภัยและปฏิกิริยาระหว่างยา (Safety & Herb–Drug Interaction)

แม้ข้อมูลระยะสั้นในมนุษย์ชี้ว่าปลอดภัย แต่ยังขาดการศึกษา long-term safety, reproductive toxicity, genotoxicity และการปฏิกิริยากับยา (CYP450, P-gp interactions) ซึ่งจำเป็นต่อการรับรองความปลอดภัยระดับผลิตภัณฑ์ในตลาดโลก

7) ด้านนโยบายและตลาด (Policy & Market)

ปัจจุบัน การส่งออกกระชายดำยังอยู่ในรูปวัตถุดิบและสารสกัดดิบ ขาดการพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง (high-value nutraceuticals) และระบบ traceability / blockchain-based tracking ที่สอดคล้องกับแนวโน้มกฎหมายสากลด้านความโปร่งใสของห่วงโซ่อุปทาน

ทิศทางการวิจัยในอนาคต (Future Research Directions)

ต้นน้ำ:

- จัดทำ “Geo-chemotype Atlas” ของกระชายดำในประเทศไทย-ลาว-เมียนมา เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลสารสำคัญกับพื้นที่ปลูก
- ใช้เทคโนโลยี IoT และ AI agriculture ตรวจวัด pH ดิน โลหะหนัก ความชื้น และใช้ Machine Learning พยากรณ์คุณภาพและผลผลิต

กลางน้ำ:

- พัฒนา multi-omics profiling (LC-MS metabolomics + RNA-seq + proteomics) เพื่อสร้างเครือข่ายชีวโมเลกุล (molecular interaction network)
- ใช้ network pharmacology เพื่อวิเคราะห์เป้าหมายการออกฤทธิ์หลายจุดในโรค metabolic syndrome, fertility disorder, และ cancer

ปลายน้ำ:

- ดำเนินการ multicenter RCT ขนาดใหญ่ (≥ 300 ราย) สำหรับโรคอ้วน เบาหวาน และภาวะมีบุตรยากในเพศชาย
- ทำการศึกษา PK/PD bridging และ dose-finding study พร้อมใช้ biomarker endpoints เช่น HbA1c, HOMA-IR, serum testosterone, CRP

เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์:

- เปรียบเทียบระบบนำส่งยา nanoparticle, phospholipid, cyclodextrin complex, solid dispersion
- สร้าง QbD-CMC model สำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

นโยบายและตลาด:

- จัดทำ ASEAN Herbal Monograph – *K. parviflora* เพื่อเป็นเกณฑ์มาตรฐานอาเซียน
- พัฒนาโมเดล PPP (Public-Private-People Partnership) ที่เชื่อมโยงชุมชนปลูก มหาวิทยาลัย และอุตสาหกรรม พร้อมระบบ blockchain traceability เพื่อส่งออกผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง

บทสรุปเชิงกลยุทธ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลช่วงปี 2014–2025 พบว่า งานวิจัยกระชายดำมีความเข้มข้นในมิติของสาร PMFs และผลกระทบต่อระบบเมตาบอลิซึมและสืบพันธุ์ แต่ยังขาดการพัฒนาเชิงระบบในด้าน การปลูก omics integration เกสัชจลนศาสตร์มนุษย์ (human PK/PD) และการควบคุมคุณภาพ หากสามารถเติมเต็มช่องว่างเหล่านี้ได้อย่างครบวงจร กระชายดำจะสามารถเปลี่ยนผ่านจาก “สมุนไพรพื้นบ้าน” ไปสู่ “สมุนไพรเศรษฐกิจนานาชาติ” ที่มีหลักฐานเชิงกลไก-เชิงคลินิก-เชิงมาตรฐาน