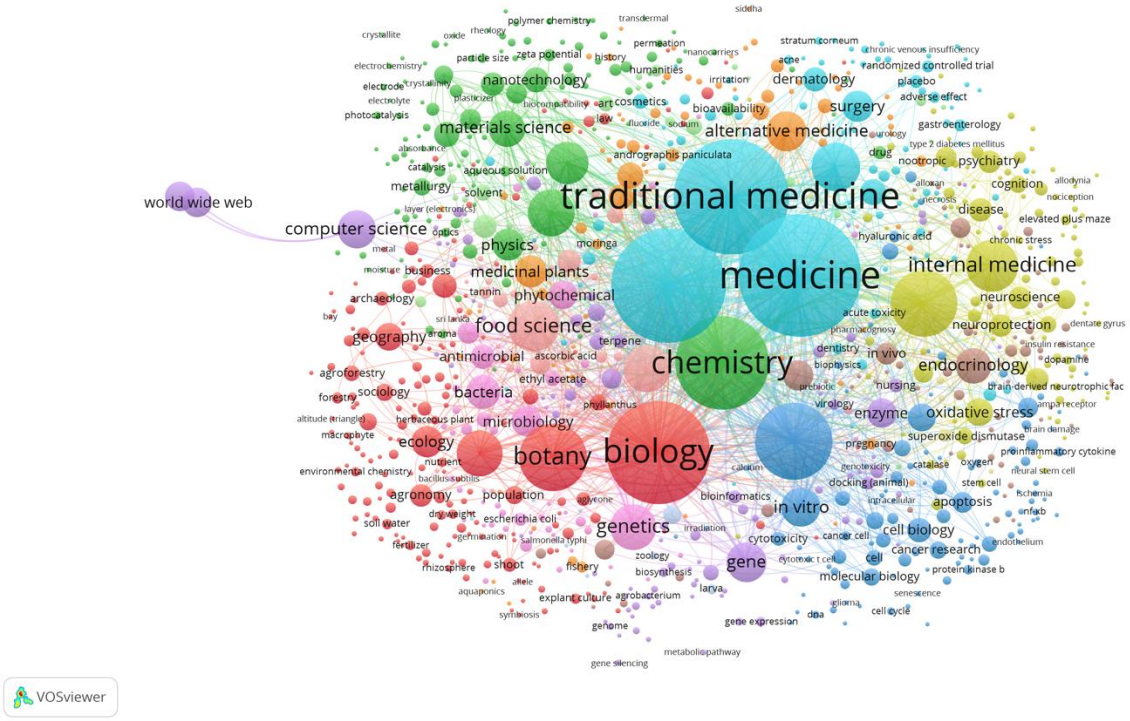
ผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการวิจัยและพัฒนาบัวบก (*Centella asiatica*) ระหว่างปี พ.ศ. 2557–2568 (ค.ศ. 2014–2025)



รูป 1 VOSviewer ของผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการวิจัยและพัฒนาบัวบก

ภูมิทัศน์งานวิจัย (Research Landscape 2014–2025)

การวิเคราะห์ข้อมูลจากฐาน OpenAlex (2014–2025) ร่วมกับแผนภาพเครือข่ายด้วยโปรแกรม VOSviewer พบว่าบัวบกมีภูมิทัศน์องค์ความรู้ที่หลากหลาย ครอบคลุมทั้งสาขาแพทยศาสตร์ ชีววิทยา เคมี และวัสดุศาสตร์ โดยกระจุกตัวเป็น 4 คลัสเตอร์หลัก ซึ่งสะท้อน “ห่วงโซ่องค์ความรู้” ที่มีจุดแข็งในบางช่วง และยังมีช่องว่างเชิงระบบในบางส่วน

คลัสเตอร์สีฟ้า (Medicine / Traditional Medicine / Internal Medicine)

เป็นคลัสเตอร์ที่ใหญ่ที่สุด ครอบคลุมคำสำคัญด้าน traditional medicine, wound healing, neuroprotection, dermatology, psychiatry และ randomized controlled trial, placebo, adverse effect แสดงถึงความพยายามทางคลินิกที่ต่อยอดจากภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยสู่ระบบแพทย์แผนปัจจุบัน งานในกลุ่มนี้เน้นการศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดบัวบกในการ

- สมานแผล (wound healing): กระตุ้นการสร้างคอลลาเจนและหลอดเลือดใหม่ (angiogenesis)
- ระบบประสาท (neuroprotection): ลด oxidative stress และเพิ่ม neurogenesis
- จิตเวช (psychiatry): ลดความวิตกกังวล (anxiolytic) และเสริมความจำ (nootropic effect)

อย่างไรก็ตาม งาน RCT ที่มีอยู่ส่วนใหญ่ยังมี ขนาดตัวอย่างน้อย (<100 คน) และระยะเวลาสั้น จึงยังไม่สามารถสรุปผลทางคลินิกได้อย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ

คลัสเตอร์สีเขียว (Chemistry / Nanotechnology / Materials Science)

กลุ่มนี้มุ่งเน้นการศึกษาทางเคมีและเทคโนโลยีการนำส่งยา (drug delivery) โดยเฉพาะการเพิ่ม bioavailability และการซึมผ่านของสาร triterpenoid glycosides ผ่านเทคโนโลยี nanoparticles, liposomes, hydrogels, polymeric carriers งานจำนวนมากเน้นการพัฒนา “topical formulations” สำหรับการใช้ในเครื่องสำอางหรือเวชสำอาง เช่น ครีมลดแผลเป็น (anti-scar), ครีมบำรุงผิว (anti-aging) และเซรั่มสมานแผล ถึงแม้จะมีผลงานที่น่าสนใจในระดับห้องปฏิบัติการ แต่ยัง ขาดการเปรียบเทียบเชิง head-to-head ในด้าน pharmacokinetics (PK) และยังไม่มีข้อมูล Quality by Design (QbD) ที่ใช้ในกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรม

คลัสเตอร์สีเหลือง (Neuroscience / Endocrinology / Cognition)

คลัสเตอร์นี้เป็นจุดเชื่อมโยงสำคัญระหว่างบัวบกกับงานวิจัยด้านสมองและพฤติกรรม โดยมีคำสำคัญ เช่น nootropic, cognition, neuroprotection, oxidative stress, dopamine, neurogenesis, ischemia ซึ่งชี้ว่าบัวบกถูกศึกษาในฐานะ “สมุนไพรเสริมความจำและปกป้องสมอง” หลักฐานเชิงกลไกชี้ว่าบัวบกมีผลเพิ่มการสื่อสารของระบบ dopaminergic, serotonergic และ GABAergic และกระตุ้นการสร้างเซลล์ประสาทใหม่ผ่านเส้นทาง BDNF–CREB อย่างไรก็ตาม งานส่วนใหญ่ยังจำกัดในระดับ สัตว์ทดลอง (pre-clinical) และขาด bridging model ที่เชื่อมต่อกับมนุษย์

คลัสเตอร์สีแดง (Botany / Biology / Agronomy / Ecology)

เป็นคลัสเตอร์ที่มีขนาดเล็กที่สุด มีคำสำคัญ เช่น population genetics, soil science, aquaponics, rhizosphere, microbiology สะท้อนว่าการศึกษาด้าน พฤกษศาสตร์ การปลูก และระบบนิเวศของบัวบกยังมีน้อยมาก ข้อมูลการปลูกเชิงเกษตร เช่น pH ดิน ปริมาณน้ำ ความชื้น และจุลินทรีย์ดินที่มีผลต่อสารสำคัญ ยังไม่ถูกบันทึกอย่างเป็นระบบ จึงไม่สามารถจัดทำ chemotype mapping หรือพัฒนา GACP (Good Agricultural and Collection Practices) ที่เฉพาะสำหรับบัวบกได้

องค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน (Current Knowledge)

ในช่วงระยะเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2557–2568 (2014–2025) งานวิจัยเกี่ยวกับบัวบก (*Centella asiatica*) ได้รับความสนใจในระดับนานาชาติทั้งในด้านพฤกษศาสตร์ เคมี เภสัชวิทยา เทคโนโลยีการส่งยา และเวชปฏิบัติทางคลินิก โดยเฉพาะในสาขา traditional medicine, wound healing, neuroprotection, dermatology, psychiatry และ nanotechnology การรวบรวมข้อมูลจากฐาน OpenAlex พบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และสามารถจัดหมวดองค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบันได้ดังนี้

1) องค์ความรู้ด้านเคมีพฤกษศาสตร์ (Phytochemistry)

บัวบกเป็นพืชสมุนไพรที่มีสารออกฤทธิ์สำคัญในกลุ่ม triterpenoid saponins และ triterpenoid acids ซึ่งรู้จักในชื่อรวมว่า centellosides ได้แก่

- Asiaticoside
- Madecassoside
- Asiatic acid
- Madecassic acid

สารเหล่านี้เป็นสารสัญลักษณ์ทางเคมี (chemical markers) ที่ใช้กำหนดมาตรฐานคุณภาพของสารสกัดและผลิตภัณฑ์บัวบก โดยสามารถตรวจวัดเชิงปริมาณได้ด้วยเทคนิค HPLC และ LC–MS/MS ที่มีการพัฒนามาตั้งแต่ปี 2014 เป็นต้นมา งานวิจัยหลายฉบับในช่วงหลังยังชี้ให้เห็นถึงการพัฒนาวิธีสกัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (green extraction) และการใช้ตัวทำละลายชีวภาพ (bio-based solvent) เพื่อเพิ่มผลผลิตของสาร triterpenoids และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

นอกจากสารหลักทั้งสี่ชนิดแล้ว ยังพบองค์ประกอบรอง เช่น flavonoids (quercetin, kaempferol), phenolic acids, และ volatile terpenes ซึ่งช่วยเสริมฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและลดการอักเสบ ส่งผลให้บัวบกมีฤทธิ์หลายเป้าหมาย (multi-target bioactivity) ครอบคลุมตั้งแต่ระดับเซลล์จนถึงระบบร่างกาย

2) องค์ความรู้ด้านเภสัชวิทยา (Pharmacology)

งานวิจัยด้านเภสัชวิทยาของบัวบกในช่วงปี 2014–2025 สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ดังนี้

- การสมานแผลและฟื้นฟูเนื้อเยื่อ (Wound Healing & Tissue Repair) มีหลักฐานชัดเจนว่าสาร asiaticoside และ madecassoside สามารถกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนชนิด I และ IIIเพิ่มการเคลื่อนที่ของไฟโบรบลาสต์และการสร้างหลอดเลือดใหม่ (angiogenesis) และลดการอักเสบผ่านการยับยั้งการส่งสัญญาณของ NF-**K**B และ COX-2 งานวิจัยหลายฉบับระบุว่าบัวบกมีบทบาทสำคัญในกระบวนการ re-epithelialization และสามารถใช้ร่วมกับเทคโนโลยีแผ่นแผล (hydrogel, film dressing) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสมานแผล
- ระบบประสาทและสมอง (Neuroprotection & Cognition) งานวิจัยในช่วงหลังชี้ว่า บัวบกมีฤทธิ์ในการป้องกันเซลล์ประสาทจากภาวะเครียดออกซิเดชัน โดยกระตุ้นการสร้าง Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) และ Nerve Growth Factor (NGF) ลดการเกิด lipid peroxidation เพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น SOD และ Catalaseการศึกษาทางสัตว์ทดลอง พบว่า บัวบกสามารถเพิ่มการเรียนรู้และความจำ (learning and memory) ผ่านการปรับปรุง synaptic plasticity และ dopaminergic transmission ส่วนในมนุษย์มีการศึกษาขนาดเล็กหลายฉบับที่ชี้ถึงประสิทธิภาพในการลดความวิตกกังวลและเพิ่มความจำระยะสั้นในผู้สูงอายุ
- ระบบผิวหนังและเวชสำอาง (Dermatology & Cosmeceutics) บัวบกเป็นหนึ่งในพืชสมุนไพรที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางระดับโลก เนื่องจากสาร asiaticoside และ madecassoside มีฤทธิ์กระตุ้นการสร้างคอลลาเจนและอีลาสติน ลดการสลายของคอลลาเจนโดยยับยั้งเอนไซม์ MMP-1 และ MMP-9 เพิ่มความชุ่มชื้นและความยืดหยุ่นของผิว ทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีม เซรั่ม และแผ่นมาสก์ที่ใช้สารสกัดบัวบกเป็น active ingredient อย่างแพร่หลาย

- ผลต่อระบบภูมิคุ้มกันและการอักเสบ (Immunomodulatory & Anti-inflammatory)บัวบกสามารถลดการหลั่ง cytokine อักเสบ (IL-1β, IL-6, TNF-α) และเพิ่มการแสดงออกของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (Nrf2 pathway activation) ซึ่งมีส่วนสำคัญในการบรรเทาโรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับภาวะอักเสบ เช่น เบาหวาน ความเครียด และโรคผิวหนัง

3) องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการส่งยา (Formulation and Drug Delivery Systems)

งานวิจัยช่วงปี 2018–2025 มีแนวโน้มมุ่งไปที่ การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งสารออกฤทธิ์ของบัวบก ทั้งในช่องปากและการใช้เฉพาะที่ โดยใช้เทคโนโลยีใหม่ ได้แก่

- Nanoparticles และ liposomes เพื่อเพิ่มการละลายและการดูดซึมในระบบทางเดินอาหาร
- Hydrogel และ film-based dressing เพื่อการสมานแผลเฉพาะจุด
- Microneedle และ nanoemulsion เพื่อเพิ่มการซึมผ่านผิวหนังและควบคุมการปลดปล่อยยา

เทคโนโลยีเหล่านี้ทำให้สาร asiaticoside และ madecassoside สามารถคงตัวได้ดีขึ้น ลดการสลายตัวจากแสงและความร้อน และเพิ่ม bioavailability อย่างมีนัยสำคัญ

4) องค์ความรู้ด้านการศึกษาทางคลินิก (Clinical Evidence)

งานวิจัยทางคลินิกของบัวบกที่ตีพิมพ์ระหว่างปี 2014–2025 ส่วนใหญ่เป็น การทดลองแบบสุ่มและมีกลุ่มควบคุม (RCTs) ขนาดเล็กถึงขนาดกลาง โดยมีการศึกษาหลักในประเด็นต่อไปนี้

- การสมานแผล: บัวบกช่วยเร่งการปิดแผล ลดขนาดแผล และลดการเกิดแผลเป็น hypertrophic scar ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ในรูปแบบครีมหรือแผ่นแผล
- ภาวะวิตกกังวลและความเครียด: การรับประทานสารสกัดบัวบกขนาด 500–1000 มก./วัน เป็นเวลา 8–12 สัปดาห์ สามารถลดระดับความวิตกกังวลและอัตราการเต้นหัวใจขณะพักได้
- การเสริมความจำในผู้สูงอายุ: งานวิจัยในกลุ่มผู้สูงอายุที่มี mild cognitive impairment แสดงแนวโน้มว่าการใช้บัวบกช่วยเพิ่มคะแนน MoCA (Montreal Cognitive Assessment) และ Digit Span Test

โดยรวม บัวบกถือว่ามีหลักฐานทางคลินิกเบื้องต้นที่ “เป็นบวก” ทั้งด้านสมานแผล ลดความวิตกกังวล และเสริมการรู้คิด แต่ยัง ขาดข้อมูลด้านเภสัชจลนศาสตร์ (PK), เภสัชพลศาสตร์ (PD), และ dose–response relationship ที่เป็นระบบ

5) องค์ความรู้ด้านความปลอดภัยและการกำหนดมาตรฐาน (Safety & Standardization)

ข้อมูลทางพิษวิทยาและคลินิกในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาแสดงว่าการใช้บัวบกในขนาดที่แนะนำ (ไม่เกิน 60 มก./กก./วัน) ปลอดภัยต่อมนุษย์ ไม่มีพิษต่อตับหรือไตในระยะสั้น แต่ยัง ไม่มีการศึกษา long-term safety หรือ herb–drug interaction กับยากลุ่มสำคัญ เช่น antidepressants หรือ antihypertensives ในระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ บัวบกได้รับการรับรองในบัญชีสมุนไพรของ WHO และอยู่ในรายการประเมินของ European Medicines Agency (EMA)

ช่องว่างของการวิจัยและพัฒนา (Research Gaps)

แม้ว่างานวิจัยเกี่ยวกับบัวบก (*Centella asiatica*) ในช่วงปี พ.ศ. 2557–2568 (2014–2025) จะมีการขยายตัวในหลากหลายมิติ ทั้งด้านพฤกษศาสตร์ เคมี เภสัชวิทยา นาโนเทคโนโลยี และคลินิก แต่เมื่อวิเคราะห์เชิงระบบผ่านเครือข่ายองค์ความรู้ (VOSviewer Network) พบว่ายังมี “ช่องว่างเชิงโครงสร้าง” ที่ทำให้การพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมและเชิงคลินิกของบัวบกยังไม่ต่อเนื่องในห่วงโซ่คุณค่า (value chain) โดยสามารถจำแนกเป็น 6 มิติหลัก ดังต่อไปนี้

1) ด้านการปลูก การเพาะเลี้ยง และพฤกษศาสตร์ (Cultivation & Botany)

งานวิจัยด้านเกษตรและพฤกษศาสตร์ของบัวบกยังอยู่ในระดับพื้นฐาน มีการรายงานลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการกระจายพันธุ์บ้าง แต่ ขาดข้อมูลเชิงระบบเกี่ยวกับการจัดการแปลงปลูก และความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์–สิ่งแวดล้อม (G×E) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อปริมาณสารสำคัญ เช่น asiaticoside และ madecassoside ที่มีความแปรผันสูงในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล โดยมีช่องว่างสำคัญ ได้แก่

- ยังไม่มีการจัดทำ “Chemotype Atlas” ที่ระบุความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ปลูก ดิน น้ำ สภาพภูมิอากาศ และองค์ประกอบทางเคมี
- ไม่มีข้อมูล GACP (Good Agricultural and Collection Practices) เฉพาะสำหรับบัวบก ทั้งในด้านการคัดเลือกพันธุ์ การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังเก็บเกี่ยว
- งานวิจัยเชิง microbiome และ rhizosphere ecology ของบัวบกแทบไม่มี ทั้งที่จุลินทรีย์ในดินอาจมีผลต่อการสร้างสาร triterpenoids และการดูดซึมแร่ธาตุ

การขาดฐานข้อมูลด้านการเพาะปลูกทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพวัตถุดิบ ส่งผลต่อมาตรฐานการผลิตในระดับอุตสาหกรรม และลดความสามารถในการแข่งขันทางการค้า

2) ด้านองค์ประกอบทางเคมีและโอมิกส์ (Phytochemistry & Omics Integration)

งานวิจัยส่วนใหญ่ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาเน้นไปที่สารสำคัญกลุ่ม triterpenoid glycosides (asiaticoside, madecassoside) และ triterpenoid acids (asiatic acid, madecassic acid) แต่ยังขาดการวิเคราะห์องค์ประกอบรอง (secondary metabolites) ที่อาจมีฤทธิ์ทางชีวภาพร่วมกัน เช่น flavonoids, phenolic acids, sterols และสารโพลีแซ็กคาไรด์ โดยมีช่องว่างสำคัญ ได้แก่

- ขาดงาน untargeted metabolomics ที่สามารถสร้าง fingerprint ครบชุดของสารเมแทบอไลต์ทั้งหมด
- ไม่มีการบูรณาการข้อมูล multi-omics (metabolomics–transcriptomics–proteomics) เพื่อเชื่อมโยงเส้นทางการสังเคราะห์สารสำคัญในระดับยีนและโปรตีน
- ไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง gut microbiome กับการแปรรูปสารออกฤทธิ์ (biotransformation) ของบัวบกในร่างกายมนุษย์

ดังนั้น ความเข้าใจด้านระบบชีวสังเคราะห์ยังจำกัด ทำให้ยากต่อการคัดเลือกพันธุ์หรือปรับปรุงสายพันธุ์ให้มีสารออกฤทธิ์สูง รวมถึงการพัฒนาวิธีมาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพคงที่

3) ด้านเภสัชวิทยาเชิงระบบและชีววิทยาเครือข่าย (Pharmacology & Systems Biology)

แม้ว่าบัวบกจะมีรายงานฤทธิ์ทางเภสัชวิทยามากมาย เช่น สมานแผล บำรุงสมอง ต้านอนุมูลอิสระ และลดการอักเสบ แต่การศึกษาเชิงกลไกในระดับระบบ (systems-level mechanism) ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในระดับ in vitro หรือ สัตว์ทดลอง และไม่สามารถเชื่อมโยงกับข้อมูลระดับโมเลกุลในมนุษย์ได้โดยตรง โดยมีช่องว่างสำคัญ ดังนี้

- ยังไม่มี network pharmacology map ที่อธิบายความสัมพันธ์แบบหลายเป้าหมาย (multi-target) ของสารต่าง ๆ กับทางเดินสัญญาณชีวภาพ เช่น TGF-β/SMAD, VEGF/Angiogenesis, Nrf2–Keap1, และ BDNF–CREB
- ยังขาด mechanistic bridging ระหว่างการทดลองระดับเซลล์ สัตว์ทดลอง และมนุษย์
- การศึกษาเชิง dose–response relationship สำหรับฤทธิ์หลัก (เช่น wound healing, cognitive enhancement) ยังไม่มี

จากช่องว่างดังกล่าวส่งผลให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในระดับยา (pharmaceutical-grade) ยังขาดหลักฐานเชิงกลไกที่ชัดเจน ไม่สามารถกำหนด biomarker endpoints เพื่อใช้ในงานคลินิกได้

4) ด้านการวิจัยทางคลินิก (Clinical Translation & Evidence Generation)

งานวิจัยทางคลินิกเกี่ยวกับบัวบกที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น RCTs ขนาดเล็ก (sample size < 100) และดำเนินการเพียง single-center โดยมีระยะเวลาการติดตามสั้น (4–12 สัปดาห์) ซึ่งจำกัดความสามารถในการสรุปผลเชิงหลักฐาน ช่องว่างสำคัญ ได้แก่

- ยังไม่มีการศึกษา multicenter RCT ขนาดใหญ่ (≥300 คน) ที่มี outcome มาตรฐานเดียวกัน
- ขาดการศึกษา dose-finding study เพื่อระบุปริมาณการใช้ที่เหมาะสมต่อ biomarker ทางชีวภาพ เช่น collagen markers, oxidative stress indicators, หรือ cognitive scores
- ยังไม่มีข้อมูลทาง เภสัชจลนศาสตร์ (PK) และ เภสัชพลศาสตร์ (PD) ของสารสำคัญในมนุษย์
- การใช้ตัวชี้วัดผล (endpoints) ของแต่ละงานยังไม่สอดคล้องกัน เช่น บางงานใช้ตัวชี้วัดทางกายภาพของแผล ในขณะที่บางงานใช้แบบสอบถามเชิงคุณภาพ

จากช่องว่างดังกล่าวส่งผลให้ไม่สามารถสร้าง “หลักฐานเชิงคลินิกที่สอดคล้องและเทียบเคียงได้ (comparable clinical evidence)” ซึ่งจำเป็นต่อการขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์ในระดับสากล

5) ด้านเทคโนโลยีการพัฒนาและระบบคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Formulation & CMC/QbD)

แม้ว่าจะมีงานวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการนำส่งยา เช่น nanoparticle, hydrogel, liposome, และ polymeric film แต่ส่วนใหญ่ยังจำกัดในระดับต้นแบบ (prototype level) ยังไม่มีการเปรียบเทียบเชิงประสิทธิภาพระหว่างเทคโนโลยีต่าง ๆ ในมนุษย์ โดยมีช่องว่างสำคัญ ดังนี้

- ยังไม่มีการออกแบบกระบวนการผลิตในกรอบ Quality by Design (QbD) เพื่อสร้าง “Design Space” ที่สามารถควบคุมคุณภาพได้ตลอดการผลิต
- ขาดข้อมูลด้าน stability study ภายใต้สภาพอากาศเขตร้อน (Zone IVb, 30–40°C / 75%RH)
- ยังไม่มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง *in vitro–in vivo* correlation (IVIVC) เพื่อรองรับการขยายการผลิตเชิงอุตสาหกรรม

ข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้ไม่สามารถขยายการผลิตจากระดับห้องทดลองไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยากต่อการขึ้นทะเบียนเป็นผลิตภัณฑ์ยาในตลาดต่างประเทศ

6) ด้านนโยบาย มาตรฐาน และห่วงโซ่คุณค่า (Policy, Standardization & Market Readiness)

แม้บัวบกจะถูกบรรจุในบัญชียาหลักแห่งชาติของไทยในบางรูปแบบ และมีการประเมินความปลอดภัยโดยหน่วยงานระดับนานาชาติ ช่องว่างสำคัญ ได้แก่

- ระบบ traceability / blockchain-based quality tracking ในห่วงโซ่อุปทานยังไม่พัฒนา
- ขาดกลไกเชื่อมโยง Public–Private–People Partnership (PPP) ระหว่างชุมชนผู้ปลูก มหาวิทยาลัย และภาคอุตสาหกรรม
- ตลาดยังคงเน้น ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและอาหารเสริม มากกว่าผลิตภัณฑ์ระดับยา (clinical-grade herbal product)

การขาดมาตรฐานกลางและระบบติดตามย้อนกลับทำให้ผลิตภัณฑ์บัวบกของไทยยังมีสถานะเป็น “สินค้าสมุนไพรทั่วไป” มากกว่าการเป็น “ยาเชิงคลินิกระดับสากล”

ทิศทางการวิจัยในอนาคต (Future Research Directions)

ทิศทางการวิจัยและพัฒนาบัวบกในทศวรรษหน้า ควรมุ่งสู่การสร้าง “ระบบองค์ความรู้ครบห่วงโซ่” ตั้งแต่ระดับชีวโมเลกุลจนถึงระดับนโยบายและตลาด โดยอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น AI, IoT, Multi-Omics, Network Pharmacology และ Blockchain เพื่อยกระดับบัวบกจากสมุนไพรพื้นบ้านไปสู่ Functional Food, Clinical-Grade Nutraceutical และยาแผนปัจจุบันจากสมุนไพร (Herbal Medicinal Product) ที่มีความปลอดภัย มาตรฐาน และยั่งยืน

1) ต้นน้ำ (Upstream): การปลูก การปรับปรุงพันธุ์ และการสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่

- การจัดทำ “Geo-Chemotype Atlas” ของบัวบกในประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน
    - เก็บตัวอย่างพืชจากหลายภูมิภาค (ภาคเหนือ กลาง อีสาน ใต้) ครอบคลุมฤดูกาลต่าง ๆ
    - วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย LC–MS/MS, GC–MS และ NMR เพื่อสร้าง “แผนที่เคมีภูมิศาสตร์ (geo-chemotype map)” ของสารสำคัญ เช่น asiaticoside, madecassoside, asiatic acid และ madecassic acid
    - เชื่อมโยงข้อมูลกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น pH ดิน ความชื้น อุณหภูมิ และจุลินทรีย์ดิน (rhizosphere microbiome) เพื่อระบุ พื้นที่ปลูกที่ให้สารสำคัญสูงและมีเสถียรภาพทางเคมี
- การพัฒนาแนวทางเกษตรอัจฉริยะ (Smart & Precision Farming)
    - ใช้เทคโนโลยี IoT และ AI เพื่อเก็บข้อมูลแบบ real-time เกี่ยวกับสภาพดิน น้ำ อุณหภูมิ และความชื้น
    - พัฒนา Digital Twin ของแปลงปลูกบัวบก เพื่อจำลองและพยากรณ์คุณภาพผลผลิต
    - ประยุกต์ Machine Learning เพื่อสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ผลผลิตและคุณภาพ (yield × phytochemical content prediction model)
- การพัฒนา GACP (Good Agricultural and Collection Practices) เฉพาะบัวบก
    - กำหนดมาตรฐานการเลือกพันธุ์ การปลูก การเก็บเกี่ยว และการแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยว
    - กำหนดขีดจำกัดสารปนเปื้อน เช่น โลหะหนัก สารกำจัดศัตรูพืช และจุลินทรีย์
    - จัดทำระบบ traceability จากแปลงปลูกถึงโรงงานสกัด ด้วยระบบ blockchain

2) กลางน้ำ (Midstream): การบูรณาการเทคโนโลยี Multi-Omics และ Network Pharmacology

- การสร้างฐานข้อมูลโอมิกส์ (Multi-Omics Profiling)
    - ใช้เทคนิค Untargeted Metabolomics (LC–MS/MS, GC–MS) เพื่อระบุสารประกอบรอง (secondary metabolites) ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ
    - ทำ Transcriptomics และ Proteomics เพื่อระบุยีนและโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารกลุ่ม triterpenoids
    - ผสานข้อมูลโอมิกส์ทั้งหมด (multi-omics integration) เพื่อสร้างระบบสังเคราะห์สารสำคัญแบบเครือข่าย (biosynthetic network model)
- การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างบัวบกกับจุลชีพในลำไส้ (Gut Microbiome Interaction)
    - ใช้ระบบ *in vitro* gut fermentation model ร่วมกับ metabolomics profiling เพื่อศึกษาการเปลี่ยนรูป (biotransformation) ของสาร asiaticoside และ madecassoside
    - วิเคราะห์การสร้างสารเมแทบอไลต์ใหม่หลังย่อยโดยจุลชีพ (microbial-derived metabolites) และประเมินฤทธิ์ทางชีวภาพของสารเหล่านี้ในระบบเซลล์
- การสร้างแผนที่เภสัชวิทยาเชิงระบบ (Network Pharmacology Map)
    - ระบุความสัมพันธ์ระหว่างสารสำคัญกับเป้าหมายทางชีวภาพ (compound–target network) โดยใช้ฐานข้อมูล STITCH, SwissTargetPrediction และ KEGG Pathway
    - สร้างแบบจำลองเส้นทางสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับฤทธิ์หลัก ได้แก่
        - Wound healing: TGF-β/SMAD, VEGF/Angiogenesis
        - Neuroprotection: BDNF/CREB, MAPK/ERK
        - Anti-inflammatory: Nrf2/Keap1, NF-**K**B
    - ทดสอบความถูกต้องของเป้าหมายด้วย *in vitro* functional assay และ CRISPR-based validation

3) ปลายน้ำ (Downstream): การแปลผลเชิงคลินิกและการพัฒนาเชิงอุตสาหกรรม

- การศึกษาทางคลินิกขั้นสูง (Clinical Research & Translational Medicine)
    - ออกแบบการศึกษาทางคลินิกแบบหลายศูนย์ (Multicenter RCT) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความเทียบเคียงของข้อมูล
    - ข้อบ่งใช้ที่มีหลักฐานสนับสนุนและควรขยายผล ได้แก่
    - Wound healing (acute & chronic ulcers)
    - Neuroprotection (mild cognitive impairment, dementia prevention)
    - Psychiatric health (anxiety, chronic stress)
    - พัฒนา dose-finding study เพื่อระบุขนาดยาที่สัมพันธ์กับผลการรักษา (dose–response relationship)
    - ศึกษาเภสัชจลนศาสตร์ (PK) และเภสัชพลศาสตร์ (PD) ของสารasiaticoside/madecassosideในมนุษย์
- การพัฒนาระบบนำส่งยา (Formulation & Drug Delivery)
    - ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบนำส่งต่าง ๆ เช่น
    - Oral nanoemulsion vs liposomal delivery vs phytosome complex
    - Topical hydrogel vs nanofiber vs film dressing
    - ทำ comparative PK/PD study เพื่อเลือกเทคโนโลยีที่ให้การดูดซึมและการคงตัวดีที่สุด
    - สร้างแนวทาง Quality by Design (QbD) และ Chemistry, Manufacturing, and Control (CMC) สำหรับผลิตภัณฑ์ต้นแบบในระดับอุตสาหกรรม
- การศึกษาความปลอดภัยระยะยาวและปฏิสัมพันธ์กับยา (Safety & DDI Studies)
    - ทำการประเมิน long-term safety (6–12 เดือน) ในอาสาสมัครสุขภาพดี
    - ศึกษา herb–drug interaction กับยาที่ใช้ทั่วไป เช่น statins, antidepressants และ antihypertensives

- จัดทำ Risk Management Plan (RMP) และระบบติดตามความปลอดภัยหลังการใช้จริง (pharmacovigilance)

4) เชิงนโยบายและตลาด (Policy, Standardization & Market Readiness)

- การจัดทำ ASEAN Herbal Monograph – *Centella asiatica*
  - ร่วมมือกับประเทศสมาชิกอาเซียนจัดทำ monograph ที่ครอบคลุม
  - เกณฑ์สารสำคัญ (active markers)
  - วิธีทดสอบคุณภาพ (analytical methods)
  - เกณฑ์ความปลอดภัย (safety limits)
  - ข้อบ่งใช้ทางยา (indications)
  - นำร่องใช้ monograph ดังกล่าวในประเทศไทยเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับผลิตภัณฑ์ในระดับยา(Herbal Medicinal Product)
- การพัฒนาโมเดล PPP (Public–Private–People Partnership)
  - ชุมชน: ปลูกและผลิตวัตถุดิบตามมาตรฐาน GACP
  - มหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัย: พัฒนาองค์ความรู้เชิงโอมิกส์–เภสัชวิทยา–คลินิก
  - ภาคอุตสาหกรรม: นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ด้วยแนวทาง QbD
  - ภาครัฐและหน่วยงานกำกับดูแล: ออกนโยบายสนับสนุนและระบบ fast-track สำหรับสมุนไพรยุทธศาสตร์
- การใช้เทคโนโลยี Blockchain เพื่อความโปร่งใสในห่วงโซ่อุปทาน (Blockchain Traceability System)
  - สร้างระบบข้อมูลที่เชื่อมโยงจาก “แปลงปลูก ⟶ โรงงานสกัด ⟶ ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป”
  - ใช้ QR code หรือ smart label สำหรับตรวจสอบย้อนกลับแหล่งที่มาของวัตถุดิบ
  - เพิ่มความเชื่อมั่นในการส่งออกไปยังตลาดยุโรปและสหรัฐอเมริกา

บทสรุปเชิงกลยุทธ์

องค์ความรู้เกี่ยวกับบัวบกในช่วงปี 2014–2025 มีความเข้มแข็งด้าน องค์ประกอบทางเคมี (triterpenoids), กลไกสมานแผลและปกป้องระบบประสาท, และเทคโนโลยีการนำส่งสมัยใหม่ รวมถึงมีหลักฐานทางคลินิกระดับต้นที่สนับสนุนประสิทธิภาพในด้านการสมานแผลและลดความวิตกกังวล อย่างไรก็ตาม ยังขาดการบูรณาการข้อมูลเชิงโอมิกส์ การศึกษาทางเภสัชจลนศาสตร์ในมนุษย์ และการสร้างมาตรฐานระดับสากล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะผลักดันให้บัวบกก้าวสู่การเป็น สมุนไพรเชิงการแพทย์ระดับโลก (Global Clinical-Grade Medicinal Herb) ได้ในอนาคต