รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report)

โครงการ ศึกษาสถานภาพความพร้อมของเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ในประเทศไทย

เสนอต่อ

สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.)

จัดทำโดย

มูลนิธิบัณฑิตยสภาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (บวท.)

กรกฎาคม 2567

สารบัญ

หน้า

1. บทนำ 1
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินงาน 4
2. สถานภาพความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ของไทย 8
2.1 นิยาม ขอบเขตของเทคโนโลยีที่เกี่ยวของกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ที่สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย 8
2.2 ความกาวหนาทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวของกับชีววิทยาสังเคราะหของโลก 9
2.3 ความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกับนานาชาติ 22
2.4 ความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์จากการวิเคราะห์ฐานข้อมูลสิทธิบัตร 62
2.5 ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกับนานาชาติ 81
2.6 ความพร้อมในการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) เชิงเปรียบเทียบกับโลก 86
3. สถานภาพการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกและประเทศไทย 96
3.1 สถานภาพและแนวโน้มการตลาดผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก 96
3.2 สถานภาพและทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก 103
3.3 แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก 107
3.4 สถานภาพและแนวโน้มการตลาดผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 110
3.5 มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 118
4. แผนที่นำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย 120
4.1 บทวิเคราะห์ความพร้อมในการพัฒนาและต่อยอดเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย 120
4.2 แผนที่ทำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ 124
4.3 แผนที่ทำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย ระยะ 10 ปี 126
4.4 การขับเคลื่อนแผนที่ทำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย ระยะ 10 ปี 142
5. ภาคผนวก 146
ก. หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่สืบค้นด้วย synthetic biology, metabolic engineering และ systems biology 146
ข. แบบสอบถามเกี่ยวกับหลักสูตรที่เกี่ยวข้องชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) 150
ค. รายชื่อผู้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลผ่านการสัมภาษณ์เชิงวิชาการและหลักสูตร 153
ง. สรุปประชุมการเสวนาโดยผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศ 154

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1: แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของบทความวิชาการนานาชาติที่จัด Keyphrases ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ในแต่ละชุดของ query 12
รูปที่ 2-2: แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของผู้แต่งที่มีจำนวนบทความมากเป็น 100 อันดับแรก 12
รูปที่ 2-3: แสดงจำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ใน Top 10 Topic clusters ในแต่ละชุดของ query 13
รูปที่ 2-4: แสดงความสัมพันธ์ของ author keywords โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1 14
รูปที่ 2-5: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering 15
รูปที่ 2-6A: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค cell free 16
รูปที่ 2-6B: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค directed evaluation โดยใช้ฟังก์ชั่น คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1 16
รูปที่ 2-6C: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค machine learning โดยใช้ฟังก์ชั่น คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1 17
รูปที่ 2-6D: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค artificial intelligence โดยใช้ฟังก์ชั่น คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1 17
รูปที่ 2-6E: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค genome engineering โดยใช้ฟังก์ชั่น คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1 18
รูปที่ 2-6F: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค gene circuits 18
รูปที่ 2-7: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology, metabolic engineering และ systems biology 19
รูปที่ 2-8: แสดงความสัมพันธ์ขององค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ต่อช่วงเวลาต่าง ๆ 20
รูปที่ 2-9: แสดงองค์ความรู้และเทคนิคต่าง ๆ ในเชิงเปรียบเทียบความก้าวหน้าของเทคโนโลยี 21
รูปที่ 2-10: แสดงประเทศที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022 22
รูปที่ 2-11: แสดงประเทศที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024 23
รูปที่ 2-12: แสดงสถาบันที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022 25
รูปที่ 2-13: แสดงสถาบันที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024 25
รูปที่ 2-14: แสดงความสัมพันธ์ของสถาบันที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix 27
รูปที่ 2-15: แสดงความสัมพันธ์ของประเทศต่าง ๆ ที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix 28

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-16: แสดงความสัมพันธ์ของประเทศไทยกับประเทศต่าง ๆ ที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix 28

รูปที่ 2-17: แสดงความสัมพันธ์ของสถาบันไทยและสถาบันต่างชาติ ที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix 30

รูปที่ 2-18: แสดงผู้แต่งที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022 31

รูปที่ 2-19: แสดงผู้แต่งที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024 31

รูปที่ 2-20: แสดงความสัมพันธ์ของผู้แต่งไทยที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ 43

รูปที่ 2-21: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology กับกลุ่ม topic ที่มีการตีพิมพ์บทความโดยผู้แต่งชาวไทย 44

รูปที่ 2-22: สัดส่วนมหาวิทยาลัยที่มีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology 46

รูปที่ 2-23: ลักษณะหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology 47

รูปที่ 2-24: เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ที่ใช้ในงานวิจัยภายใต้หลักสูตร 48

รูปที่ 2-25: สัดส่วนคณะ/ภาควิชาที่มีแผนจะพัฒนาหรือร่วมกับหน่วยงานอื่นพัฒนาหลักสูตร 48

รูปที่ 2-26: รูปแบบ/ลักษณะหลักสูตร กรณีที่เริ่มหรืออยู่ระหว่างการพัฒนาหลักสูตร 49

รูปที่ 2-27: แสดงจำนวนผู้สำเร็จการศึกษาและระดับของหลักสูตรในกลุ่มต่าง ๆ 51

รูปที่ 2-28: แนวโน้มการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ 67

รูปที่ 2-29: หน่วยงานที่ยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์มากที่สุด 10 อันดับแรก 68

รูปที่ 2-30: ประเทศที่เป็นเป้าหมายในการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร 10 อันดับแรก (Top 10 countries) 72

รูปที่ 2-31: แผนภาพสิทธิบัตร (Themescape) ที่แสดงขอบเขตการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตร ที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ทั่วโลก จากการวิเคราะห์ด้วยฐานข้อมูล Derwent Innovation 73

รูปที่ 2-32: แผนภาพสิทธิบัตร (Themescape) ที่แสดงขอบเขตการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ทั่วโลก และแนวโน้มการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร จากการวิเคราะห์ด้วยฐานข้อมูล Derwent Innovation 75

รูปที่ 2-33: องค์ประกอบ High-throughput system ของไบโอเทค 84

รูปที่ 2-34: High-throughput system ของสถาบันวิทยสิริเมธี 84

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-1: มูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก 96
รูปที่ 3-2: อัตราการเติบโตของมูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกจำแนกตามประเภทเทคโนโลยี 97
รูปที่ 3-3: อัตราการเติบโตของมูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ 98
รูปที่ 3-4: อัตราการเติบโตของมูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกจำแนกตามการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 98
รูปที่ 3-5: ความท้าทายของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 99
รูปที่ 3-6: ตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ที่สำคัญของโลก 99
รูปที่ 3-7: สาขาที่คาดว่าจะได้รับประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 100
รูปที่ 3-8: แสดงวัฏจักรของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ (Gartner-type cycle) 101
รูปที่ 3-9: แสดงปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 102
รูปที่ 3-10: การคาดการณ์ผลกระทบจากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 104
รูปที่ 3-11: มูลค่าการลงทุนการพัฒนาเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 104
รูปที่ 3-12: ผลิตภัณฑ์เป้าหมายของบริษัท Sana Biotechnology 105
รูปที่ 3-13: ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของบริษัท Impossible Food 105
รูปที่ 3-14: เป้าหมายการลงทุนที่เกี่ยวข้องกับ Synthetic Biology ของ Venture Capital 106
รูปที่ 4-1: บทวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 121
รูปที่ 4-2: บทวิเคราะห์ความพร้อมกำลังคนที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 121
รูปที่ 4-3: บทวิเคราะห์ความพร้อมโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 122
รูปที่ 4-4: ระบบนิเวศการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 124
รูปที่ 4-5: ผู้เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 125
รูปที่ 4-6: TOWS Matrix Strategy 126
รูปที่ 4-7: เป้าหมายการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 127
รูปที่ 4-8: เป้าหมายการสร้างและพัฒนาระบบนิเวศที่เอื้อต่อการพัฒนา และใช้ประโยชน์ SynBio อย่างก้าวกระโดด 129
รูปที่ 4-9: แผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย 130
รูปที่ 4-10: เป้าหมายการสร้างองค์ความรู้ เทคโนโลยี นวัตกรรม และกำลังคนเชี่ยวชาญ ที่เกี่ยวข้องกับ SynBio ทั้งระบบ 136
รูปที่ 4-11: โมเดลสนับสนุนบริษัทขนาดใหญ่ในการเร่งรัดพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ 138
รูปที่ 4-12: โมเดลสนับสนุนบริษัท SMEs ในการนำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ไปต่อยอดธุรกิจ 138
รูปที่ 4-13: โมเดลสนับสนุนการสร้าง Startup ด้านชีววิทยาสังเคราะห์ 139
รูปที่ 4-14: เป้าหมายเร่งรัดพัฒนาการสร้างอุตสาหกรรมและการขยายตลาดผลิตภัณฑ์และบริการ 139
รูปที่ 4-15: ความร่วมมือในระบบนิเวศเพื่อกาเร่งรัดพัฒนา SynBio ของประเทศไทย 141
รูปที่ 4-16: เป้าหมายการใช้กลไกความร่วมมือในการยกระดับความสามารถด้าน SynBio ของประเทศไทย 141
รูปที่ 4-17: เปรียบเทียบแผนที่นำทางที่จัดทำโดย SynBio Consortium และ บวท. 143

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4-18: สรุปสาระสำคัญของแผนที่นำทางการขับเคลื่อนและใช้ประโยชน์จาก SynBio 144
รูปที่ 4-19: แนวทาง (เบื้องต้น) เพื่อการขับเคลื่อนแผนที่นำทางการขับเคลื่อนและใช้ประโยชน์จาก SynBio 144
รูปที่ 4-20: ตัวอย่างตัวชี้วัดความสำเร็จของการพัฒนาความสามารถที่เกี่ยวข้องกับ SynBio ของประเทศไทย 145
รูปที่ 4-21: เป้าหมายแผนที่นำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ 145

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1: แสดงสถาบันไทยที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology และ ค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival 29
ตารางที่ 2-2: แสดงผู้แต่งนานาชาติที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology และ ค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival 32
ตารางที่ 2-3: แสดงผู้แต่งไทยที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology และ ค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival 36
ตารางที่ 2-4: การจัดกลุ่มหลักสูตรที่ได้ทำการสัมภาษณ์ จำนวน 12 มหาวิทยาลัย 50
ตารางที่ 2-5: รายชื่อนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำลังศึกษา สาขา Synthetic Biology* 59
ตารางที่ 2-6: แสดงชุดคำสำคัญที่ใช้ในการสืบค้นและผลที่ได้จากการสืบค้นสิทธิบัตรเบื้องต้นของแต่ละชุดคำสำคัญ 63
ตารางที่ 2-7: ตารางเปรียบเทียบระดับความพร้อมของเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของประเทศไทยเทียบกับนานาชาติจากการพิจารณาในมุมมองข้อมูลสิทธิบัตร 79
ตารางที่ 2-8: โครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทยหรือที่ประเทศไทยสามารถเข้าถึงได้ 81
ตารางที่ 3-1: ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของต่างประเทศ 106
ตารางที่ 3-2: กลไกการสร้างและพัฒนา synthetic biology ของประเทศสหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร และสาธารณรัฐประชาชนจีน 108
ตารางที่ 3-3: กลไกการสร้างและพัฒนา synthetic biology ของประเทศเกาหลีใต้และสิงคโปร์ 109
ตารางที่ 3-4: สถานภาพของธุรกิจเกษตรและเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 111
ตารางที่ 3-5: สถานภาพของธุรกิจอาหารและเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 115
ตารางที่ 3-6: สถานภาพของธุรกิจเชื้อเพลิงชีวภาพและเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 116
ตารางที่ 3-7: สถานภาพของธุรกิจวัสดุและเคมีชีวภาพและเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 117
ตารางที่ 3-8: สถานภาพของธุรกิจด้านการแพทย์และสุขภาพ และเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ 118
ตารางที่ 3-9: มูลค่าทางเศรษฐกิจที่คาดว่าจะเกิดจากการประยุกต์ใช้ synthetic biology ใน 10 ปีข้างหน้า 119
ตารางที่ 4-1: ตัวอย่างโปรแกรมการพัฒนางานวิจัยชั้นแนวหน้าขั้นแนวหน้า (Frontier Research) ด้านชีววิทยา 133

1. บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ประเทศไทยลงทุนเพื่อพัฒนาการวิจัยและพัฒนาสาขาพันธุวิศวกรรม (genetic engineering) มายาวนาน โดยเริ่มต้นด้วยการจัดตั้งศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, BIOTEC) เมื่อปี พ.ศ. 2526 โดยศูนย์ฯ มีพันธกิจหลัก คือการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างความสามารถด้านเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ของประเทศ

การลงทุนอย่างต่อเนื่องตลอด 40 ปี ได้มีส่วนสำคัญในการทำให้ประเทศไทยมีการสร้างนักวิจัยในสาขาเทคโนโลยีชีวภาพที่มีความสามารถในการใช้เทคนิคพันธุวิศวกรรมเพิ่มขึ้นมาก ทั้งจากนักเรียนทุนกระทรวงวิทยาศาสตร์ที่ไปเรียนในสาขานี้ และนักศึกษาที่ผลิตขึ้นโดยสถาบันอุดมศึกษาและบัณฑิตศึกษาในประเทศที่มีการเปิดหลักสูตรดังกล่าวมากกว่า 20 แห่ง พร้อมกับการที่ภาครัฐลงทุนโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญในการสนับสนุนการพัฒนาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น ห้องปฏิบัติการที่มีครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์เฉพาะทาง การจัดตั้งสถาบันจีโนม การลงทุนโรงงานต้นแบบทางเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการผลิตในระดับขยายขนาด เป็นต้น และส่งเสริมการนำผลงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์ เร่งยกระดับห้องปฏิบัติการในสถานที่วิจัยจำนวนมากให้ได้มาตรฐานความปลอดภัยทางชีวภาพระดับต่าง ๆ พร้อมกับจัดตั้งคณะกรรมการเทคนิคด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ (Technical Biosafety Committee – TBC) ในระดับประเทศเพื่อทำหน้าที่พัฒนาแนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางชีวภาพทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงานต้นแบบ ซึ่งจำเป็นสำหรับการจัดการสิ่งมีชีวิตที่ผ่านการปรับเปลี่ยนพันธุกรรมเพื่อส่งเสริมการใช้ประโยชน์จริงจากงานวิจัย ในส่วนของสถาบันวิจัยและมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ก็มีความพร้อมทางด้านการศึกษาวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีชีวภาพ ดังจะเห็นได้จากการมีคณะกรรมการความปลอดภัยทางชีวภาพระดับสถาบัน (Institutional Biosafety Committee - IBC) ทำหน้าที่กำกับดูแลและควบคุมการวิจัยให้เป็นมาตรฐานและมีความปลอดภัยทั้งกับผู้วิจัยและสิ่งแวดล้อมอยู่เกือบทุกที่ อันแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีความพร้อมด้านเทคโนโลยีตลอดทั้ง value chain ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์ดัดแปลงพันธุกรรมจำหน่ายในเชิงการค้า ได้แก่ เอนไซม์ สารโอลิโกแซ็กคาไรด์ วัตถุเจือปนอาหาร และกรดอะมิโนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และมีการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์จากพืชดัดแปลงพันธุกรรม เช่น ถั่วเหลืองและข้าวโพดที่ทนต่อสารกำจัดวัชพืช เป็นต้น สำหรับเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมอาหารสัตว์

เทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน และมีส่วนสำคัญในการเกิดชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ซึ่งเป็นศาสตร์ใหม่ที่เริ่มมีการกล่าวถึงในปี พ.ศ. 2549[1] ซึ่งเป็นการนำศาสตร์ด้านอณูชีววิทยา (molecular biology) มาผสานกับวิศวกรรมศาสตร์ โดยอาศัยหลักการศึกษา “ระบบของสิ่งมีชีวิต” จากมุมมองและเครื่องมือทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ที่เปรียบเทียบระบบสิ่งมีชีวิตเสมือนประกอบขึ้นด้วยวงจรไฟฟ้าและโรงงานผลิตที่มีกลไกควบคุม และสามารถแบ่งการควบคุมออกเป็นระบบเล็ก ๆ มาประกอบกัน ซึ่งหากสลับ

[1] Andrianantoandro E, Basu S, Karig D, Weiss R (2006) **Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline.** Mol Sys Biol [doi: 10.1038/msb4100073] EMBO Rep. 2008 Sep; 9(9): 822–827. Published online 2008 Aug 22. doi: 10.1038/embor.2008.159

ปรับเปลี่ยนองค์ประกอบเล็ก ๆ นี้ ก็อาจสร้างสิ่งมีชีวิตที่มีคุณสมบัติใหม่ตามต้องการหรือแม้กระทั่งได้สิ่งมีชีวิตแบบที่ไม่เคยมีมาก่อน โดยที่แนวคิดเช่นนี้ แตกต่างกับการทำพันธุวิศวกรรมแบบเดิมที่ใช้เหตุผลในการออกแบบและค่อย ๆ ปรับเปลี่ยนยีนของสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่เดิมทีละน้อย มาเป็นการออกแบบและดำเนินการเปลี่ยนองค์ประกอบหลายส่วนเพื่อสร้างสิ่งมีชีวิตที่ซับซ้อนมากขึ้นใหม่อย่างแม่นยำตามแนวคิดของวิศวกรรมศาสตร์[2]

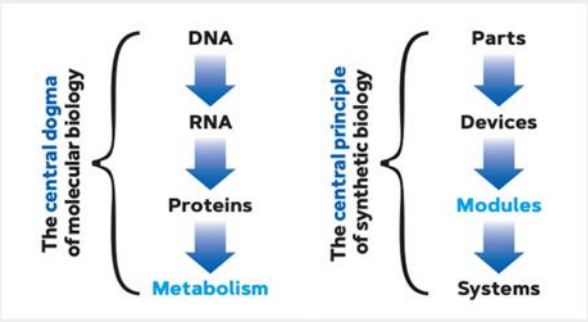


Figure 1.

From the central dogma of molecular biology to the conceptual framework of synthetic biology. In the first case, the main element is the transfer of information from DNA to proteins and metabolism. Conversely, synthetic biology is concerned with the relational and compositional logic of living systems and applies typical engineering abstractions to biological objects.

Source: De Lorenzo (2018)

ด้วยศักยภาพของชีววิทยาสังเคราะห์ที่อาจนำไปสู่การสร้างให้สิ่งมีชีวิตที่มี function ต่างไปจากเดิมได้อย่างมาก ทำให้ความก้าวหน้าของการศึกษาวิจัยในสาขานี้ถูกคาดหวังว่าจะนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่หรือวิธีการแก้ปัญหาแบบใหม่ที่จะเป็นประโยชน์ต่อมวลมนุษย์ที่สูงขึ้น เช่น

- ทางด้านการแพทย์ อาจนำไปสู่ยาหรือวิธีรักษาสำหรับโรคต่าง ๆ ทำให้ได้วิธีวินิจฉัย ติดตามและรักษาที่ดีไปกว่าเดิม
- ทางด้านสิ่งแวดล้อม อาจนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน เช่น การได้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เชื้อเพลิงชีวภาพ และการจัดการของเสียด้วยเทคโนโลยีใหม่ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมยิ่งขึ้น
- ทางด้านการเกษตรและการผลิตอาหาร อาจนำไปสู่ผลผลิตที่สูงขึ้นของพืชอาหาร สายพันธุ์พืชที่ทนต่อโรคและแมลง มีคุณค่าทางโภชนาการ มีคุณภาพหรือรสชาติที่ดียิ่งขึ้น การจัดระบบการผลิตการเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
- ทางด้านอุตสาหกรรม อาจนำไปสู่วัสดุใหม่ สารเคมีทางชีวภาพที่ทดแทนสารเคมี และมีต้นทุนที่เหมาะสม

จากศักยภาพของชีววิทยาสังเคราะห์และพื้นฐานที่ประเทศไทยได้มีการพัฒนาความก้าวหน้าด้านพันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพมาระดับหนึ่ง ประเทศไทยจึงมีโอกาสที่จะพัฒนาต่อยอดจากฐานที่มีอยู่ไปในศาสตร์ทางด้านชีววิทยาสังเคราะห์ ซึ่งในขณะนี้สถาบันวิจัย สถาบันการศึกษาและภาคเอกชนได้เริ่มมีการให้ความสนใจในการพัฒนาและนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ ดังนั้น **เพื่อให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์แบบมุ่งเป้า** จำเป็นอย่างยิ่งที่ประเทศไทยต้องมีการจัดทำแผนที่นำทาง (roadmap) เพื่อกำหนดเป้าหมาย

[2] -de Lorenzo, V. **Evolutionary tinkering vs. rational engineering in the times of synthetic biology**. Life Sci Soc Policy 14, 18 (2018). https://doi.org/10.1186/s40504-018-0086-x

ที่จะมุ่งไป ณ เวลาต่าง ๆ โดยมีจุดเริ่มต้นหลักจากการศึกษาความต้องการของผู้ใช้ นำไปเชื่อมโยงกับความสามารถทางเทคโนโลยีของประเทศทั้งในหน่วยงานภาครัฐและเอกชนว่า ความพร้อมโครงสร้างพื้นฐานทั้งในระดับการวิจัย และความสามารถในการพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์ รวมทั้งเปรียบเทียบความสามารถของประเทศกับประเทศอื่น ๆ ที่เป็นผู้นำในการลงทุนในศาสตร์นี้ เพื่อให้เห็นช่องว่างที่มีอยู่และแนวทางการปรับปรุง

ความเข้าใจหรือรับรู้ของผู้ที่เกี่ยวข้องมีความแตกต่างกันอยู่มากระหว่างชีววิทยาสังเคราะห์และเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ แม้ว่า ชีววิทยาสังเคราะห์มีการใช้องค์ความรู้และโครงสร้างพื้นฐานบางประเภทคล้ายพันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพ แต่มีองค์ประกอบหลายอย่างที่แตกต่างจากพันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพโดยสิ้นเชิง เช่น แนวความคิดผสมระหว่างวิศวกรรมศาสตร์กับอณูชีววิทยา ความสามารถในการสร้าง tool box ของ biological parts ที่จะนำมาใช้สร้างสิ่งมีชีวิตใหม่ ได้แก่ เซลล์เจ้าบ้าน องค์ประกอบวงจรยีน (gene circuit) ที่เป็นชิ้นส่วนมาตรฐาน การคิดแบบ abstraction รวมทั้งความสามารถในการออกแบบระบบ (system design) ของสิ่งมีชีวิตจากสิ่งที่ไม่เคยเห็นมาก่อนได้ เป็นต้น

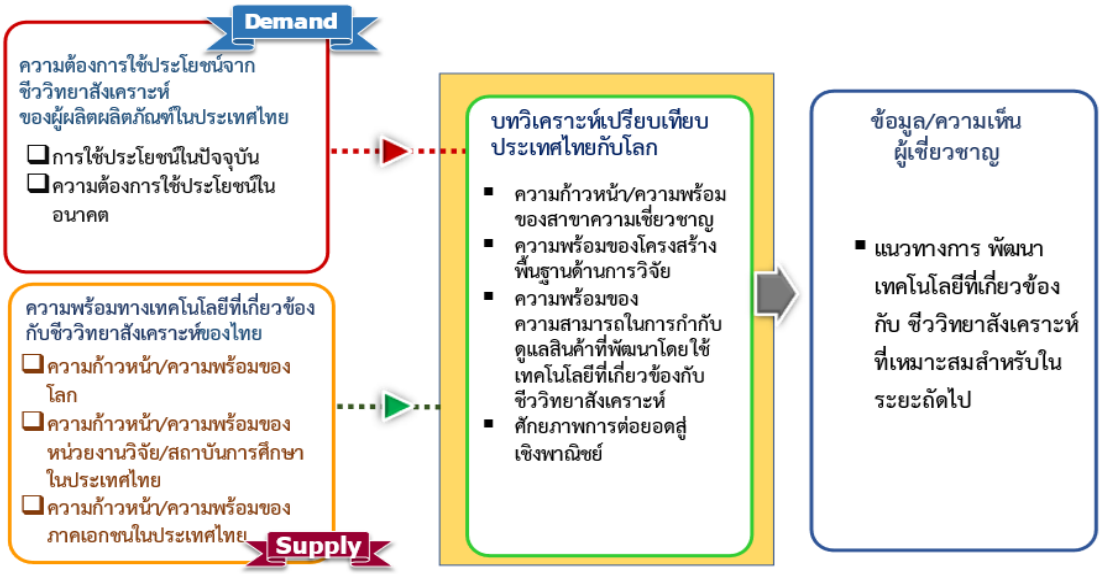
โครงการศึกษาสถานภาพความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ในประเทศไทย จึงเริ่มต้นด้วยการทำให้เกิดความชัดเจนของความหมายของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ที่เหมาะสมในบริบทในประเทศไทย การรวบรวมข้อมูลเพื่อให้ทราบสถานภาพความสามารถ ศักยภาพในการสร้าง พัฒนาและการใช้ประโยชน์ รวมถึงความพร้อมของระบบนิเวศเพื่อการพัฒนานวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ ทั้งนี้ ข้อมูลพื้นฐานดังกล่าวจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางดำเนินงานการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ที่เหมาะสมสำหรับในระยะต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อรวบรวมข้อมูลสถานภาพการพัฒนาความสามารถของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ในปัจจุบัน และประเมินความพร้อมของเทคโนโลยี (Technology Readiness Level TRL) ของประเทศไทยเปรียบเทียบกับระดับนานาชาติ และประมวลข้อมูลองค์ประกอบสำคัญในมิติผลผลิตงานวิจัยและเทคโนโลยี กำลังคน โครงสร้างพื้นฐานด้าน วทน. และความก้าวหน้าในการวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยี รวมทั้งการวิเคราะห์ศักยภาพการพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์
2) เพื่อรวบรวมข้อมูลปัญหา/อุปสรรค รวมถึงแนวโน้มความต้องการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของผู้ประกอบการไทยในอุตสาหกรรมชีวภาพ
3) เพื่อสนับสนุนข้อมูลและความเห็นต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อการกำหนดแนวทางดำเนินงานการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ที่เหมาะสมสำหรับในระยะต่อไป

1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินโครงการดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อรวบรวมรูปแบบการใช้ประโยชน์ รวมถึงความต้องการใช้ประโยชน์ของภาคเอกชนในอนาคต และสถานภาพความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ในประเทศไทยในเชิงเปรียบเทียบกับความพร้อมของโลกเพื่อนำไปสู่การวางแผนหรือแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ที่เหมาะสมต่อไปโดยการอ้างอิงจากข้อมูล การสัมภาษณ์และการจัดประชุมรับฟังความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ โดยมีขั้นตอนดังนี้



กรอบแนวคิดในการดำเนินโครงการวิจัย

1) กำหนดนิยาม ขอบเขตของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ที่สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทยโดยใช้วิธีการสำรวจเอกสาร (literature review) จากแหล่งทุติยภูมิ เช่น European Commission UK parliamentary office for Science and Technology Post Note, The German Academy of Sciences Leopoldina และ Australian Council of Learned Academies สัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth interview) และจัดประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (focus group) จากสถาบันการศึกษาและสถาบันการวิจัยเพื่อให้ความเห็นเชิงวิชาการต่อนิยาม ขอบเขตของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ที่สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย

2) การศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เพื่อการผลิตและการค้า โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

2.1 กำหนดสาขาอุตสาหกรรมและจำนวนผู้ประกอบการเป้าหมายในการสำรวจโดยการอ้างอิงจากการสัมภาษณ์เชิงลึก และการประชุมกลุ่มเพื่อกำหนดสาขาเป้าหมายสำรวจความต้องการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยนักวิจัย ทั้งในภาครัฐ และเอกชน ที่อยู่ในอุตสาหกรรมเป้าหมาย รวมถึงการศึกษาเอกสาร เช่น แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม

แห่งชาติฉบับที่ 13 แผนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุตสาหกรรมเป้าหมาย แนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีของโลกหรือประเทศผู้นำในแต่ละอุตสาหกรรม

2.2 สำรวจโอกาสทางการตลาด (Markets & Demand) การใช้จุลินทรีย์ สารชีวเคมี หรือ สารตัวกลางในอุตสาหกรรมกลางน้ำและปลายน้ำของไทยทั้งจากการสัมภาษณ์และอ้างอิงจากรายงานวิจัยทางการตลาดและแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ เช่น แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 แผนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุตสาหกรรมเป้าหมาย

2.3 สำรวจศักยภาพของบริษัทไทยที่จะใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ในภาคการผลิตด้วยการสัมภาษณ์ภาคเอกชนเชิงลึกรวม 11 แห่ง

สาขาอุตสาหกรรม	รายชื่อบริษัท
เกษตรและอาหาร	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหารจำกัด (มหาชน) บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน) บริษัท ไทยยูเนี่ยน กรุ๊ป จำกัด (มหาชน) บริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ จำกัด บริษัท ยูนิฟาร์ส จำกัด MUU บริษัท ไบโอม จำกัด
สุขภาพและการแพทย์	บริษัท อินโนบิก (เอเชีย) จำกัด
วัสดุ และเคมีชีวภาพ	บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) บริษัท โกลบอลกรีนเคมิคอล จำกัด (มหาชน)
พลังงาน	บริษัท บีบีจีไอ จำกัด (มหาชน)

2.4 โดยกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ ภาคเอกชนโดยเฉพาะผู้ประกอบการขนาดใหญ่และขนาดกลาง และ startups โดยข้อมูลประกอบการวิเคราะห์อ้างอิงจากสถานภาพ เป้าหมาย วิสัยทัศน์ทางธุรกิจ สาขาเป้าหมายที่ต้องการต่อยอดสู่เชิงธุรกิจ และความพร้อมเทคโนโลยี เช่น ค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนา จำนวนบุคลากร เป็นต้น

2.5 รวบรวมข้อมูลปัญหา อุปสรรค และความท้าทายของการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ในภาคการผลิตของภาคเอกชนด้วยการสัมภาษณ์ และการจัดประชุม focus group

3) การศึกษาและวิเคราะห์ความสามารถในการผลิตกำลังคนด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 การรวบรวมข้อมูลหลักสูตรการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัย/สถาบันการศึกษาที่เกี่ยวกับ synthetic biology จากฐานข้อมูลของสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม

3.2 จัดส่งแบบสอบถามไปยังมหาวิทยาลัยที่มีการเรียน-การสอนที่เกี่ยวข้อง 95 คณะ เพื่อรวบข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนของหลักกสูตร และปริมาณการผลิตกำลังคน

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการแบบสอบถามในมิติต่าง ๆ ดังนี้

- ผู้ผลิต ได้แก่ สถาบันการศึกษาหรือสถาบันวิจัยที่มีบทบาทในการผลิตกำลังคน

- จำนวนกำลังคนในสถาบันอุดมศึกษาที่ผลิตและภาคอุตสาหกรรม รวมถึงทักษะและความเชี่ยวชาญของบุคลากรในปัจจุบัน
- ทักษะและความเชี่ยวชาญของบุคลากรที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคตทั้งในส่วนของสถาบันการศึกษาหรือแรงงานในภาคอุตสาหกรรม
- ทักษะกำลังคนที่ต้องการ

4) การศึกษาและวิเคราะห์ความสามารถด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

4.1 สืบค้นผลงานตีพิมพ์ด้วยการใช้คำสืบค้น “synthetic biology” จากฐานข้อมูล Scopus โดยครอบคลุมระยะเวลาประมาณ 15 ปี

4.2 วิเคราะห์ความสามารถด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลผ่าน algorithm ต่าง ๆ เช่น SciVal และ Bibliometrix เป็นต้น โดยตัวอย่างมิติการวิเคราะห์ ได้แก่

- ทิศทางหรือแนวโน้มสาขา/ประเด็นการวิจัยในระดับนานาชาติและประเทศไทย
- นักวิจัยที่เป็นผู้เชี่ยวชาญระดับแนวหน้าในสาขาดังกล่าวทั้งในระดับนานาชาติและประเทศไทย
- หน่วยงาน/สถาบันวิจัยที่มีผลงานตีพิมพ์มากที่สุดใน 10 อันดับแรกของโลก
- เครือข่ายความร่วมมือการทำวิจัยของนักวิจัยและสถาบันวิจัยหลักของโลกและประเทศไทย

4.3 จัดเสวนาโดยเชิญผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศที่มีประสบการณ์ในการวิจัยและใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีทางด้าน synthetic biology เพื่อให้ทราบข้อมูลความก้าวหน้าและทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีของต่างประเทศสำหรับเป็นฐานในการวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของประเทศไทย

5) การศึกษาและวิเคราะห์ความสามารถด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เพื่อการต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์ด้วยการวิเคราะห์จากฐานข้อมูลสิทธิบัตร โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

5.1 การกำหนดขอบเขตของโจทย์หรือเป้าหมายที่ต้องการสืบค้นสิทธิบัตร (Scope of Target)

5.2 การกำหนดคำสำคัญที่สัมพันธ์กับเป้าหมายที่ต้องการสืบค้นสิทธิบัตร (Specify Keywords)

5.3 การสืบค้นข้อมูล (Patent search) จากฐานข้อมูลสิทธิบัตร (Patent database) ย้อนหลังประมาณ 10 ปี โดยใช้คำสำคัญที่กำหนดจากข้อ 5.2) ในการสืบค้น ทั้งนี้ ฐานข้อมูลสิทธิบัตรเลือกได้จากฐานข้อมูล ดังนี้

- ระดับโลก : ใช้ฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ (Commercial Database) และ/หรือ Free Database
- ระดับประเทศ (ไทย) : ใช้ฐานข้อมูลสิทธิบัตรของกรมทรัพย์สินทางปัญญาประเทศไทย (DIP) และ/หรือ ฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่สืบค้นได้จากข้อ 5.3 โดยแสดงผลวิเคราะห์ (Display Analysis) โดยตัวอย่างมิติการวิเคราะห์จากข้อมูลสิทธิบัตร (Patent Landscape) ได้แก่

- แนวโน้มการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรรายปี (Patent publishing trends)
- ผู้ยื่นคำขอสิทธิบัตร 10 อันดับแรก (Top10 assignees) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงคู่แข่ง (Competitors) ในด้านนี้

- ผู้ประดิษฐ์คำขอสิทธิบัตร 10 อันดับแรก (Top10 Inventors) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงนักวิจัย (Researchers) ชั้นนำที่ชำนาญหรือเชี่ยวชาญในด้านนี้
- ประเทศที่เป็นเป้าหมายในการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร 10 อันดับแรก (Top10 countries) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงตลาด (Markets) ในการคุ้มครองสิทธิความเป็นเจ้าของเพื่อการผูกขาดทางการค้า

6) การวิเคราะห์ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกับโลก โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

6.1 สำรวจโครงสร้างพื้นฐานที่รองรับการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีโดยครอบคลุมทั้งในส่วนของโครงสร้างพื้นฐานการวิจัยและการวิเคราะห์ทดสอบที่ได้มาตรฐาน

6.2 การจัดประชุม focus group เพื่อวิเคราะห์ความพร้อม รวมถึงปัญหาและอุปสรรคในการบริหารจัดการและใช้ประโยชน์โครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัยและการวิเคราะห์ทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการใช้ประโยชน์ หรือมาตรฐาน

7) การศึกษาและวิเคราะห์ความพร้อมในการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (Synthetic Biology; SynBio) เชิงเปรียบเทียบกับโลก โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

7.1 รวบรวมข้อมูลการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (Synthetic Biology; SynBio) ของประเทศต่าง ๆ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา (USA) สหภาพยุโรป (EU) ญี่ปุ่น (Japan) และสิงคโปร์ (Singapore) จากบทความวิชาการ (academic articles) และกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง เช่น อนุสัญญาว่า ด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ (the Convention on Biological Diversity; CBD) พิธีสารนาโงย่า (Nagoya Protocol) เป็นต้น

7.2 ประมวลผลทั้งจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ และการจัดประชุม focus group เพื่อจัดทำบทวิเคราะห์ช่องว่างและความพร้อมในการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินงานในต่างประเทศ

8) จัดทำแผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทยเบื้องต้น โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

8.1 จัดทำร่างแผนที่นำทางการวิจัยและพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทยด้วยการอ้างอิงข้อมูลจากข้อ 2 - 7

8.2 จัดประชุมรับฟังข้อคิดเห็นต่อแผนที่นำทางเพื่อพิจารณาความเหมาะสมโดยกลุ่มเป้าหมาย ประกอบด้วยนักวิชาการ ภาคเอกชน หน่วยงานกำกับดูแล และ หน่วยงานด้านนโยบายเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2567

8.3 ปรับปรุงแผนที่นำทางฯ เบื้องต้นโดยแผนที่นำทางเป็นการระบุทิศทาง และสิ่งที่ควรเร่งดำเนินการ ในระยะต่าง ๆ

9) จัดทำรายงานสรุปข้อมูล/ความคิดเห็นเพื่อประกอบการพัฒนาแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยในระยะถัดไป

2. สถานภาพความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ของไทย

การศึกษานี้ เป็นการรวบรวมสถานภาพการวิจัย พัฒนาและความพร้อมของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ของประเทศไทยเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระดับนานาชาติ ในมิติผลผลิตงานวิจัยและเทคโนโลยี กำลังคน โครงสร้างพื้นฐานด้าน วทน. รวมถึงกลไกกำกับดูแลด้านกฎหมาย กฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยาม ขอบเขตของเทคโนโลยีที่เกี่ยวของกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ที่สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย

การกำหนดนิยามและขอบเขตของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ เป็นการพัฒนาต่อยอดจากกรอบนิยามของชีววิทยาสังเคราะห์ในเอกสาร Synthetic Biology in Australia an outlook to 2030[3] คณะผู้วิจัยใช้กลไกประชุมเพื่อขอความเห็นจากคณะผู้ทรงคุณวุฒิเฉพาะทาง โดยได้จัดประชุมคณะผู้ทรงคุณวุฒิเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2566 ซึ่งที่ประชุมมีข้อสรุปร่วมกันว่า synthetic biology เป็นการออกแบบและสร้าง “New to nature biology” โดยใช้ “engineering approach” มีการใช้องค์ความรู้และโครงสร้างพื้นฐานบางประเภทคล้ายพันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพ แต่ยกระดับจากการออกแบบและสร้างทีละชิ้นส่วน (individual part) เป็นการออกแบบระบบของชิ้นส่วนที่ทำงานร่วมกัน ทั้งนี้ชีววิทยาระบบ (systems biology) เป็นส่วนสำคัญในการสร้างองค์ความรู้ reference map/network สำหรับนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างสิ่งมีชีวิตให้มีคุณสมบัติตามที่ออกแบบ ทั้งนี้ คณะผู้ทรงคุณวุฒิได้ข้อสรุปคำจำกัดความ และเห็นชอบให้ปรับร่างนิยามของชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) เป็นดังนี้

“Synthetic biology is the innovative discipline of designing and constructing new-to-nature biological components and systems by harnessing engineering principles. Central to this are methodologies like the Design-Build-Test-Learn cycle, programmable bio-circuits, and the development of artificial biological systems. As we shape and redefine the boundaries of biological design, the implications extend from groundbreaking research to societal transformation."

“ชีววิทยาสังเคราะห์เป็นศาสตร์สำหรับการสร้างนวัตกรรมซึ่งเป็นการผนวกองค์ความรู้เชิงลึกทางชีววิทยา เช่น ชีววิทยาเชิงระบบ ระบบกลไกการแสดงออกของยีน การตัด/ต่อยีนอย่างจำเพาะทั้งขนาดและคุณสมบัติการทำงานของยีนนั้น ๆ และ ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติ/การทำงานของชิ้นส่วนของยีนหรือวงจรของยีนที่สร้างขึ้น (synthetic genetic parts/circuits) และแนวคิดด้านวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งเป็นแนวความคิดสำหรับการออกแบบและพัฒนากระบวนการ เครื่องมือ หรือผลิตภัณฑ์ ที่สามารถควบคุมให้ได้ผลลัพธ์ตามความต้องการ โดยแนวความคิดที่นิยมคือ วงจร “design-build-test-learn” (DBTL) cycle เพื่อออกแบบและพัฒนาสิ่งใหม่ที่ยังไม่เคยปรากฏ

[3] Gray, P. et al (2018) **Synthetic Biology in Australia an outlook to 2030**, Australian Council of Learned Academies (ACOLA): 123

ในธรรมชาติ (new to nature) ทั้งเป็นการก้าวข้ามการออกแบบทางชีววิทยาที่สามารถนำงานวิจัยใช้ขับเคลื่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสังคม”

ทั้งนี้ คณะผู้ศึกษาจึงได้ได้จัดทำนิยามสำหรับการสื่อสารกับหน่วยงานภายนอกให้มีความกระชับขึ้นโดยยังคงความหมายเช่นเดิม เป็นดังนี้

“Designing and creating new-to-nature biological components or systems using a systematic or engineering approach. This includes, but is not limited to, the use of the Design-Build-Test-Learn cycle, programmable biological circuits, or artificial cells.”

“การออกแบบและสร้างองค์ประกอบและ/หรือระบบทางชีวภาพ ที่ไม่เคยปรากฏในธรรมชาติด้วยการใช้ระบบหรือกระบวนการทางวิศวกรรม ซึ่งไม่จำกัดเพียงการใช้วงจร “Design-Build-Test-Learn” เพื่อโปรแกรมการทำงานของวงจรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต หรือ การสร้างเซลล์สังเคราะห์”

2.2 ความกาวหนาทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวของกับชีววิทยาสังเคราะหของโลก

การศึกษาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข่องกับชีววิทยาสังเคราะหของโลกดำเนินการโดยการสืบค้น รวบรวม ประมวล และวิเคราะห์เอกสารบทความวิชาการจากฐานข้อมูล Scopus โดยเริ่มจากการคัดเลือกคำสำคัญ (keywords) ที่เหมาะสมสำหรับใช้สืบค้นในฐานข้อมูลเพื่อให้ได้เอกสารบทความที่เกี่ยวข้องกับ ชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ซึ่งจะนำไปสู่การประมวลและวิเคราะห์สถานภาพการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวของกับชีววิทยาสังเคราะห และทิศทางการทำวิจัยในระดับนานาชาติ ได้อย่างแม่นยำต่อไป

การสืบค้นด้วยการใช้คำสำคัญ (keywords) “synthetic biology” ในการสืบค้นจาก author keywords ของเอกสารในฐานข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 1913 - เดือนกรกฎาคม ค.ศ. 2023 (สืบค้นทั้งฐานข้อมูล) พบเอกสารจำนวน 17,599 เรื่อง แล้วนำ author keywords จากเอกสารทั้งหมดมาเรียงลำดับตามความถี่ของการพบคำสำคัญนั้น ๆ จากมากไปหาน้อย ทั้งนี้เบื้องต้น author keywords ที่สามารถเป็นตัวแทนที่ดีมีจำนวน 120 คำ คิดเป็นร้อยละ 60 ของความถี่ทั้งหมดของ author keywords โดยแบ่งกลุ่ม keywords ตามความสำคัญดังนี้

กลุ่ม keywords (คำสำคัญ)	Keywords (คำสำคัญ)
1. กลุ่มคำสำคัญหลัก มีความหมายจำเพาะต่อ synthetic biology จำนวน 61 คำ	Synthetic biology, Metabolic engineering, Systems biology, Protein engineering, Biotechnology, Biosynthesis, Genetic engineering, Genome editing, Directed evolution, CRISPR, Genome engineering, DNA assembly, Optogenetics, Cell-free protein synthesis, Bioengineering, Quorum sensing, Genetic circuits, Heterologous expression, Self-assembly, Gene regulation, CRISPR/Cas9, Machine learning, Riboswitch, Genomics, Artificial cells, Promoter, Genetic circuit, Gene editing, Genetic code expansion, Bioinformatics, Transcription factor, Cell-free synthetic biology, Gene circuits, Microbial cell factory, Protein design, CRISPR-Cas9, Gene therapy, Pathway

กลุ่ม keywords (คำสำคัญ)	Keywords (คำสำคัญ)
	engineering, Molecular biology, Metabolomics, Enzyme engineering, Synthetic cells, Microbial cell factories, Gene regulatory networks, Cell factory, Molecular communication, Bottom-up synthetic biology, Biomanufacturing, High-throughput screening, Artificial life, Genome mining, DNA nanotechnology, Mathematical modeling, Biosafety, Rational design, Biosynthetic pathway, Computational Biology, Transcriptional regulation, DNA synthesis, iGEM, Promoter engineering
2. กลุ่มคำสำคัญหลัก มีความหมายกว้าง ไม่จำเพาะต่อ synthetic biology จำนวน 9 คำ	*Saccharomyces cerevisiae*, Gene expression, DNA, RNA, Protein expression, *Corynebacterium glutamicum*, Artificial intelligence, Transcription, Homologous recombination
3. กลุ่มคำสำคัญรองลำดับที่ 1 จำนวน 20 คำ	Biosensor, Biocatalysis, Biosensors, Secondary Metabolites, Bioremediation, Immunotherapy, Industrial biotechnology, Biomaterials, Automation, Microbiome, Biosecurity, Aptamer, Regulation, Modeling, Drug delivery, Enzymes, Sustainability, Drug discovery, Microbial consortia, Engineering,
4. กลุ่มคำสำคัญรองลำดับที่ 2 จำนวน 30 คำ	*Escherichia coli*, Yeast, Cyanobacteria, Natural products, Biofuels, Microfluidics, Biofuel, Evolution, Bacteria, *Bacillus subtilis*, *Yarrowia lipolytica*, Photosynthesis, Fermentation, Microalgae, Nanotechnology, Streptomyces, Ethics, Metabolism, Cancer, *E. coli,* Robustness, Translation, *Pichia pastoris, Pseudomonas putida*, Polyhydroxyalkanoates, Liposomes, PHB, Terpenoids, Standards, Flavonoids

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเห็นชอบให้ใช้ และเสนอ keywords (คำสำคัญ) ในกลุ่มคำสำคัญหลัก มีความหมายจำเพาะต่อ synthetic biology จำนวน 70 คำ (กลุ่มที่ 1 และ 2) และเพิ่มเติมจำนวน 10 คำ ดังนี้

- Programmable, Modular, Orthogonal, Reliable, Recoding, Unnatural amino acid, Virus like particle, Resurrection biology, Microbiome Engineering, Network biology

2.2.1 ทดสอบ query เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนบทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology

การทดสอบ query เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนบทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสืบค้นบทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology คณะผู้ศึกษาทำการทดสอบในฐานข้อมูล Scival เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป โดยแบ่ง query ออกเป็น 4 ชุดดังนี้

1) SynBio1 ใช้ keywords จากผู้ทรงคุณวุฒิและกำหนดให้เชื่อมโยงกับ “synthetic biology” เป็น “synthetic biology” and (“keyword1” or “keyword2” or .....) ระหว่างปี ค.ศ. 1996 - ปัจจุบัน พบบทความวิชาการนานาชาติจำนวน 9,447 เรื่อง

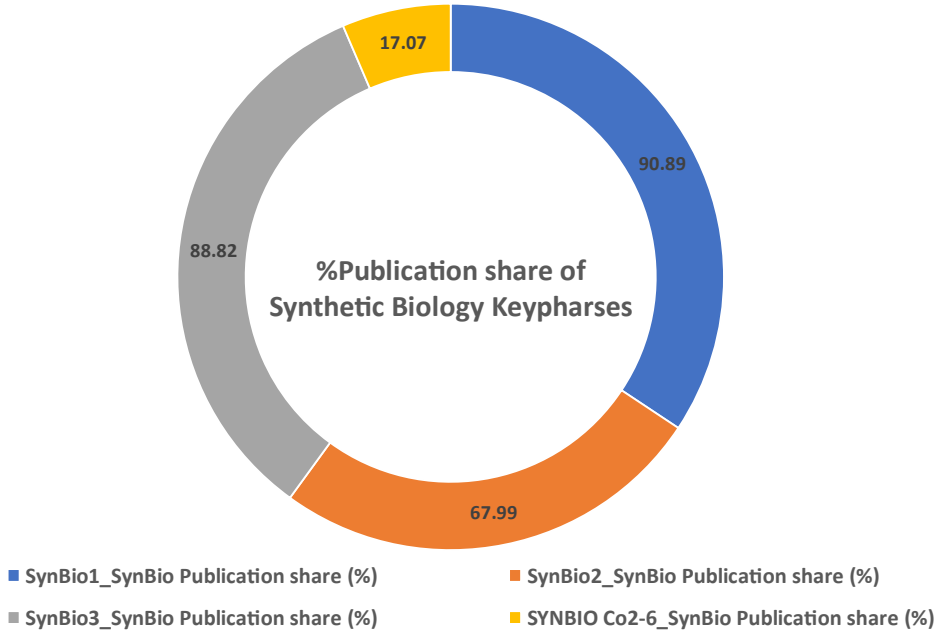
2) SynBio2 ใช้ keywords จากบทความวิชาการนานาชาติ ปี ค.ศ. 2023[4] ที่ทดสอบหาบทความที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ในฐานข้อมูล Web of Science ด้วย AI ซึ่งเมื่อใช้ keywords ดังกล่าวสืบค้นในฐานข้อมูล Scival พบว่าระหว่างปี ค.ศ. 2018 - ปัจจุบัน พบบทความวิชาการนานาชาติจำนวน 10,108 เรื่อง

3) SynBio3 ใช้ “synthetic biology” and “engineering biology” พบว่าระหว่างปี ค.ศ. 2018 - ปัจจุบัน พบบทความวิชาการนานาชาติจำนวน 10,208 เรื่อง

4) SynBio Co 2-6 โดยนำบทความที่สืบค้นในปี ค.ศ. 2022 (เนื่องจากเป็นปีล่าสุดที่บทความวิชาการนานาชาติในฐานข้อมูล Scopus สมบูรณ์แล้ว) ด้วย keywords 80 คำ ที่ผู้ทรงคุณวุฒิให้ความเห็นชอบ พบบทความวิชาการนาชาติจำนวนราว 37,160 เรื่อง จึงทดสอบหาบทความที่ keywords ซ้ำกัน 2 คำขึ้นไปพบ 1,593 เรื่อง และนำข้อมูลไปยังฐานข้อมูล Scival เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

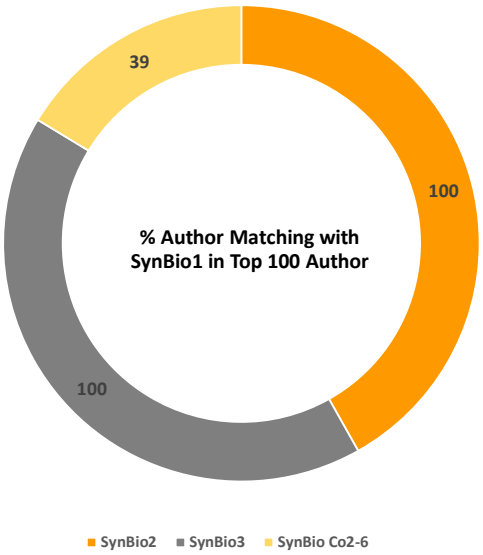
จากการเปรียบเทียบชุดข้อมูลจาก query ทั้ง 4 ชุดข้างต้นด้วย metric ในฐานข้อมูล Scival ที่แสดง Keyphrases ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลของบทความจากชื่อเรื่อง บทคัดย่อ และ author keywords ด้วยเทคนิค text mining และ natural language เพื่อทดสอบให้แน่ใจว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เป็นบทความวิชาการนานาชาติมีความเกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด โดยสามารถแสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของบทความวิชาการนานาชาติที่จัด Key phrases ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ในแต่ละชุดของ query ดังแสดงตามรูปที่ 2-1

[4] Meier, F. et al., **Navigating the Frontier of Synthetic Biology: An AI-Driven Analytics Platform for Exploring Research Trends and Relationships**. ACS Synth. Biol. 2023, 12, 11, 3229–3241

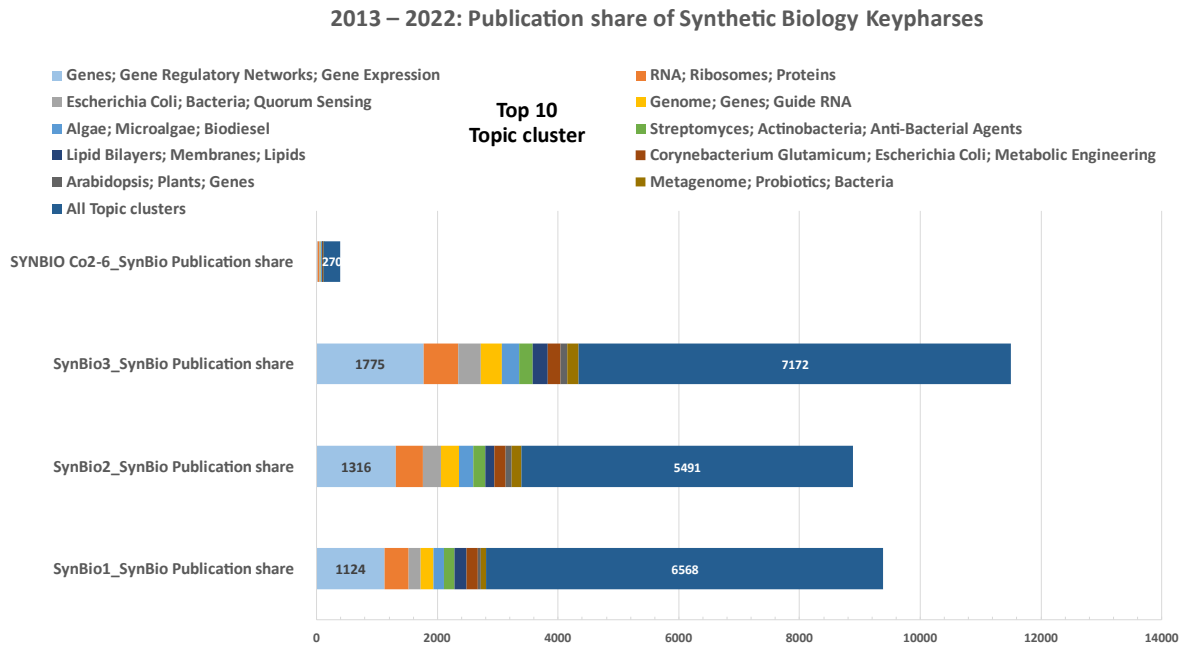


รูปที่ 2-1: แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของบทความวิชาการนานาชาติที่จัด Keyphrases ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ในแต่ละชุดของ query

พบว่าชุดข้อมูล SynBio1 มีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของบทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 90.89% รองลงมาได้ SynBio3 จำนวน 88.82% SynBio 2 จำนวน 67.99% ในขณะที่ SynBio Co2-6 มีเพียง 17.07% และเมื่อพิจารณาผู้แต่ง 100 อันดับแรกที่มีบทความวิชาการนานาชาติมากที่สุดของ SynBio1 เปรียบเทียบกับชุดข้อมูลอีก 3 ชุดที่เหลือ พบว่า SynBio2 และ SynBio 3 มีรายชื่อผู้แต่งที่มีบทความวิชาการนานาชาติมากเป็น 100 อันดับแรกตรงกันถึง 100% ในขณะที่ SynBio Co2-6 มีรายชื่อผู้แต่ง 100 อันดับแรกตรงกับ SynBio1 เพียง 39 % ดังแสดงตามรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2: แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของผู้แต่งที่มีจำนวนบทความมากเป็น 100 อันดับแรก ที่ตรงกับ SynBio1



รูปที่ 2-3: แสดงจำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ใน Top 10 Topic clusters ในแต่ละชุดของ query

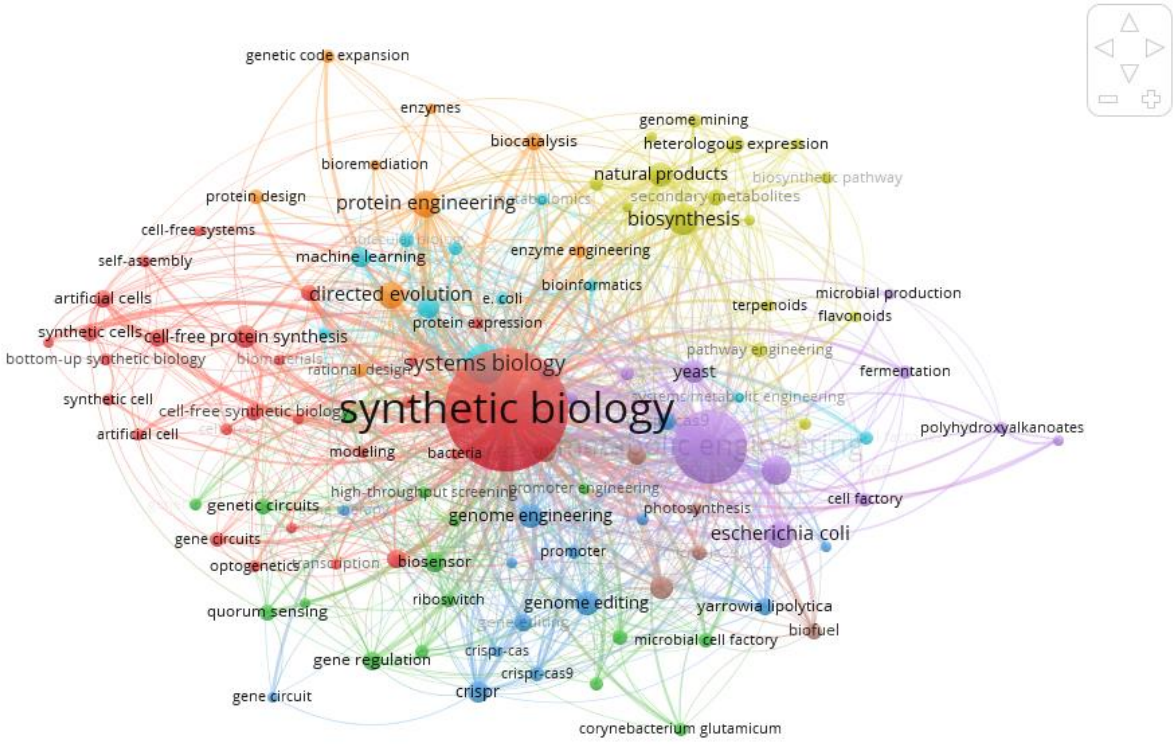
จากข้อมูลเปรียบเทียบ Topic clusters ของชุดข้อมูลจาก query ทั้ง 4 ชุด พบว่า SynBio1, SynBio2, SynBio3 มี Top 10 Topic clusters (10 อันดับแรกของ Topic clusters ที่มีจำนวนบทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ถูกจัดอยู่ใน Topic clustersนั้น ๆ มากที่สุด) เหมือนกัน แต่อาจมีสัดส่วนของจำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology แตกต่างกัน ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นชุดข้อมูล SynBio1 SynBio2 และ SynBio3 มีผู้แต่งและ Topic clusters ในกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ SynBio1 มีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของบทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology (Keyphases metrics) ซึ่งมากถึง 90.89% ที่มากกว่าชุดข้อมูล SynBio2 และ SynBio3 คณะผู้ศึกษาจึงเลือกชุดข้อมูลจาก SynBio1 สำหรับการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

2.2.2 การวิเคราะห์งานวิจัยทางด้าน synthetic biology ในมิติต่าง ๆ

จากการนำชุดข้อมูล SynBio1 ที่มีบทความวิชาการนานาชาติระหว่างปี ค.ศ. 1996 – 2024[5] จำนวน 9,423 เรื่อง ซึ่งมีบทความวิชการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology จำนวน 90.89% จากการวิเคราะห์ด้วย Keyphases ซึ่งเป็น metric ในฐานข้อมูล Scival เป็นตัวแทนของบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology เพื่อนำมาวิเคราะห์ในมิติต่าง ๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology เช่น ประเทศที่มีความก้าวหน้าทางงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology สถาบัน/นักวิจัยที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ระดับโลก การนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ตลอดจนเทคโนโลยีที่มีอยู่และการคาดการณ์เทคโนโลยีที่มีศักยภาพในอนาคต โดยมิติต่าง ๆ และนำมาเปรียบเทียบกับมิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ในประเทศไทย

[5] ข้อมูลถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2567

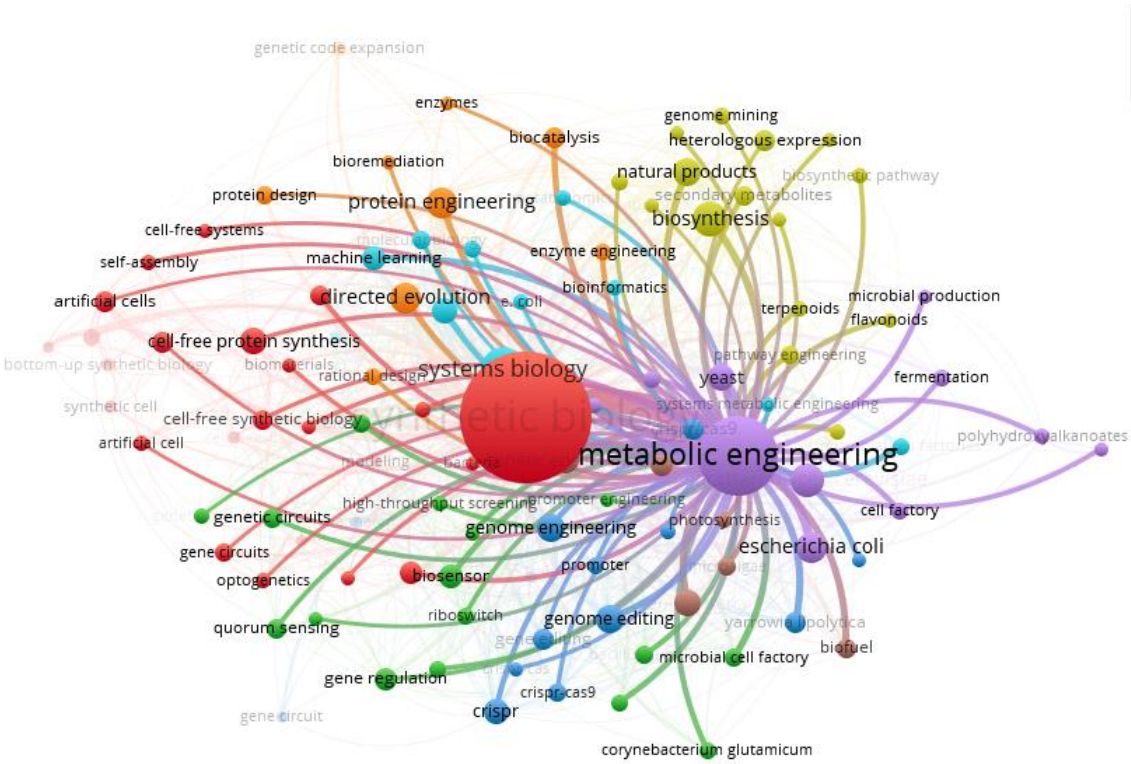
และเมื่อนำชุดข้อมูล SynBio1 มาพิจารณาความสัมพันธ์ของบทความวิชาการนานาชาติด้วยความสัมพันธ์ของ author keywords โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของคำสำคัญด้วยโปรแกรม VOSviewer[6]



รูปที่ 2-4: แสดงความสัมพันธ์ของ author keywords
โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1

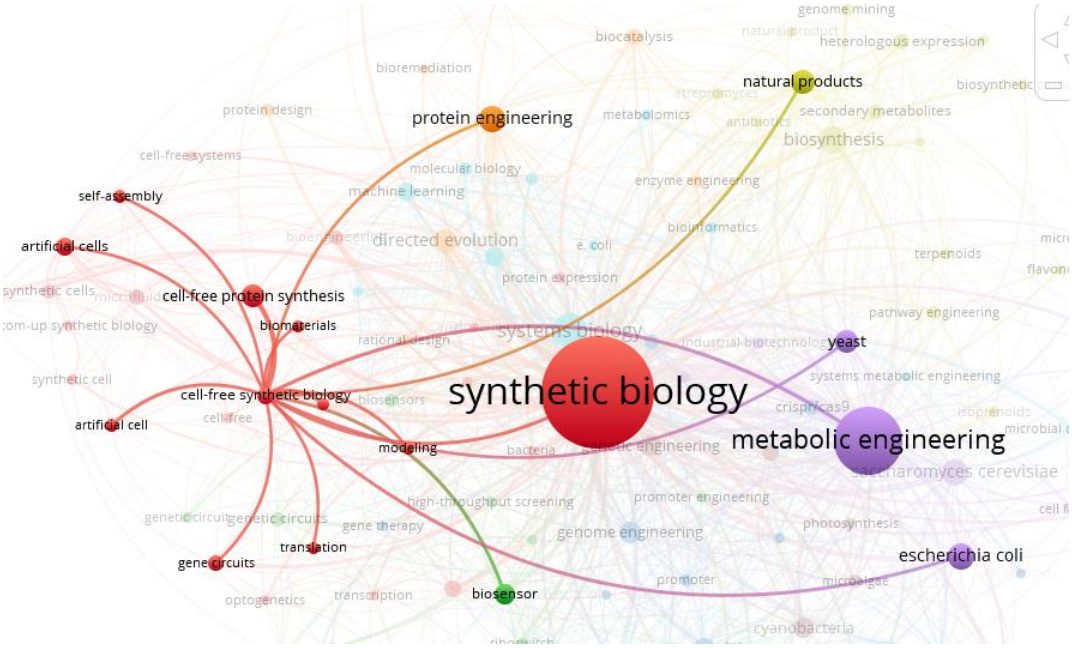
จากรูปที่ 2-4 พบว่า synthetic biology เป็นศูนย์กลางของ 8 cluster ของคำศัพท์ร่วม (co-occurrence) โดยกล่าวได้ว่า synthetic biology มีความเชื่อมโยงในทุก clusters จึงพิจารณา cluster ของคำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ที่พบว่าบทความวิชาการนานาชาติที่มีความเชื่อมโยงกับ synthetic biology จำนวนมาก ดังนี้

[6] (https://www.vosviewer.com/; (VOS viewer version 1.6.19))

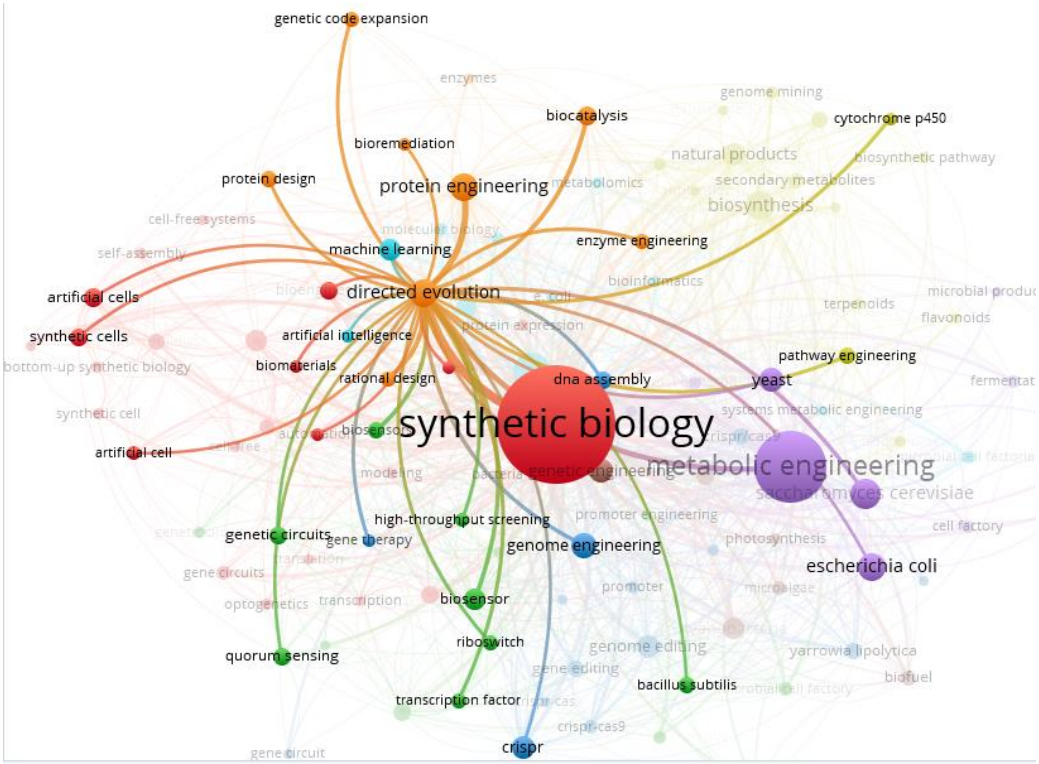


รูปที่ 2-5: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1

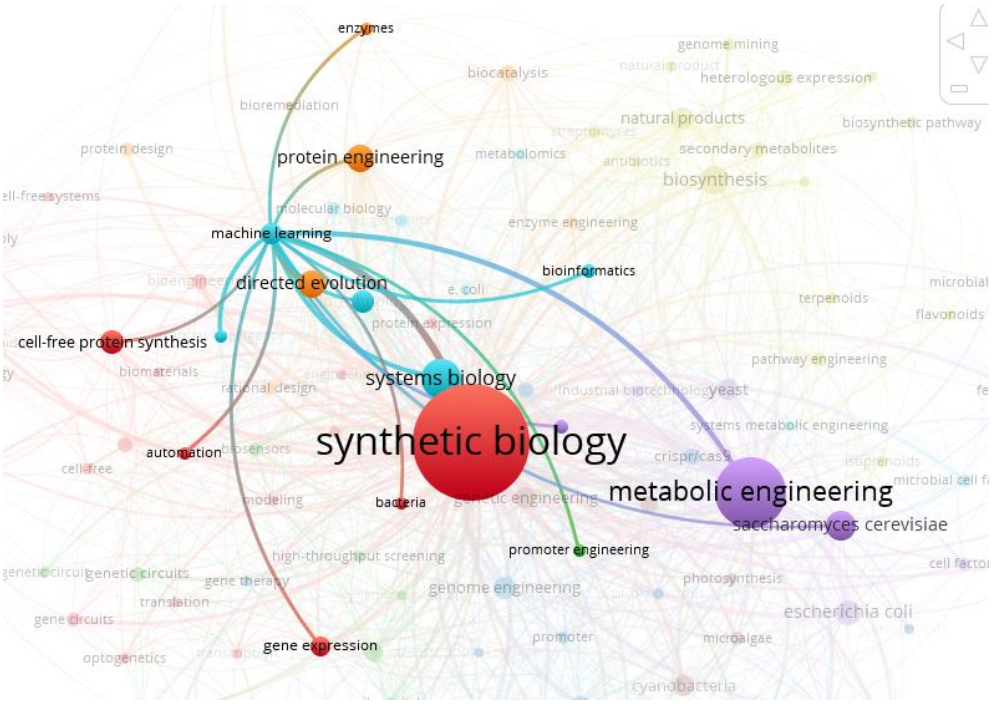
จากรูปที่ 2-5 จะเห็นได้ว่า synthetic biology มีความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดกับ metabolic engineering มีจุดร่วมต่าง ๆ เช่น host cell ทั้งยีสต์และแบคทีเรีย เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมการแสดงออกของยีนและการออกแบบการปรับเปลี่ยน host cell ด้วย computational biology (bioinformatics, machine learning และ artificial intelligence) กลุ่ม metabolic ที่สนใจใน pathway ต่าง ๆ เทคนิคการใช้ high-throughput screening อีกทั้งเครื่องมือในการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของ host cell เช่น gene editing (CRIPR-CAS) นอกจากยังมีการผลิตและประยุกต์ใช้ใน application ต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกัน เช่น biosensor, biofuel, bioremediation ดังแสดงรายละเอียดความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงตามรูปที่ 2-6A - 2-6F



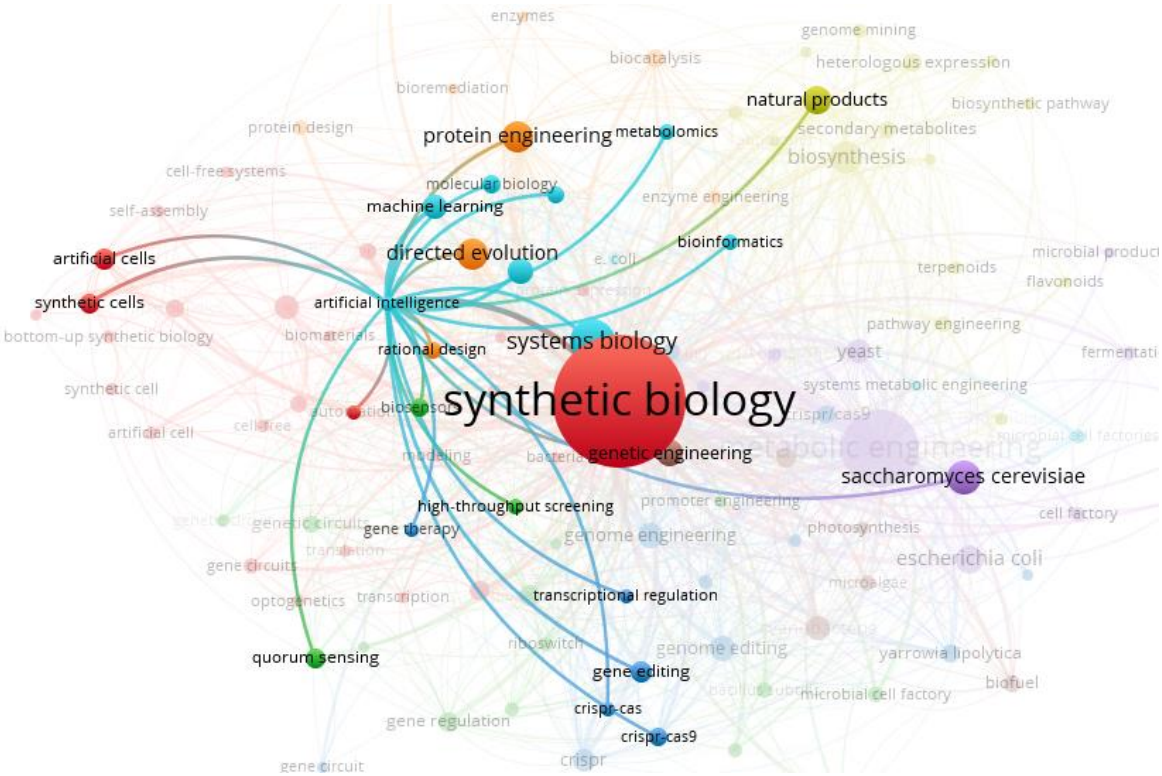
รูปที่ 2-6A: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค cell free โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1



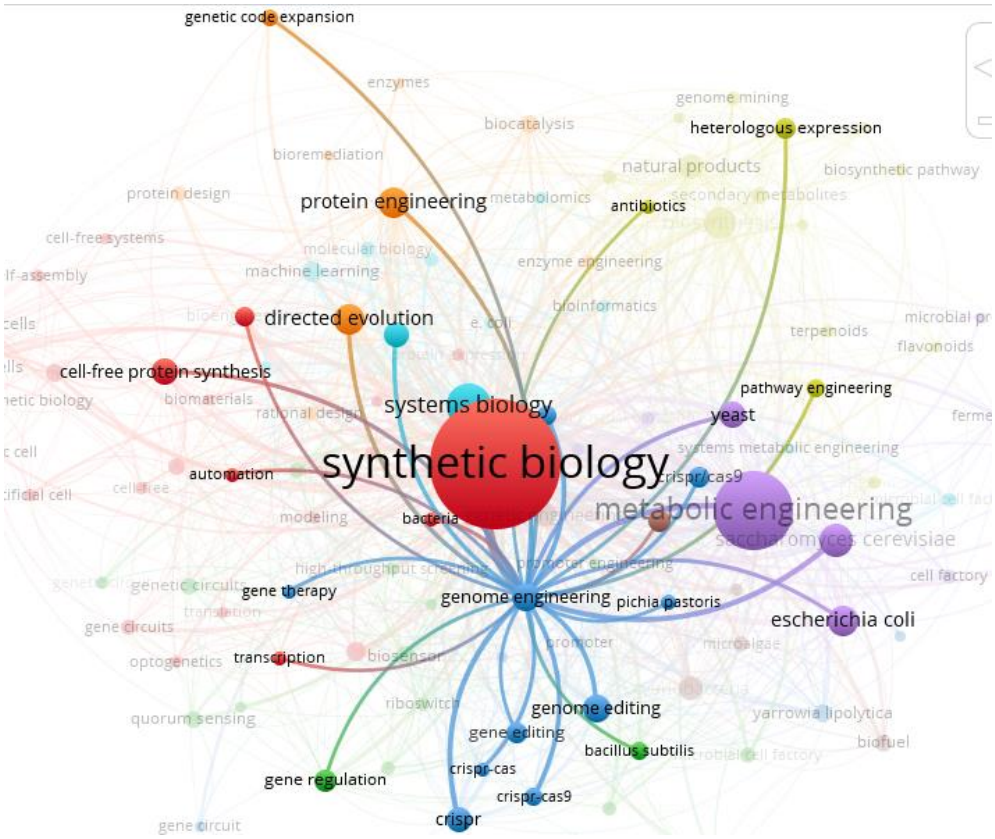
รูปที่ 2-6B: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค directed evaluation โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1



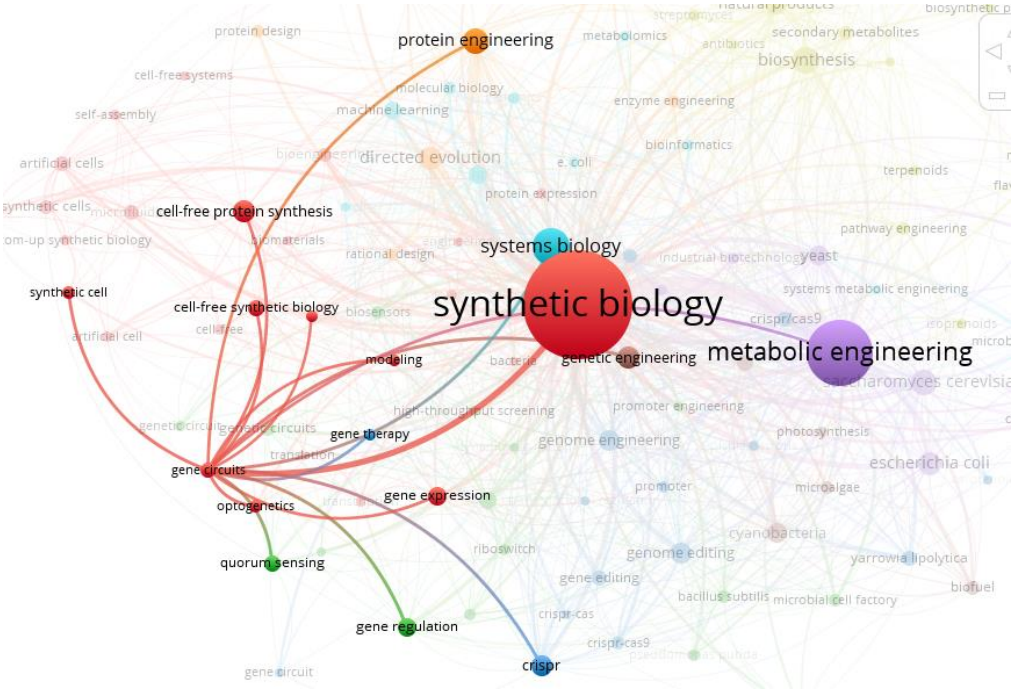
รูปที่ 2-6C: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค machine learning โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1



รูปที่ 2-6D: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค artificial intelligence โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1

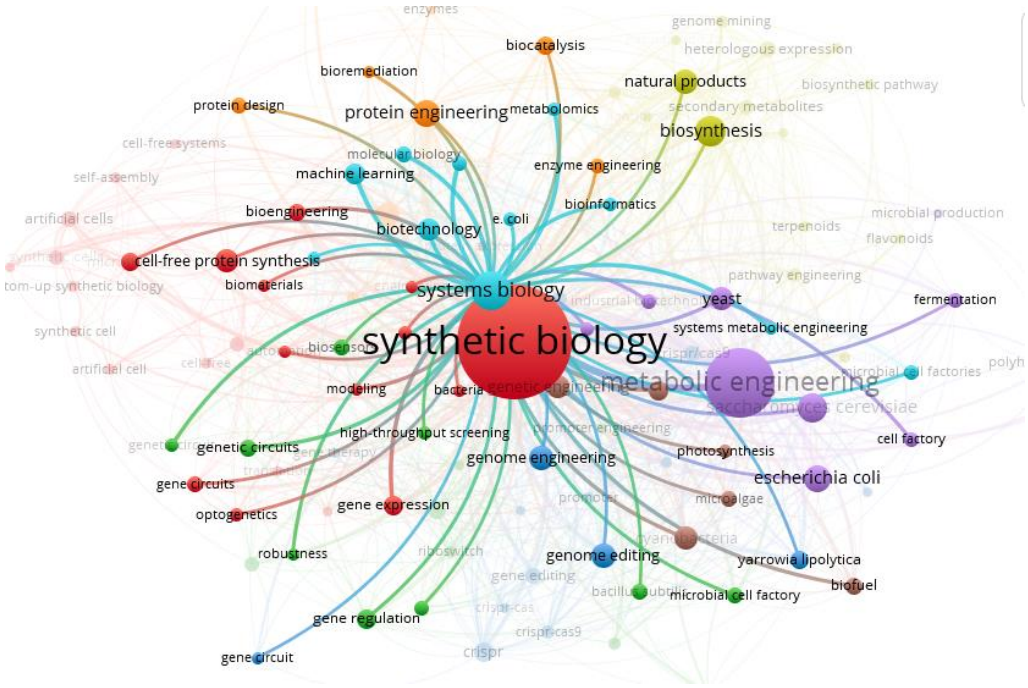


รูปที่ 2-6E: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค genome engineering โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1



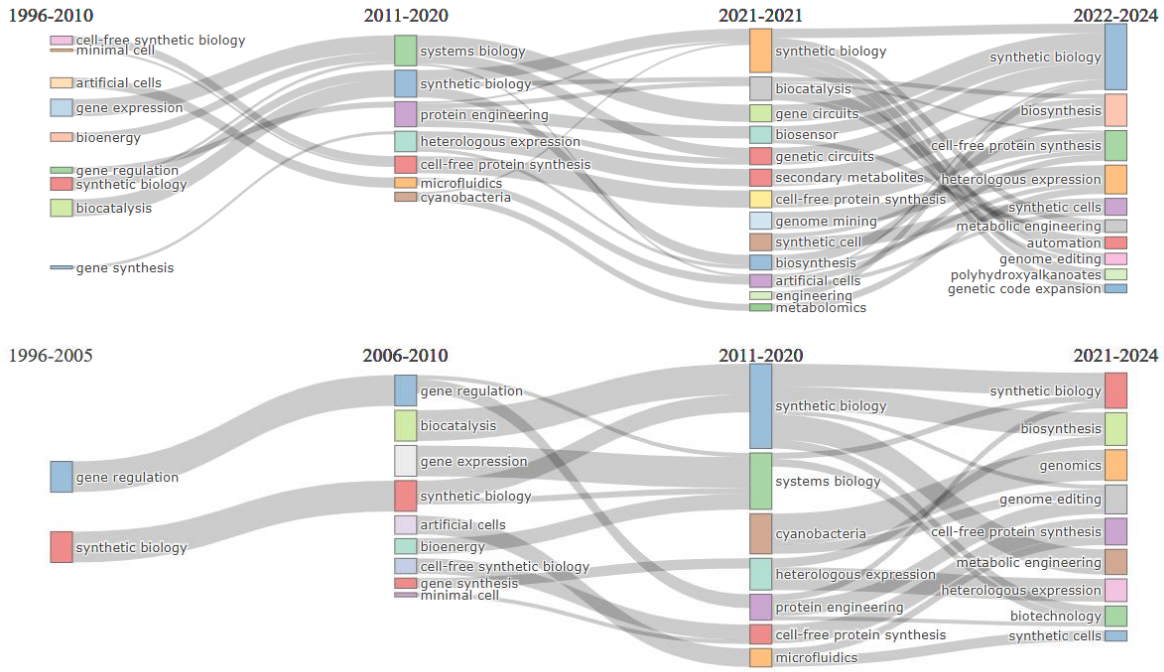
รูปที่ 2-6F: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology และ metabolic engineering ด้วยเทคนิค gene circuits โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1

ทั้งนี้ยังพบความสัมพันธ์ของ synthetic biology, metabolic engineering และ systems biology ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology, metabolic engineering และ systems biology โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence) ของชุดข้อมูล SynBio1

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า synthetic biology เป็นการต่อยอดองค์ความรู้ของศาสตร์ในหลากหลายแขนงโดยมีชีววิทยาเป็นฐาน เพื่อให้สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ขององค์ความรู้ต่าง ๆ ในมิติเวลาคณะผู้ศึกษาจึงได้ใช้ Bibliometrix มาวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 2-8: แสดงความสัมพันธ์ขององค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ต่อช่วงเวลาต่าง ๆ

จะเห็นได้ว่าช่วงต้นปี ค.ศ. 2000 synthetic biology จะยังมีเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยไม่หลากหลายมากนักโดยใช้องค์ความรู้ด้าน gene expression และ gene regulation เป็นหลัก โดยตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 2010 เริ่มมีเทคนิคที่ใช้ใน synthetic biology ที่มากขึ้น เช่น cell free ประกอบกับองค์ความรู้ทางด้าน systems biology และ protein engineering ทำให้การศึกษาที่เกี่ยวกับ synthetic biology ขยายตัวขึ้น และจุดเปลี่ยนในการขยายงานวิจัยทางด้าน synthetic biology คือ การใช้เทคนิค microfluidics ในการสังเคราะห์ nucleic acid ได้ในราคาถูก[7] และช่วงปี ค.ศ. 2020 มีการใช้เครื่องมือใหม่อย่างแพร่หลายและมีเครื่องมือที่หลากหลายสำหรับสร้าง host cell เช่น genetic circuit[8] และ gene editing[910] อีกทั้งนำระบบ automation[1112] มาประยุกต์ทำให้สามารถสร้างและทดสอบ/คัดเลือก host cell ได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ประกอบกับองค์ความรู้เชิงลึกในระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต

[7] Cheng-Chung Lee, Thomas M. Snyder and Stephen R. Quake, **A microfluidic oligonucleotide synthesizer**. Nucleic Acids Res. 2010 May; 38(8): 2514–2521.

[8] Ahmad S. Khalil and James J. Collins, **Synthetic biology: applications come of age.** Nature Reviews Genetics,2010, 11(5), pp. 367–379

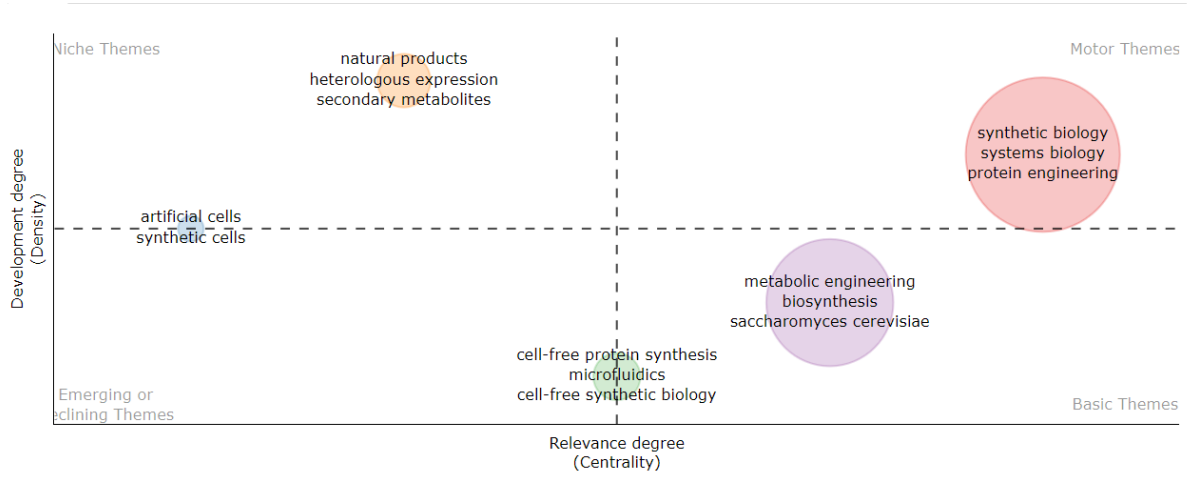
[9] Khaoula Belhaj, Angela Chaparro-Garcia, Sophien Kamoun, Nicola J Patron and Vladimir Nekrasov. **Editing plant genomes with CRISPR/Cas9.** Current Opinion in Biotechnology. 2015. 32, 76–84

[10] Agrotis, A., Ketteler, R. **A new age in functional genomics using CRISPR/Cas9 in arrayed library screening**. Frontiers in Genetics, 2015, 6(SEP), 300

[11] Nicolás Gurdo, Daniel C. Volke and Pablo I. Nikel. **Merging automation and fundamental discovery into the design–build–test–learn cycle of nontraditional microbes**. Trends in Biotechnology, 2022, 40(10), 1148-1159

[12] Dae-Hee Lee, Haseong Kim, Bong-Hyun Sung, Byung Kwan Cho and Seung-Goo Lee, **Biofoundries: Bridging Automation and Biomanufacturing in Synthetic Biology**. Biotechnology and Bioprocess Engineering. 2023, 28: 892-904

เช่น metabolomics และ genomics ทำให้สามารถนำ machine learning[13] เข้ามาช่วยในการพัฒนา host cell ได้ต่อไป เมื่อเปรียบเทียบองค์ความรู้และเทคนิคต่าง ๆ ในเชิงความก้าวหน้าของเทคโนโลยี พบว่า synthetic biology, systems biology, protein engineering เป็นตัวกลางในการขับเคลื่อนให้เกิดความก้าวหน้าในการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งองค์ความรู้ทางด้าน metabolic engineering และ host cell เป็นพื้นฐาน นอกจากนี้ยังมีเทคนิค cell free[14] ที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีนเพื่อแก้ปัญหาการสร้าง metabolite ไม่ต้องการแต่จำเป็นต่อระบบ host cell และยังมีงานวิจัยทางด้าน artificial cell[15] และ synthetic cell[16] ที่อยู่ระหว่างการพัฒนาและนำไปใช้ต่อไป



รูปที่ 2-9: แสดงองค์ความรู้และเทคนิคต่าง ๆ ในเชิงเปรียบเทียบความก้าวหน้าของเทคโนโลยี

[13] Si, mon Höllerer, Charlotte DesczykRicardo Farrera Muro and Markus Jeschek. **From sequence to function and back – High-throughput sequence-function mapping in synthetic biology**. Current Opinion in Systems Biology, 2024, 37:100499

[14] So Jeong Lee and Dong-Myung Kim**, Cell-free synthetic biology: Navigating the new frontiers of biomanufacturing and biological engineering.** Current Opinion in Systems Biology. 2024, , 37:100488

[15] Minoru Kurisu and Masayuki Imai, **Concepts of a synthetic minimal cell: Information molecules, metabolic pathways, and vesicle reproduction.** Biophysics and physicobiology, 2024, 21(1), e210002

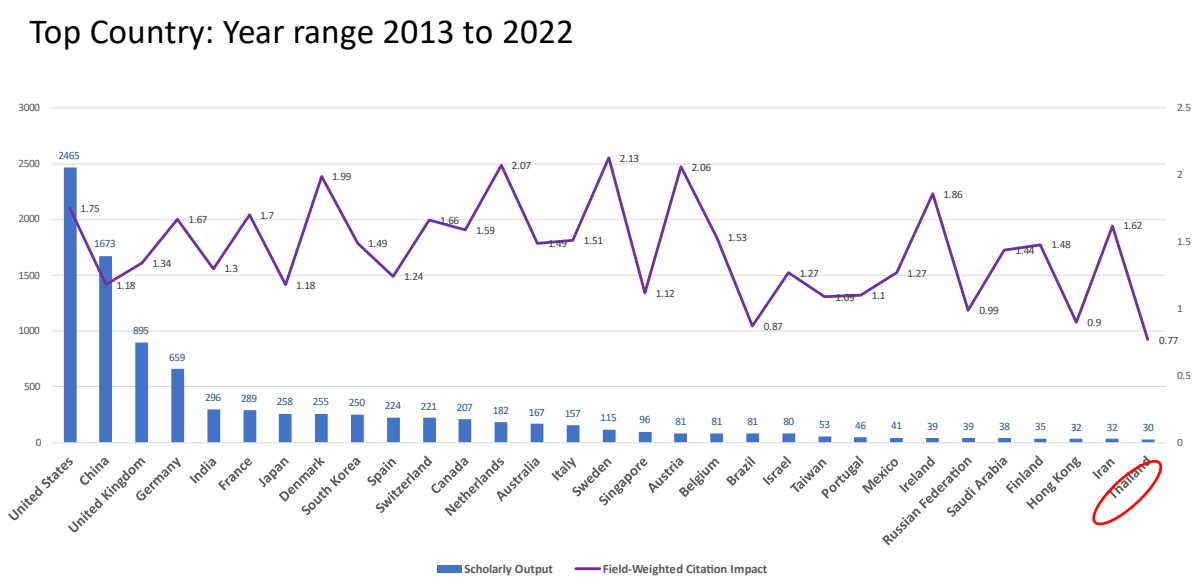
[16] Lucia Baldauf, Lennard van Buren, Federico Fanalista, and Gijsje Hendrika Koenderink, **Actomyosin-Driven Division of a Synthetic Cell.** ACS Synth. Biol. 2022, 11, 10, 3120–3133

2.3 ความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกับนานาชาติ

2.3.1 ความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ในมิติการพัฒนางานวิจัยและเทคโนโลยี

สำหรับการวิเคราะห์ส่วนนี้คณะผู้ศึกษาจะใช้ข้อมูลชุด SynBio1 นำมาวิเคราะห์ด้วย metric ที่มีในฐานข้อมูล Scival เช่น จำนวนบทความวิชาการนานาชาติ และ ค่า Field-Weighted Citation Impact ใน Topic หรือ Topic cluster เป็นต้น ซึ่งจะเปรียบเทียบในสองช่วงเวลาคือช่วงแรกระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022 และ ช่วงที่ 2 ระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024 เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลย้อนหลัง 10 ปี และ 7 ปี ซึ่งอาจแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและอาจจะทราบปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของฐานข้อมูล Scival ทำให้การแสดงผลย้อนหลัง 10 ปี จะเป็นข้อมูลของบทความวิชาการนานาชาติระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022 และข้อมูลย้อนหลัง 7 ปี เป็นข้อมูลของบทความวิชาการนานาชาติระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024 โดยแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

- **การวิเคราะห์ประเทศที่มีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติ 10 อันดับแรกของโลกเปรียบเทียบประเทศไทย**



รูปที่ 2-10: แสดงประเทศที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022

Top Country: Year range 2018 to 2024

รูปที่ 2-11: แสดงประเทศที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024

จากรูปที่ 2-10 และ 2-11 แสดงประเทศที่มีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ใน 31 อันดับแรกของโลก โดยประเทศ 10 อันดับแรกของโลกที่มีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติในช่วงปี ค.ศ. 2013 - 2024 ได้แก่ สหรัฐอเมริกา จีน สหราชอาณาจักร เยอรมนี อินเดีย ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น เดนมาร์ก เกาหลีใต้ และ สเปน และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลจำนวนบทความวิชาการนานาชาติของ 2 ช่วงคือ ปี ค.ศ. 2013 - 2022 และ ปี ค.ศ. 2018 - 2024 แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ประเทศที่มีลำดับสูงขึ้น ได้แก่ จีน เดนมาร์ก เกาหลีใต้ และ สเปน
- กลุ่มที่ 2 ประเทศที่ลำดับเท่าเดิม ได้แก่ สหรัฐอาณาจักร เยอรมนี และ อินเดีย
- กลุ่มที่ 3 ประเทศที่มีลำดับลดลง ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส และ ญี่ปุ่น

พบว่าในช่วงปี ค.ศ. 2018 - 2024 สาธารณรัฐประชาชนจีนตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology จำนวน 1,750 เรื่อง และได้ขึ้นมาเป็นอันดับ 1 แทนประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติจำนวน 1,638 เรื่อง แต่เมื่อพิจารณาค่า Field-Weighted Citation Impact สหรัฐอเมริกามีค่าเท่ากับ 1.53 ซึ่งมากกว่าจีนที่มีค่าเท่ากับ 1.14 ทั้งนี้ในประเทศ 10 อันดับแรกที่มีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติมากที่สุดนั้นจะมีค่า Field-Weighted Citation Impact ระหว่าง 1.0 - 1.7 และเป็นที่น่าสังเกตคือช่วงปี ค.ศ. 2013 - 2022 ประเทศเดนมาร์กมีจำนวนบทความวิชาการนานาชาติจำนวน 255 เรื่อง และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 2 ซึ่งมากเป็น 34.68 % ของค่าเฉลี่ยของ Field-Weighted Citation Impact และมีจำนวนบทความวิชาการนานาชาติจำนวน 202 เรื่อง ในช่วงปี ค.ศ. 2018 - 2024 โดยมีค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 1.58 ซึ่งมากเป็น 20.1% ของค่าเฉลี่ยของ Field-Weighted Citation Impact

จะเห็นได้ว่าแม้ประเทศเดนมาร์กจะมีจำนวนบทความวิชาการคิดเป็น 11% ของประเทศที่มีจำนวนบทความมากที่สุด แต่กลับมีค่า Field-Weighted Citation Impact มากกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 10 - 20%

สำหรับประเทศไทยมีอันดับที่สูงขึ้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลจำนวนบทความวิชาการนานาชาติของ 2 ช่วง ในปี ค.ศ. 2013 - 2022 ประเทศไทยเป็นอันดับที่ 31 ของโลก โดยตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติจำนวน 30 เรื่อง มีค่า Field-Weighted Citation Impact 0.77 และในปี ค.ศ. 2018 - 2024 ประเทศไทยเป็นอันดับที่ 24 เพิ่มขึ้น 7 อันดับ โดยตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติจำนวน 34 เรื่อง มีค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 0.7 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดในกลุ่มประเทศ 31 อันดับแรกที่มีผลงานการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด อาจกล่าวได้ว่าในภาพรวมประเทศไทยมีความสามารถในการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มีจำนวนมากขึ้น แต่ยังคงมีค่า Field-Weighted Citation Impact ไม่สูงมากนัก ซึ่ง Field-Weighted Citation Impact (FWCI) เป็นตัวชี้วัดผลกระทบของการอ้างอิงโดยเฉลี่ย ซึ่งเปรียบเทียบนวนการอ้างอิงจริงที่ผลงานได้รับกับจำนวนการอ้างอิงที่คาดหวังสำหรับผลงานประเภทเดียวกัน (ประเภทเดียวกันหมายความถึงประเภทผลงาน ปีที่พิมพ์ และสาขาวิชาเดียวกัน)[17] ซึ่งอาจกล่าวได้ว่างานวิจัยทางด้าน synthetic biology ของไทย ควรพิจารณาปรับปรุงคุณภาพและปริมาณไปพร้อม ๆ กัน

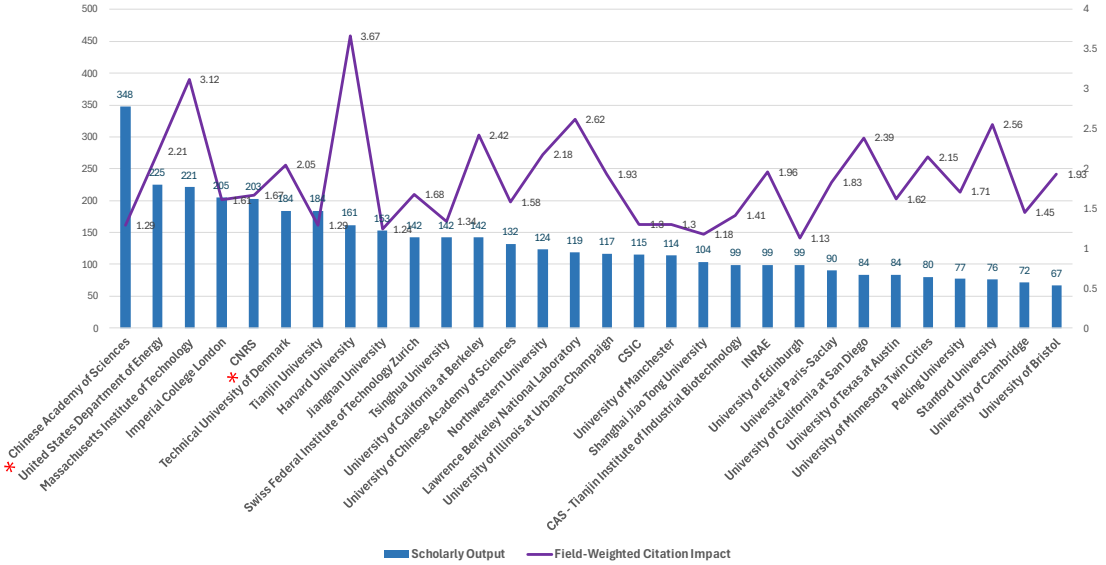
- **การวิเคราะห์สถาบันที่มีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติ 10 อันดับแรกของโลกเปรียบเทียบประเทศไทย**

จากการวิเคราะห์สถาบันที่มีผลงานตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology โดยฐานข้อมูลจะใช้ affiliation ที่ผู้แต่งกำหนดมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจะพบผู้แต่งบางท่านอาจระบุ affiliation 2 ที่ หรือการที่ประเทศมีนโยบายกำหนดให้มีสถาบันที่เป็นร่มใหญ่ของสถาบันวิจัยต่างๆ ในประเทศ เช่น Chinese Academy of Science (CAS) สาธารณรัฐประชาชนจีน และ Centre national de la recherche scientifique (CNRS)[18] ประเทศฝรั่งเศส คณะผู้ศึกษาจึงจะไม่นำหน่วยงานเชิงบริหารงานวิจัยมาร่วมในการวิเคราะห์นี้

[17] https://www.thailibrary.in.th/2020/10/24/fwci-research-metrics/

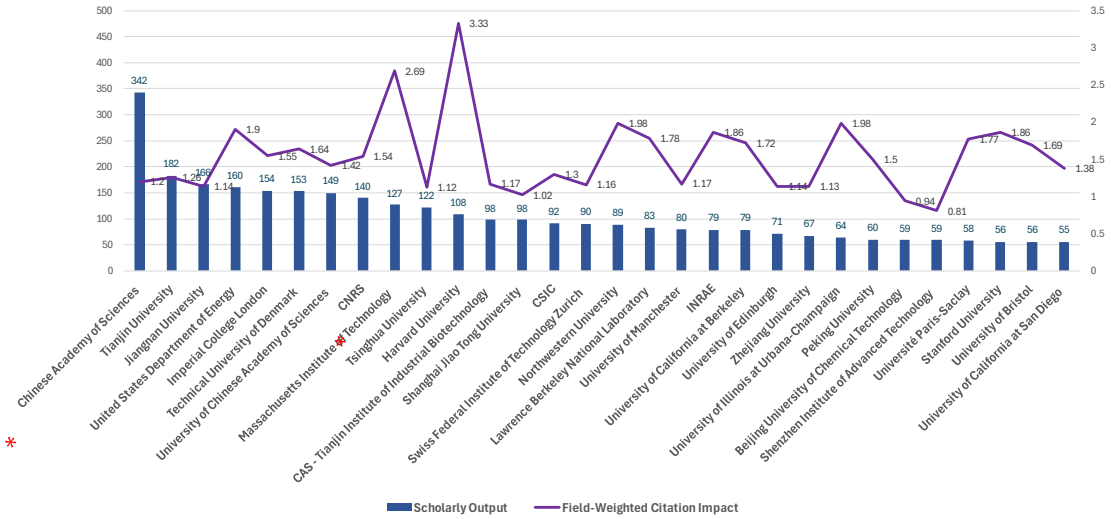
[18] https://www.cnrs.fr/en/le-cnrs/organisation

Top Institute World: Year range 2013 to 2022



รูปที่ 2-12: แสดงสถาบันที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022

Top Institute World: Year range 2018 to 2024



รูปที่ 2-13: แสดงสถาบันที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024

ตามรูปที่ 2-12 และ 2-13 พบว่าสถาบันที่มีผลงานการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 10 อันดับแรกของโลกได้แก่ United States Department of Energy, Massachusetts Institute of Technology, Imperial College London, Technical University of Denmark, Tianjin University, Harvard University, Jiangnan University, Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH), Tsinghua University และ University of California at Berkeley จาก 5 ประเทศ ได้แก่

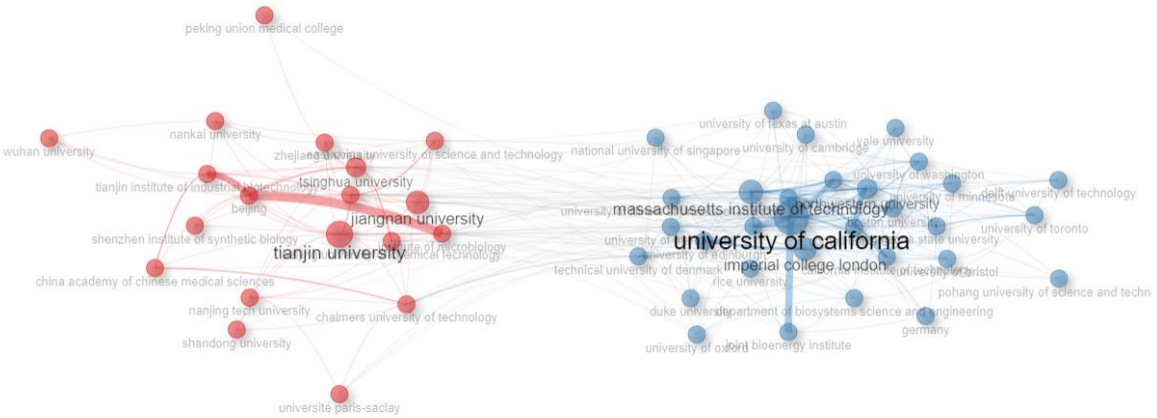
- สหรัฐอเมริกา 4 สถาบัน คือ United States Department of Energy, Massachusetts Institute of Technology, Harvard University, University of California at Berkeley
- สหราชอาณาจักร 1 สถาบัน คือ Imperial College London
- เดนมาร์ก 1 สถาบัน คือ Technical University of Denmark
- สวิตเซอร์แลนด์ 1 สถาบัน คือ Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH)
- จีน 3 สถาบัน คือ Tianjin University, Jiangnan University, Tsinghua University

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลจำนวนบทความวิชาการนานาชาติของ 2 ช่วงคือ ปี ค.ศ. 2013 - 2022 และ ปี ค.ศ. 2018 - 2024 แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

- กลุ่มที่ 1 สถาบันที่มีลำดับสูงขึ้น ได้แก่ Tianjin University, Jiangnan University, Tsinghua University
- กลุ่มที่ 2 สถาบันที่ลำดับเท่าเดิม ได้แก่ University of California at Berkeley
- กลุ่มที่ 3 สถาบันมีลำดับลดลง ได้แก่ United States Department of Energy, Massachusetts Institute of Technology, Imperial College London, Technical University of Denmark

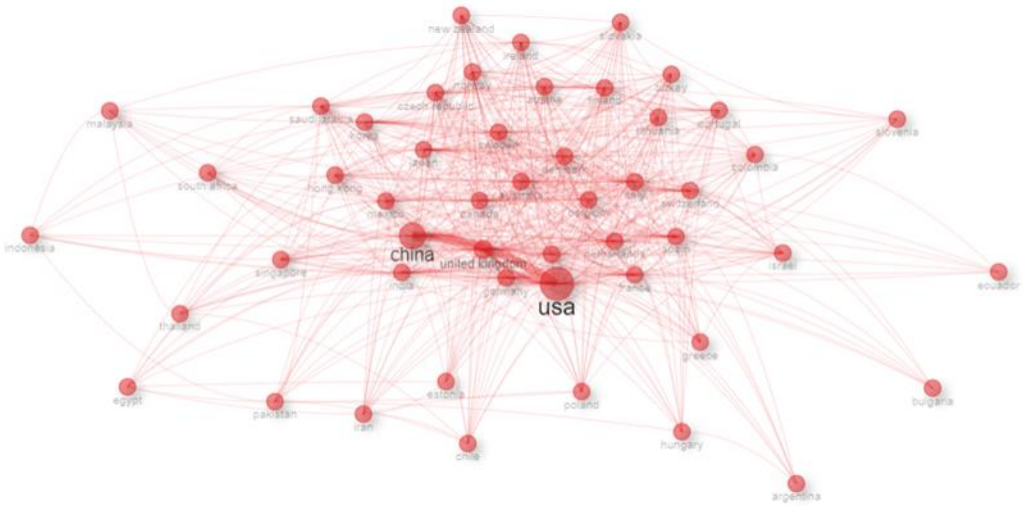
ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกับการวิเคราะห์ในระดับประเทศ คือกลุ่มสถาบันที่มีอันดับสูงขึ้นมาจากสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งมีค่า Field-Weighted Citation Impact เฉลี่ยประมาณ 1.2 ในขณะที่สถาบันของประเทศสหรัฐอเมริกาแม้จะมีจำนวนบทความวิชาการนานชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ที่ลดลง แต่มีค่า Field-Weighted Citation Impact เฉลี่ยประมาณ 2.4 - 2.8 ทั้งนี้มีข้อสังเกตในสถาบัน Technical University of Denmark ประเทศเดนมาร์ก ซึ่งช่วงปี ค.ศ. 2013 - 2022 มีจำนวนบทความวิชาการนานาชาติจำนวน 184 เรื่อง และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 2.05 และ ช่วงปี ค.ศ. 2018 - 2024 มีจำนวนบทความวิชาการนานาชาติจำนวน 153 เรื่อง และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 1.64 โดยคิดเป็น 72 - 75% ของบทความวิชาการนานาชาติของประเทศเดนมาร์ก ซึ่งกล่าวได้ว่า Technical University of Denmark เป็นสถาบันหลักของประเทศเดนมาร์กในการดำเนินงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology

และเมื่อวิเคราะห์ความเชื่อมโยงของสถาบันต่าง ๆ ด้วยโปรแกรม Bibliometrix แบ่งเครือข่ายของสถาบันที่มีความร่วมมือออกเป็น 2 กลุ่ม โดยฝั่งซ้ายที่นำโดยสถาบันจากสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้แก่ Tianjin University, Jiangnan University, Tsinghua University ซึ่งจะมีความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับ Université Paris-Saclay ประเทศฝรั่งเศส และ Chalmers University of Technology ประเทศสวีเดน ในขณะที่ฝั่งขวานำโดยสถาบันจากประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ University of California at Berkeley, University of California at San Diego และ Massachusetts Institute of Technology ซึ่งจะมีความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับ Imperial College London, University of Edinburgh และ University of Oxford ประเทศสหราชอาณาจักร และกลุ่มของสถาบันจากประเทศเยอรมนีโดยจากภาพไม่มีการระบุชื่อสถาบันทั้งนี้จากข้อมูลดิบสถาบันจากประเทศเยอรมนีที่มีผลงานวิจัยเป็นอันดับต้น ๆ เช่น Max Planck Institute of Molecular Plant Physiology, Max Planck Institute for Medical Research, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology, University of Marburg, RWTH Aachen University, Technical University of Munich และ Heidelberg University และในกลุ่มนี้มีงานวิจัยร่วมกับสถาบันแถบเอเชีย ได้แก่ National University of Singapore ประเทศสิงคโปร์ และ Pohang University of Science and Technology ประเทศเกาหลีใต้ ดังแสดงในรูปที่ 2-14

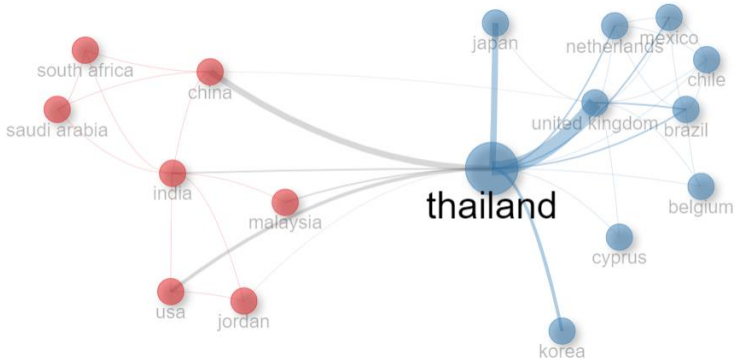


รูปที่ 2-14: แสดงความสัมพันธ์ของสถาบันที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix

อย่างไรก็ดี เมื่อถอยภาพจากระดับสถาบันเป็นภาพความร่วมมือระดับนานาชาติ พบว่าทุกประเทศมีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology เชื่อมโยงกัน ไม่พบการแบ่งกลุ่มในระดับนานาชาติ ซึ่งมีประเทศสหรัฐอเมริกา จีน และสหราชอาณาจักร ที่เป็นผู้นำในการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ทั้งนี้พบประเทศไทยอยู่ในภาพระดับนานาชาติโดยความร่วมมือของไทยทั้งกลุ่มประเทศแถบยุโรป สหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ ถือได้ว่ามีความร่วมมือกระจายทั่วโลก ดังรายละเอียดตามรูปที่ 2-15 และ 2-16



รูปที่ 2-15: แสดงความสัมพันธ์ของประเทศต่าง ๆ ที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix



รูปที่ 2-16: แสดงความสัมพันธ์ของประเทศไทยกับประเทศต่าง ๆ ที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix

และเมื่อพิจารณาจำนวนบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology พบว่าสถาบันของไทยมีค่าเฉลี่ยในการตีพิมพ์ผลงานวิชาการนานาชาติประมาณ 1.5 - 2.1 เรื่องต่อปี และค่า Field-Weighted Citation Impact มีแนวโน้มลดลง จากข้อมูลช่วงปี ค.ศ. 2013 - 2022 มีค่าเฉลี่ย Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 0.67 และ ช่วงปี ค.ศ. 2018 - 2024 มีค่าเฉลี่ย Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 0.55 โดยสถาบันที่มีส่วนร่วมในจำนวนบทความวิชาการนานาชาติของไทย 4 อันดับแรก (ช่วงปี ค.ศ. 2013 - 2022) ได้แก่ มหาวิทยาลัยมหิดล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สถาบันวิทยสิริเมธี และมหาวิทยาลัยบูรพา ทั้งนี้สถาบันไทยที่มีค่า Field-Weighted Citation Impact สูงที่มีค่า 1 ขึ้นไป ได้แก่ มหาวิทยาลัยมหิดล สถาบันวิทยสิริเมธี และมหาวิทยาลัยบูรพา และพบว่าบทความวิชาการของมหาวิทยาลัยบูรพามีความร่วมมือกับสถาบัน

วิทยสิริเมธี[19] [20] รายละเอียดข้อมูลผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology และค่า Field-Weighted Citation Impact ของสถาบันไทยดังรายละเอียดตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1: แสดงสถาบันไทยที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival

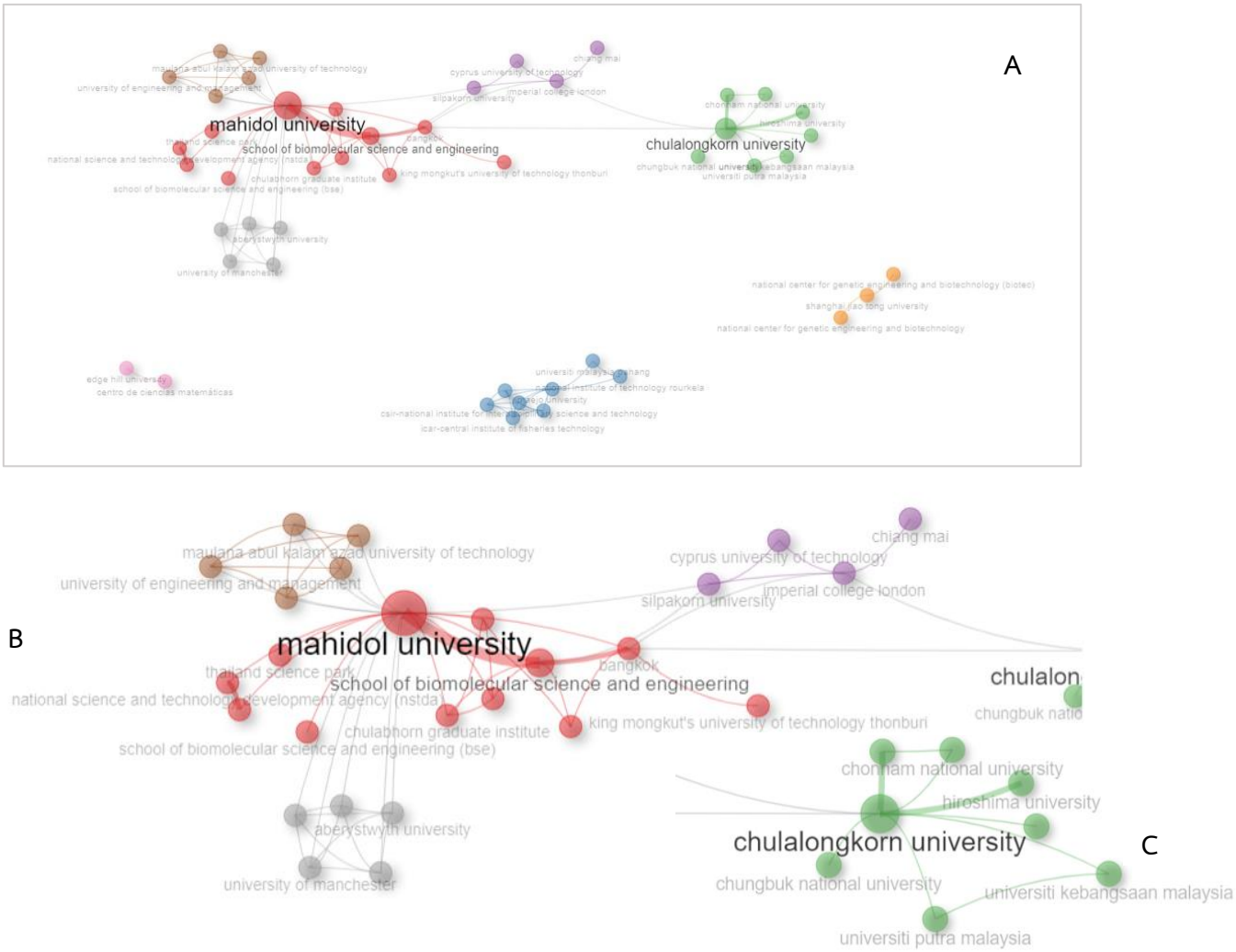
Institution	2013-2022			2018-2024*		
	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
Mahidol University	8	1.22	1	11	0.91	1
Chulalongkorn University	7	0.77	2	7	0.8	3
National Science and Technology Development Agency Thailand	6	0.52	3	10	0.49	2
Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	5	1.37	4	7	1.07	3
Burapha University	2	1.6	5	2	1.6	6
Chiang Mai University	2	0.15	5	2	0.15	6
Maejo University	2	0.73	5	2	0.73	6
Silpakorn University	2	1.04	5	2	1.04	6
Khon Kaen University	1	0.2	9	1	0.2	10
King Mongkut's University of Technology Thonburi	1	0	9	#N/A	#N/A	#N/A
Mae Fah Luang University	1	0.77	9	1	0.77	10
Naresuan University	1	0.16	9	1	0.16	10
Suranaree University of Technology	1	0.2	9	1	0.2	10
Chulabhorn Graduate Institute	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	10
Chulabhorn Research Institute	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	10

* ข้อมูลถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2567

[19] Pattarawan Intasian, Kridsadakorn Prakinee, Aisaraphon Phintha, Duangthip Trisrivirat, Nopphon Weeranoppanant, Thanyaporn Wongnate, and Pimchai Chaiyen. **Enzymes, in Vivo Biocatalysis, and Metabolic Engineering for Enabling a Circular Economy and Sustainability**. Chemical Reviews 2021 121 (17), 10367-10451

[20] Juthamas Jaroensuk, Pattarawan Intasian, Cholpisit Kiattisewee, Pobthum Munkajohnpon, Paweenapon Chunthaboon, Supacha Buttranon, Duangthip Trisrivirat, Thanyaporn Wongnate, Somchart Maenpuen, Ruchanok Tinikul and Pimchai Chaiyen. **Addition of formate dehydrogenase increases the production of renewable alkane from an engineered metabolic pathway**. Journal of Biological Chemistry 2019 294 (30), 11536 - 11548

และเมื่อพิจารณาเครือข่ายความร่วมมือของสถาบันไทยกับสถาบันต่างชาติได้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Bibliometrix พบความเชื่อมโยงที่นำโดยมหาวิทยาลัยมหิดลและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมหาวิทยาลัยมหิดลมีความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับสถาบันภายในและต่างประเทศ เช่น สถาบันวิทยาสิริเมธี (school of biomolecular science and engineering) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) University of Manchester และ Aberystwyth University สหราชอาณาจักร ในขณะที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีความร่วมมือส่วนมากกับสถาบันต่างชาติ เช่น Universiti Putra Malaysia และ Universiti Kebangsaan ประเทศมาเลเซีย และ Chungbuk National University ประเทศเกาหลีใต้ รายละเอียดรูปที่ 2-17 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับความร่วมมือระดับโลก (รูปที่ 2-14) ถือว่าสถาบันในประเทศไทยมีความร่วมมือกับสถาบันต่างชาติค่อนข้างน้อย

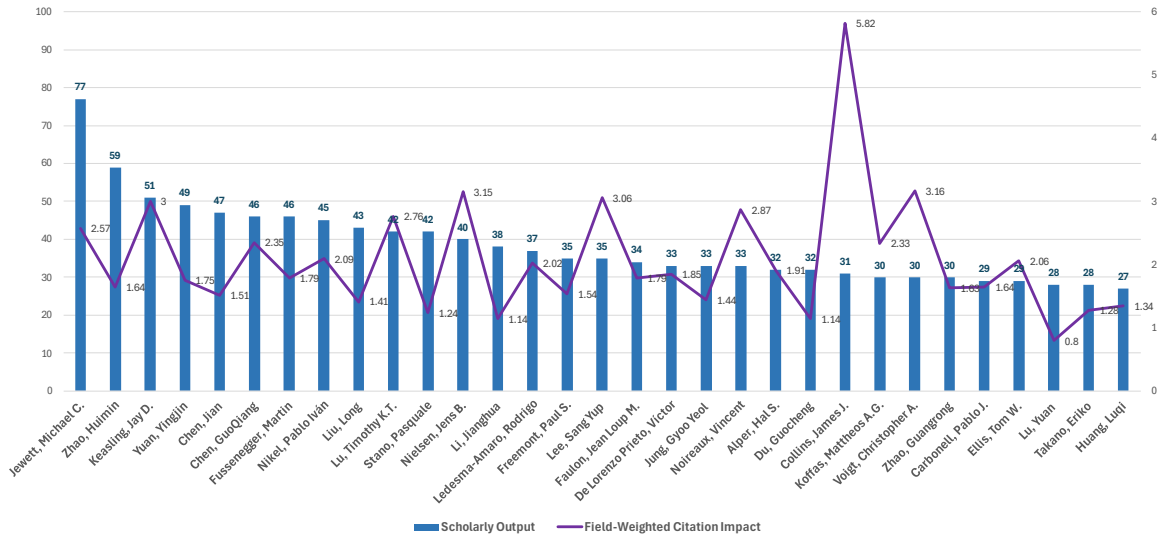


รูปที่ 2-17: แสดงความสัมพันธ์ของสถาบันไทยและสถาบันต่างชาติ ที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix

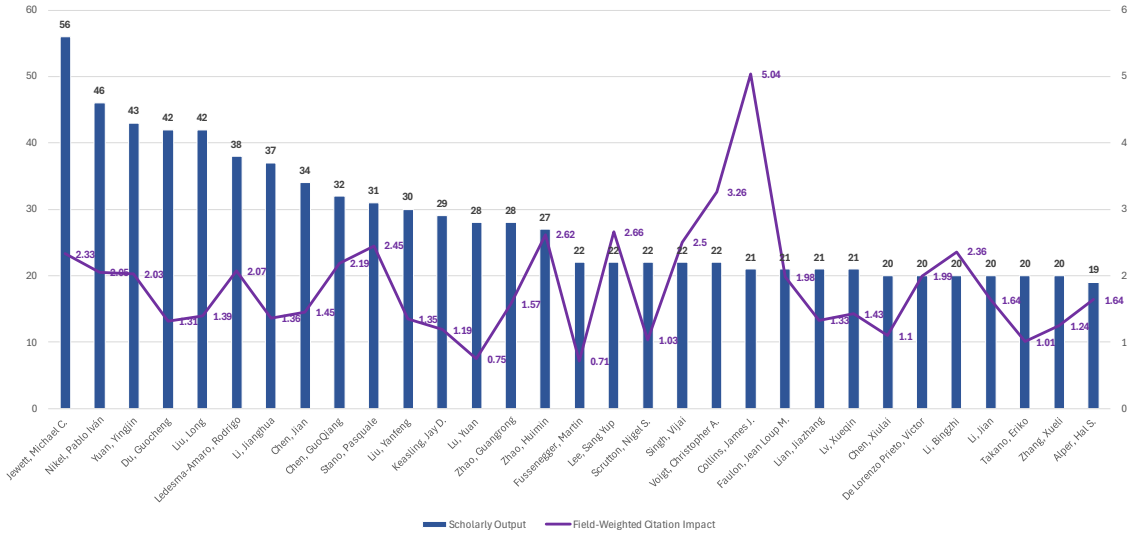
A. ภาพแสดงความร่วมมือของสถาบันวิจัยไทยทั่วประเทศที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology
B. ภาพขยายความร่วมมือของเครือข่ายมหาวิทยาลัยมหิดล
C. ภาพขยายความร่วมมือของเครือข่ายจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **การวิเคราะห์ผู้แต่งที่มีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติ 10 อันดับแรกของโลกเปรียบเทียบประเทศไทย**

จากข้อมูลบทความวิชาการนานาชาติโดยเปรียบเทียบข้อมูล 2 ช่วง (ระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022 และ ระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024) แสดงผู้แต่งที่ตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับแรกของโลก เปรียบเทียบกับค่า Field-Weighted Citation Impact ดังแสดงรายละเอียดตามรูปที่ 2-18 และ 2-19



รูปที่ 2-18: แสดงผู้แต่งที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2013 - 2022



รูปที่ 2-19: แสดงผู้แต่งที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มากที่สุด 31 อันดับของโลก และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival ระหว่างปี ค.ศ. 2018 - 2024

พบว่าช่วงระยะเวลา 7 ปีหลังนี้มีการแข่งขันทางด้านการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติค่อนข้างสูง ผู้แต่งที่ระบุ Affiliation จากสถาบันในสาธารณรัฐประชาชนจีน มีแนวโน้มตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มีจำนวนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ลำดับผู้แต่งที่ตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติมากที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน และเพื่อสะท้อนภาพการเปลี่ยนแปลงของลำดับผู้แต่งที่ตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติและค่า Field-Weighted Citation Impact จึงแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2: แสดงผู้แต่งนานาชาติที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival

Author	Affiliation#	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
Jewett, Michael C.	**Stanford University**	**United States**	**77**	**2.57**	1	**56**	**2.33**	1
Zhao, Huimin	University of Illinois at Urbana-Champaign	United States	59	1.64	2	27	**2.62**	15
Keasling, Jay D.	**Technical University of Denmark**	**Denmark**	**51**	**3**	3	**29**	**1.19**	12
Yuan, Yingjin	Tianjin University	China	49	1.75	4	43	**2.03**	3
Chen, Jian	Jiangnan University	China	47	1.51	5	34	1.45	8
Chen, GuoQiang	Tsinghua University	China	46	2.35	6	32	**2.19**	9
Fussenegger, Martin	University of Basel	Switzerland	46	1.79	7	22	0.71	16
Nikel, Pablo Iván	Technical University of Denmark	Denmark	45	2.09	8	46	**2.05**	2
Liu, Long	Jiangnan University	China	43	1.41	9	42	1.39	5
Lu, Timothy K.T.	Massachusetts Institute of Technology	United States	42	2.76	10	17	2.04	42
Stano, Pasquale	University of Salento	Italy	42	1.24	11	31	2.45	10
Nielsen, Jens B.	Chalmers University of Technology	Sweden	40	3.15	12	16	2.13	49
Li, Jianghua	**Jiangnan University**	**China**	**38**	**1.14**	13	**37**	**1.36**	7
Ledesma-Amaro, Rodrigo	**Imperial College London**	**United Kingdom**	**37**	**2.02**	14	**38**	**2.07**	6
Freemont, Paul S.	Imperial College London	United Kingdom	35	1.54	15	19	1.55	33

Author	Affiliation#	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
Lee, Sang Yup	Korea Advanced Institute of Science and Technology	South Korea	35	3.06	16	22	2.66	17
Faulon, Jean Loup M.	Université Paris-Saclay	France	34	1.79	17	21	1.98	22
De Lorenzo Prieto, Victor	CSIC	Spain	33	1.85	18	20	1.99	26
Jung, Gyoo Yeol	Pohang University of Science and Technology	South Korea	33	1.44	19	17	1.01	41
Noireaux, Vincent	University of Minnesota Twin Cities	United States	33	2.87	20	16	2.23	50
Alper, Hal S.	University of Texas at Austin	United States	32	1.91	21	19	1.64	31
Du, Guocheng	Jiangnan University	China	32	1.14	22	42	1.31	4
Collins, James J.	Harvard University	United States	31	**5.82**	23	21	**5.04**	21
Koffas, Mattheos A.G.	Rensselaer Polytechnic Institute	United States	30	2.33	24	15	1.28	55
Voigt, Christopher A.	Massachusetts Institute of Technology	United States	30	**3.16**	25	22	**3.26**	20
Zhao, Guangrong	Tianjin University	China	30	1.63	26	28	1.57	14
Carbonell, Pablo J.	Polytechnic University of Valencia	Spain	29	1.64	27	16	1.89	45
Ellis, Tom W.	Imperial College London	United Kingdom	29	2.06	28	17	2.18	37
Lu, Yuan	Tsinghua University	China	28	0.8	29	28	0.75	13
Takano, Eriko	University of Manchester	United Kingdom	28	1.28	30	20	1.01	29
Huang, Luqi	China Academy of Chinese Medical Sciences	China	27	1.34	31	16	1.81	46

*ข้อมูลถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2567

Affiliation ระบุตามผลงานตีพิมพ์ในบทความวิชาการนานาชาติ

และเมื่อพิจารณาจำนวนบทความวิชาการนานาชาติเปรียบเทียบกับค่า Field-Weighted Citation Impact แบ่งกลุ่มผู้แต่งเป็น 5 กลุ่ม

- กลุ่มที่ 1: ผู้แต่งที่มีลำดับการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติ **เพิ่มขึ้น** และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 2 ขึ้นไป
    1) Nikel, Pablo Iván, Technical University of Denmark, Denmark
    2) Ledesma-Amaro, Rodrigo, Imperial College London, United Kingdom
    3) Yuan, Yingjin, Tianjin University, China
    4) Voigt, Christopher A., Massachusetts Institute of Technology, United States
    5) Collins, James J., Harvard University, United States
- กลุ่มที่ 2: ผู้แต่งที่มีลำดับการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติ **คงที่** และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 2 ขึ้นไป
    1) Jewett, Michael C., Stanford University, United States
    2) Stano, Pasquale, University of Salento, Italy
- กลุ่มที่ 3: ผู้แต่งที่มีลำดับการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติ **ลดลง** และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 2 ขึ้นไป
    1) Zhao, Huimin, University of Illinois at Urbana-Champaign, United States
    2) Keasling, Jay D., Technical University of Denmark, Denmark
    3) Chen, GuoQiang, Tsinghua University, China
    4) Lu, Timothy K.T., Massachusetts Institute of Technology, United States
    5) Nielsen, Jens B., Chalmers University of Technology, Sweden
    6) Lee, Sang Yup, Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea
    7) Noireaux, Vincent, University of Minnesota Twin Cities, United States
    8) Ellis, Tom W., Imperial College London, United Kingdom
    9) Koffas, Mattheos A.G., Rensselaer Polytechnic Institute, United States
- กลุ่มที่ 4: ผู้แต่งที่มีลำดับการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติ **เพิ่มขึ้น** และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 1 ขึ้นไป
    1) Liu, Long, Jiangnan University, China
    2) Li, Jianghua, Jiangnan University, China
    3) Du, Guocheng, Jiangnan University, China
    4) Zhao, Guangrong, Tianjin University, China
    5) Takano, Eriko, University of Manchester, United Kingdom
- กลุ่มที่ 5: ผู้แต่งที่มีลำดับการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติ **ลดลง** และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 1 ขึ้นไป
    1) Chen, Jian, Jiangnan University, China
    2) Fussenegger, Martin, University of Basel, Switzerland

3) Freemont, Paul S., Imperial College London, United Kingdom
4) Faulon, Jean Loup M., Université Paris-Saclay, France
5) De Lorenzo Prieto, Víctor, CSIC, Spain
6) Jung, Gyoo Yeol, Pohang University of Science and Technology, South Korea
7) Alper, Hal S., University of Texas at Austin, United States
8) Carbonell, Pablo J., Polytechnic University of Valencia, Spain
9) Huang, Luqi, China Academy of Chinese Medical Sciences, China

จะเห็นได้ว่าผู้แต่งที่มีทั้งผลงานการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติเพิ่มขึ้นและมีค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 2 ขึ้นไป จะเป็นผู้แต่งที่ระบุ Affiliation ทั้งจากฝั่งยุโรปและจีน ในขณะที่ผู้แต่งที่ระบุ Affiliation ประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนมากจะมีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติลดลง แต่ยังคงระดับค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 2 ขึ้นไป และเป็นกลุ่มผู้แต่งที่มีค่า Field-Weighted Citation Impact สูงที่สุด เช่น Collins, James J., Harvard University มีค่า Field-Weighted Citation Impact ช่วงปี ค.ศ. 2018 - 2024 เท่ากับ 5.04 ขณะที่ผู้แต่งที่ระบุ Affiliation สาธารณรัฐประชาชนจีน จำนวนมากแม้จะมีการตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติมากขึ้นแต่ค่า Field-Weighted Citation Impact ช่วงปี ค.ศ. 2018 - 2024 จะประมาณ 1.3 - 1.5 ซึ่งสอดคล้องกันในมิติของประเทศและสถาบัน อย่างไรก็ดียังมีปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ช่วง career ของผู้แต่ง โดยช่วงระยะเวลาที่นำมาพิจารณาอาจเป็นช่วงปลายของ career มีการ spin-off จากสถาบันโดยนำผลงานวิจัยไปสู่เชิงพาณิชย์หรือผู้แต่งรับตำแหน่งบริหาร ก็อาจส่งผลต่อการตีพิมพ์ผลงาน

ทั้งนี้มีข้อสังเกตต่อการระบุ Affiliation ของผู้แต่ง เช่น Keasling, Jay D. มีประวัติการระบุ Affiliation ช่วงทศวรรษที่ 19 ถึงปี ค.ศ. 2024 ดังนี้

- 1993 – 2024 University of California, Berkeley
- 2000 – 2024 University of California, San Francisco
- 2004 – 2024 Lawrence Berkeley National Laboratory
- 2006 – 2024 California Institute for Quantitative Biosciences
- 2008 – 2024 Joint BioEnergy Institute (5885 Hollis St. 4th Floor, Emeryville, CA, United States)
- 2014 – 2024 The Novo Nordisk Foundation Center for Biosustainability
- 2014 – 2024 Technical University of Denmark
- 2018 – 2024 Shenzhen Institutes for Advanced Technologies
- 2019 – 2024 Shenzhen Institute of Advanced Technology
- 2020 – 2024 Chinese Academy of Sciences
- 2023 Sandia National Laboratories, California
- 2023 Georgia Tech Shenzhen Institute
- 2022 Shenzhen University
- 2020 The Good Food Institute

- 2017 – 2019 DOE Agile BioFoundry (consortium of seven U.S. Department of Energy (DOE) national laboratories)
- 2005 – 2018 Synthetic Biology Institute (2000 Carleton Street # 2284, Berkeley, CA, United States)

แนวโน้มความร่วมมือทางวิชาการเกิดการขยายไปทั่วโลกโดยกลไกหนึ่งคือการเชิญให้ดำรงตำแหน่ง visiting professor ดังนั้นข้อควรระวังในการวิเคราะห์ผู้แต่งและสถาบันควรพิจารณาสอบทวนข้อมูลต้นสังกัดของผู้แต่งอีกด้วย

สำหรับประเทศไทยผู้แต่งที่โดดเด่นทั้งจำนวนบทความวิชาการนานาชาติและค่า Field-Weighted Citation Impact ได้แก่ คณะผู้วิจัยจากสถาบันวิทยสิริเมธี ซึ่งนำโดย ศ. ดร. พิมพ์ใจ ใจเย็น ซึ่งมีเครือข่ายความร่วมมือกับหลากหลายมหาวิทยาลัย เช่น

- รศ. ดร. สมชาติ แม่นปืน ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- รศ. ดร. รัชนก ตินิกุล ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- ผศ. ดร. ภานุ พิมพ์วิริยะกุล ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- คุณโสภาพรรณ รัตนประพันธ์พร นักวิจัยชำนาญการ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์

ตารางที่ 2-3: แสดงผู้แต่งไทยที่มีผลงานตีพิมพ์นานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology และค่า Field-Weighted Citation Impact จากฐานข้อมูล Scival

Author	Affiliation	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024*		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
Chaiyen, Pimchai	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	5	1.37	1	7	1.07	1
Intasian, Pattarawan	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	3	1.2	2	3	1.2	3
Wongnate, Thanyaporn	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	3	1.51	2	3	1.51	3
Champreda, Verawat	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	2	0.71	4	3	0.59	3

Author	Affiliation	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024*		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
Incharoensakdi, Aran	Chulalongkorn University	Thailand	2	1.13	4	2	1.13	11
Jaroensuk, Juthamas	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	2	0.61	4	3	0.41	3
Pattharaprachayakul, Napisa	Chulalongkorn University	Thailand	2	1.13	4	2	1.13	11
Runguphan, Weerawat	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	2	0.16	4	3	0.22	3
Tinikul, Ruchanok	Mahidol University	Thailand	2	1.07	4	3	0.93	3
Trisrivirat, Duangthip	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	2	1.6	4	3	1.28	3
Vangnai, Alisa S.	Chulalongkorn University	Thailand	2	0.88	4	#N/A	#N/A	#N/A
Abdulrachman, Dede	Mahidol University	Thailand	1	0.9	12	1	0.9	22
Akeratchatapan, Nattanon	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	1	0.42	12	2	0.21	11
Anantayanon, Jutamas	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	1.18	12	2	0.59	11
Buttranon, Supacha	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	1	0.8	12	1	0.8	22
Chantaraamporn, Juthamard	Chulabhorn Research Institute	Thailand	1	0.2	12	1	0.2	22
Chantasingh, Duriya	National Science and Technology	Thailand	1	0.9	12	1	0.9	22

Author	Affiliation	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024*		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
	Development Agency Thailand							
Charoensawan, Varodom	Mahidol University	Thailand	1	0.2	12	1	0.2	22
Cheevadhanarak, Supapon	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand	1	0	12	#N/A	#N/A	#N/A
Chunthaboon, Paweenapon	Mahidol University	Thailand	1	0.8	12	1	0.8	22
Chutrakul, Chanikul	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	1.18	12	2	0.59	11
Det-Udom, Rachatida	Chulalongkorn University	Thailand	1	0.69	12	1	0.69	22
Eurwilaichitr, Lily	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	0.9	12	1	0.9	22
Jeennor, Sukanya	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	1.18	12	2	0.59	11
Kaewkamnerdpong, Boonserm	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand	1	0	12	#N/A	#N/A	#N/A
Kesornpun, Chatchai	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	1	0.42	12	2	0.21	11
Khongfak, Supat	Naresuan University	Thailand	1	0.16	12	1	0.16	22
Kiattisewee, Cholpisit	University of Washington	United States	1	0.8	12	1	0.8	22
Kittipanukul, Narongyot	Vidyasirimedhi Institute of	Thailand	1	0.42	12	2	0.21	11

Author	Affiliation	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024*		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
	Science and Technology							
Kocharin, Kanokarn	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	0	12	1	0	22
Kruasuwan, Worarat	Mahidol University	Thailand	1	0.16	12	1	0.16	22
Kunthalert, Duangkamol	Naresuan University	Thailand	1	0.16	12	1	0.16	22
Laoteng, Kobkul	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	1.18	12	4	0.67	2
Leungtongkam, Udomluk	Naresuan University	Thailand	1	0.16	12	1	0.16	22
Maenpuen, Somchart	Burapha University	Thailand	1	0.8	12	1	0.8	22
Meechai, Asawin	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand	1	0	12	#N/A	#N/A	#N/A
Munkajohnpon, Pobthum	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	1	0.8	12	1	0.8	22
Nguantad, Sarintip	Mahidol University	Thailand	1	0.2	12	1	0.2	22
Nihira, Takuya	Osaka University	Japan	1	1.19	12	1	1.19	22
Panchanawaporn, Sarocha	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	1.18	12	2	0.59	11
Pathom-Aree, Wasu	Chiang Mai University	Thailand	1	0	12	1	0	22
Phintha, Aisaraphon	Vidyasirimedhi Institute of	Thailand	1	2.39	12	1	2.39	22

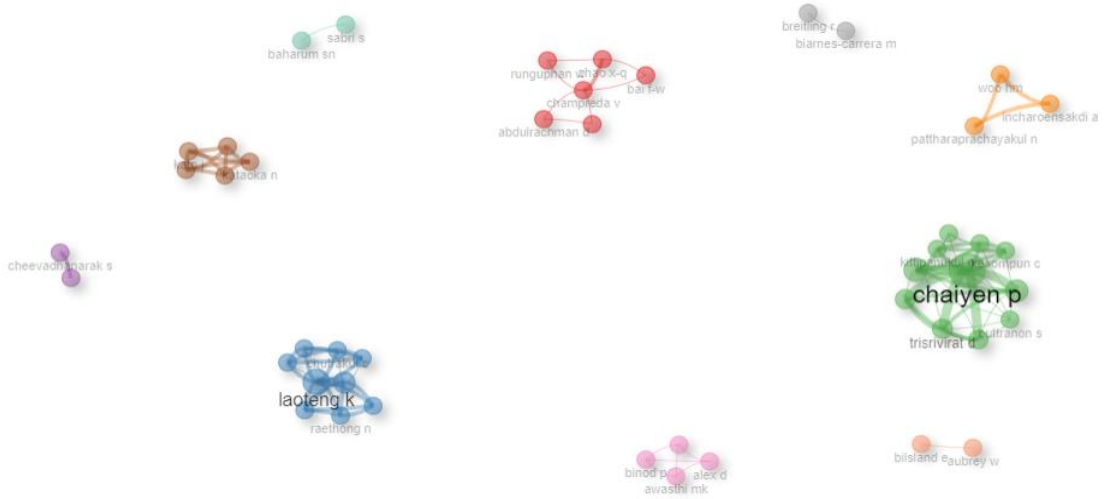
Author	Affiliation	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024*		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
	Science and Technology							
Phumikhet, Pongphannee	Mahidol University	Thailand	1	0.2	12	1	0.2	22
Pimviriyakul, Panu	Kasetsart University	Thailand	1	1.33	12	1	1.33	22
Pooalai, Renuka	Naresuan University	Thailand	1	0.16	12	1	0.16	22
Pootanakit, Kusol	Mahidol University	Thailand	1	0.9	12	1	0.9	22
Prakinee, Kridsadakorn	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	1	2.39	12	1	2.39	22
Prakitchaiwattana, Cheunjit J.	Chulalongkorn University	Thailand	1	0.69	12	1	0.69	22
Pughazhendi, Arivalagan	Maejo University	Thailand	1	0.78	12	1	0.78	22
Ramaraj, Rameshprabu	Maejo University	Thailand	1	0.68	12	1	0.68	22
Sae-Tang, Kittapong	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	0.33	12	1	0.33	22
Sattayawat, Pachara	Chiang Mai University	Thailand	1	0	12	1	0	22
Sirawaraporn, Worachart	Mahidol University	Thailand	1	1.87	12	#N/A	#N/A	#N/A
Sirikantaramas, Supaart	Chulalongkorn University	Thailand	1	0.37	12	1	0.37	22
Sitthisak, Sutthirat	Naresuan University	Thailand	1	0.16	12	1	0.16	22
Suwanmajo, Thapanar	Chiang Mai University	Thailand	1	0.3	12	1	0.3	22
Tanapongpipat, Sutipa	National Science and Technology Development Agency Thailand	Thailand	1	0.33	12	1	0.33	22

Author	Affiliation	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024*		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
Techo, Todsapol	Mahidol University	Thailand	1	0.2	12	1	0.2	22
Tencomnao, Tewin	Chulalongkorn University	Thailand	1	0.27	12	1	0.27	22
Thaiprasit, Jittrawan	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand	1	0	12	#N/A	#N/A	#N/A
Thummeepak, Rapee	Naresuan University	Thailand	1	0.16	12	1	0.16	22
Unpaprom, Yuwalee	Maejo University	Thailand	1	0.68	12	1	0.68	22
Usaku, Chonlatep	Silpakorn University	Thailand	1	0.74	12	1	0.74	22
Waraho-Zhmayev, Dujduan	King Mongkut's University of Technology Thonburi	Thailand	1	0	12	#N/A	#N/A	#N/A
Wattanasuepsin, Watsapon	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	1	0.42	12	1	0.42	22
Weeranoppanant, Nopphon	Burapha University	Thailand	1	2.39	12	1	2.39	22
Wilairatana, Polrat	Mahidol University	Thailand	1	1.06	12	1	1.06	22
Zhang, Shiyu	CAS - Kunming Institute of Botany	China	1	0.77	12	1	0.77	22
Vongsangnak, Wanwipa	Kasetsart University	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	3	0.5	3
Raethong, Nachon	Kasetsart University	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	2	0.74	11
Thananusak, Roypim	Kasetsart University	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	2	0.74	11
Atichartpongkul, Sopapan	Chulabhorn Research Institute	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22

Author	Affiliation	Country/ Region	2013 - 2022			2018 - 2024*		
			Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output	Scholarly Output	Field-Weighted Citation Impact	Ranking by Scholarly Output
Bolaños-Martínez, Omayra Citlalli	Universidad Autonoma de San Luis Potosi	Mexico	#N/A	#N/A	#N/A	1	1.04	22
Cheawchanlertfa, Pattsarun	Kasetsart University	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Chinantuya, Wachirawit	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Fuangthong, Mayuree	Chulabhorn Research Institute	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Koffas, Mattheos A.G.	Rensselaer Polytechnic Institute	United States	#N/A	#N/A	#N/A	1	1.49	22
Malla, Ashwini	Ltd.	-	#N/A	#N/A	#N/A	1	1.04	22
Napathorn, Suchada Chanprateep	Chulalongkorn University	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0.95	22
Phatinuwat, Kamonwan	Chulabhorn Graduate Institute	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Phonbuppha, Jittima	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Pongtharangkul, Thunyarat	Mahidol University	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Prabhakaran, Pranesha	Shandong University of Technology	China	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Rattanaporn, Kittipong	Kasetsart University	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Sutthaphirom, Chalermroj	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	0	22
Vimolmangkang, Sornkanok	Chulalongkorn University	Thailand	#N/A	#N/A	#N/A	1	1.04	22

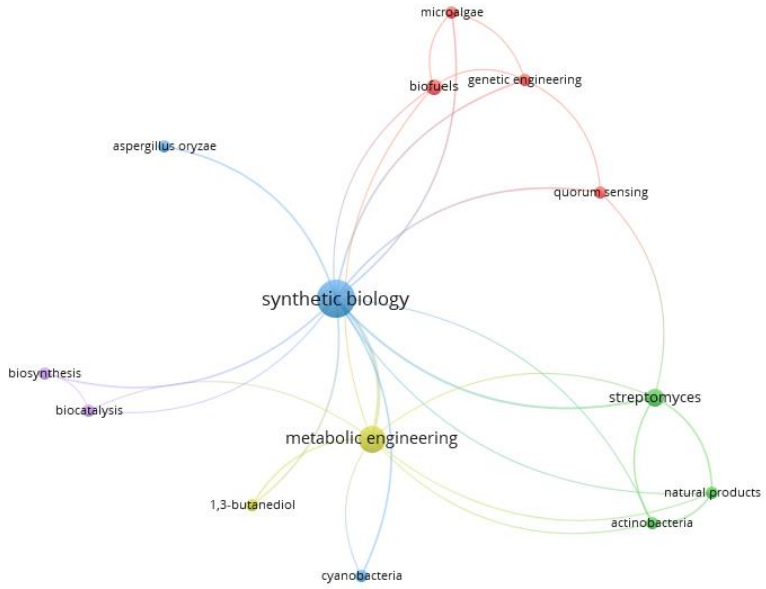
*ข้อมูลถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2567

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของผู้แต่งชาวไทยด้วยโปรแกรม Bibliometrix พบกลุ่มผู้แต่งชาวไทยกระจายตัวเป็น 10 กลุ่มโดยกลุ่มใหญ่อันดับที่ 1 เป็นกลุ่มที่นำโดย ศ. ดร. พิมพ์ใจ ใจเย็น สถาบันวิทยสิริเมธี กลุ่มอันดับที่ 2 นำโดย ดร. กอบกุล เหล่าเท้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และกลุ่มที่ 3 นำโดย ดร. วีระวัฒน์ แช่มปรีดา ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ดังรายละเอียดแสดงตามรูปที่ 2-20



รูปที่ 2-20: แสดงความสัมพันธ์ของผู้แต่งไทยที่มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ด้วยโปรแกรม Bibliometrix

จากข้อมูลความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบประเทศไทย (รูปที่ 2-21) กับนานาชาติ (รูปที่ 2-5 - 2-9) ในมิติเทคโนโลยี ประเทศไทยมีผลงานตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ในมุมของ metabolic engineering ซึ่งเป็นฐานองค์ความรู้ที่สำคัญสำหรับการต่อยอดของ synthetic biology แต่ยังไม่พบการวิจัยที่พัฒนาเครื่องมือ (tools) เหมือนกับระดับนานาชาติที่นำ gene circuit, genome editing และ กลุ่ม computational biology เช่น deep learning และ AI มาใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบและสร้าง host cell



รูปที่ 2-21: แสดงความสัมพันธ์ synthetic biology กับกลุ่ม topic ที่มีการตีพิมพ์บทความโดยผู้แต่งชาวไทย โดยใช้ฟังก์ชัน คำศัพท์ร่วม (co-occurrence)

อย่างไรก็ตามผู้แต่งชาวไทยแสดงการประยุกต์ใช้ในกลุ่มของ biofuel, natural product และ biocatalyst ดังรายละเอียดตามรูปที่ 2-21 ในขณะที่ประยุกต์ใช้งานวิจัยทางด้าน synthetic biology ระดับนานาชาติคณะผู้ศึกษานำข้อมูลการอ้างอิงบทความวิชาการนานาชาติโดยสิทธิบัตร จากฐานข้อมูล Scival เพื่อเชื่อมโยงการนำงานวิจัยด้านนี้ไปสู่การประยุกต์ใช้ โดยแบ่งกลุ่มได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 การเกษตร ตัวอย่างบทความวิชาการนานาชาติที่ถูกอ้างอิงโดยสิทธิบัตร

- CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture, Annu Rev Plant Biol. 2019 Apr 29:70:667-697.

กลุ่มที่ 2 การแพทย์ ตัวอย่างบทความวิชาการนานาชาติที่ถูกอ้างอิงโดยสิทธิบัตร

- Engineering CAR-T Cells for Next-Generation Cancer Therapy, Cancer Cell. 2020 Oct 12;38(4):473-488.
- Genetic Inactivation of CD33 in Hematopoietic Stem Cells to Enable CAR T Cell Immunotherapy for Acute Myeloid Leukemia. Cell. 2018 May 31;173(6):1439-1453.e19.
- Deciphering microbial interactions in synthetic human gut microbiome communities. Mol Syst Biol. 2018 Jun 21;14(6):e8157.
- Developing a new class of engineered live bacterial therapeutics to treat human diseases. Nat Commun. 2020 Apr 8;11(1):1738.
- Immunotherapy with engineered bacteria by targeting the STING pathway for anti-tumor immunity. Nat Commun. 2020 Jun 1;11(1):2739.

กลุ่มที่ 3 อุตสาหกรรม ตัวอย่างบทความวิชาการนานาชาติที่ถูกอ้างอิงโดยสิทธิบัตร

- Pseudomonas putida as a functional chassis for industrial biocatalysis: From native biochemistry to trans-metabolism. Metab Eng. 2018 Nov:50:142-155.
- Wearable materials with embedded synthetic biology sensors for biomolecule detection. Nat Biotechnol. 2021 Nov;39(11):1366-1374.
- Growth of E. coli on formate and methanol via the reductive glycine pathway. Nat Chem Biol. 2020 May;16(5):538-545.
- Discovery, Characterization, Engineering, and Applications of Ene-Reductases for Industrial Biocatalysis. ACS Catal. 2019 May 15; 8(4): 3532–3549.

กลุ่มที่ 4 พลังงานและสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างบทความวิชาการนานาชาติที่ถูกอ้างอิงโดยสิทธิบัตร

- Conversion of Escherichia coli to Generate All Biomass Carbon from CO_2, Cell. 2019 Nov 27;179(6):1255-1263.e12.
- Microbial Degradation and Valorization of Plastic Wastes. Front Microbiol. 2020; 11: 442.
- Microbial fuel cell (MFC) power performance improvement through enhanced microbial electrogenicity. Biotechnol Adv. 2018 Jul-Aug;36(4):1316-1327.

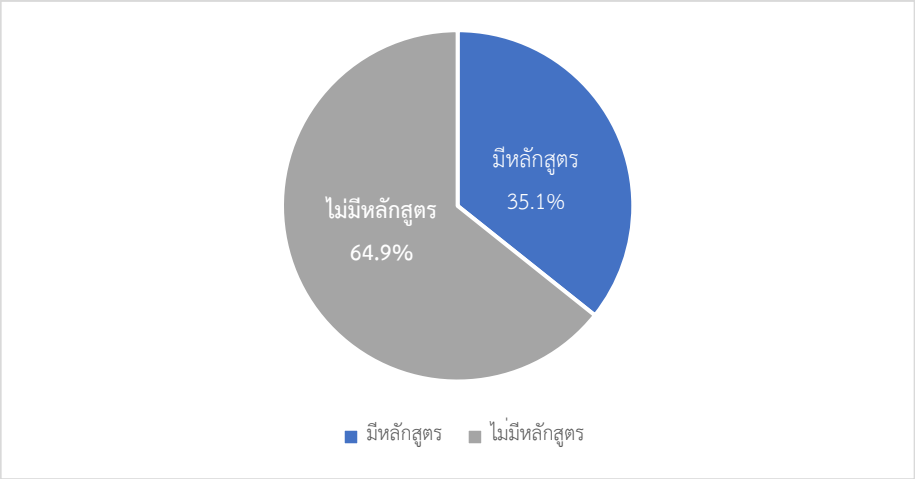
จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ synthetic biology นั้นสามารถใช้ได้หลากหลายขึ้นกับมุมมองต่อการออกแบบและสร้าง ทั้งนี้มีข้อสังเกตว่ามีสิทธิบัตรที่อ้างอิงบทความวิจัยพื้นฐานเชิงลึก เช่น

- Principles and Applications of Nucleic Acid Strand Displacement Reactions. Chem Rev. 2019 May 22;119(10):6326-6369.
- Interfacing nature’s catalytic machinery with synthetic materials for semi-artificial photosynthesis. Nature Nanotechnology. 2018, 13(10)
- Cell-free gene expression: an expanded repertoire of applications. Nat Rev Genet. 2020 Mar;21(3):151-170.
- Cytochrome P450 Monooxygenases in Biotechnology and Synthetic Biology. Trends Biotechnol. 2019 Aug;37(8):882-897.
- Enzymatic assembly of carbon–carbon bonds via iron-catalysed sp 3 C–H functionalization. Nature. 2019. 565(7737)

อาจกล่าวได้ว่าการใช้ synthetic biology ในการทำงานเชิงประยุกต์ต้องการองค์ความรู้หลากหลายศาสตร์ร่วมกันซึ่งเป็นดำเนินงานร่วมกันลักษณะ interdisciplinary จึงจะใช้ synthetic biology ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.2 ความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เชิงในมิติการพัฒนากำลังคน

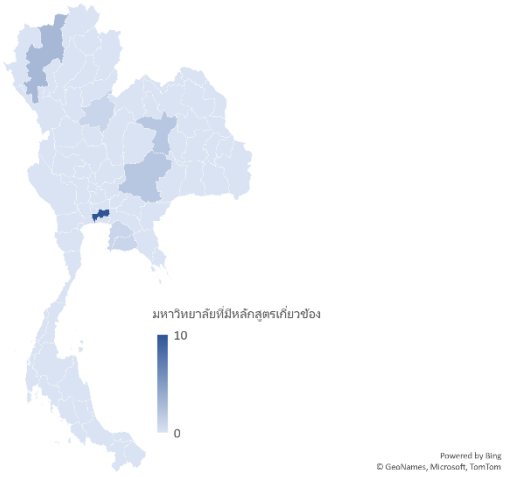
การศึกษาสถานภาพการพัฒนากำลังคนในสาขาที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ของประเทศไทย คณะผู้ศึกษาได้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ข้อมูลวิทยานิพนธ์และรายงานวิจัยฉบับเต็มที่รวบรวมจากมหาวิทยาลัย และหน่วยงานต่าง ๆ ของไทย (Thai Digital Collection; TDC) และข้อมูลปฐมภูมิจากการทำแบบสอบถามและการสัมภาษณ์เชิงลึกในหน่วยงานที่ระบุมีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology และจากการสืบค้นฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์และรายงานวิจัยฉบับเต็มที่รวบรวมจากมหาวิทยาลัย และหน่วยงานต่าง ๆ ของไทย (Thai Digital Collection; TDC) พบวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง 74 เรื่อง จากวิทยานิพนธ์ทั้งสิ้น 476,146 เรื่อง หรือคิดเป็น 0.016% ประกอบด้วยวิทยานิพนธ์ 2 เรื่อง 9 เรื่อง และ 63 เรื่อง จากคำค้น synthetic biology, metabolic engineering และ systems biology ตามลำดับ วิทยานิพนธ์ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาระบบของสิ่งมีชีวิต และการพัฒนาแบบจำลองและเครื่องมือเพื่อสร้างองค์ความรู้พื้นฐาน เช่น กลไกการทำงานและการควบคุมเซลล์หรือสิ่งมีชีวิตที่จะนำไปสู่การสร้างสิ่งมีชีวิตที่มีคุณสมบัติใหม่ตามต้องการ รายละเอียดภาคผนวก ก ข้อมูลที่สืบค้นได้ข้างต้นแสดงให้เห็นว่า วิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มีจำนวนน้อยมาก และวิทยานิพนธ์ทั้ง 74 เรื่องนี้เป็นของนักศึกษาระดับปริญญาโท/เอกของมหาวิทยาลัย 4 แห่ง ได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 62 เรื่อง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10 เรื่อง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 1 เรื่อง และมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง 1 เรื่อง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลจากมหาวิทยาลัยและสถาบันการศึกษาต่าง ๆ อย่างครบถ้วน **โครงการฯ จึงได้จัดส่งแบบสอบถามไปยังสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศ รวมทั้งสิ้น 95 คณะ 108 ภาควิชา** เพื่อสอบถามถึงหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ตามนิยามและคำจำกัดความที่ผู้ทรงคุณวุฒิให้ความเห็น และได้รับผลการตอบแบบสอบถามจำนวน 57 คำตอบ (คณะ/ภาควิชาการ) แบ่งเป็น มีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องแล้ว 20 คำตอบ (คณะ/ภาควิชาการ) (35.1%) และยังไม่มีหลักสูตรที่เกี่ยวข้อง 37 คำตอบ (คณะ/ภาควิชาการ) (64.9%) ดังแสดงตามรูปที่ 2-22



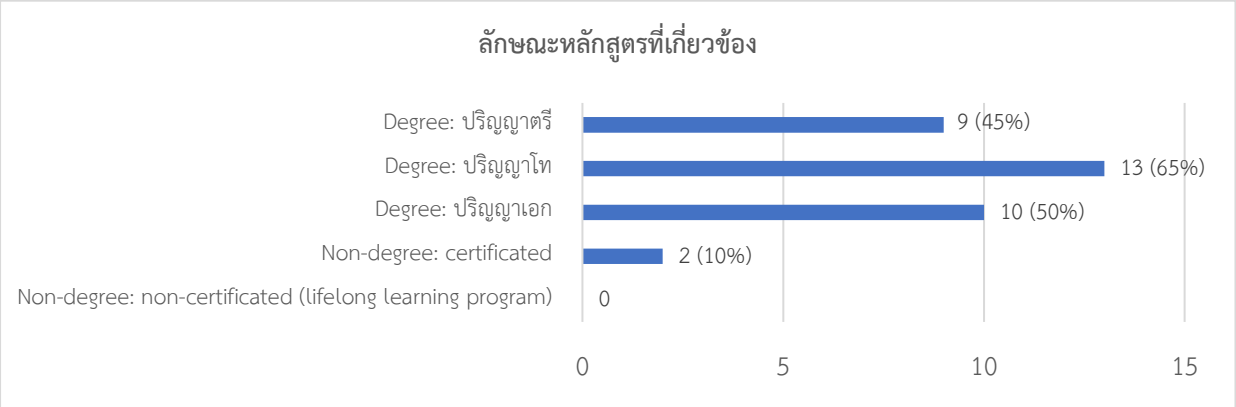
รูปที่ 2-22: สัดส่วนมหาวิทยาลัยที่มีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology

ในจำนวน 20 คำตอบ ที่มีหลักสูตรเกี่ยวข้องกับ synthetic biology กระจายอยู่ในมหาวิทยาลัย 12 แห่ง ได้แก่

1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
6. มหาวิทยาลัยนเรศวร
7. มหาวิทยาลัยบูรพา
8. มหาวิทยาลัยมหิดล
9. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
10. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
12. สถาบันวิทยสิริเมธี (VISTEC)

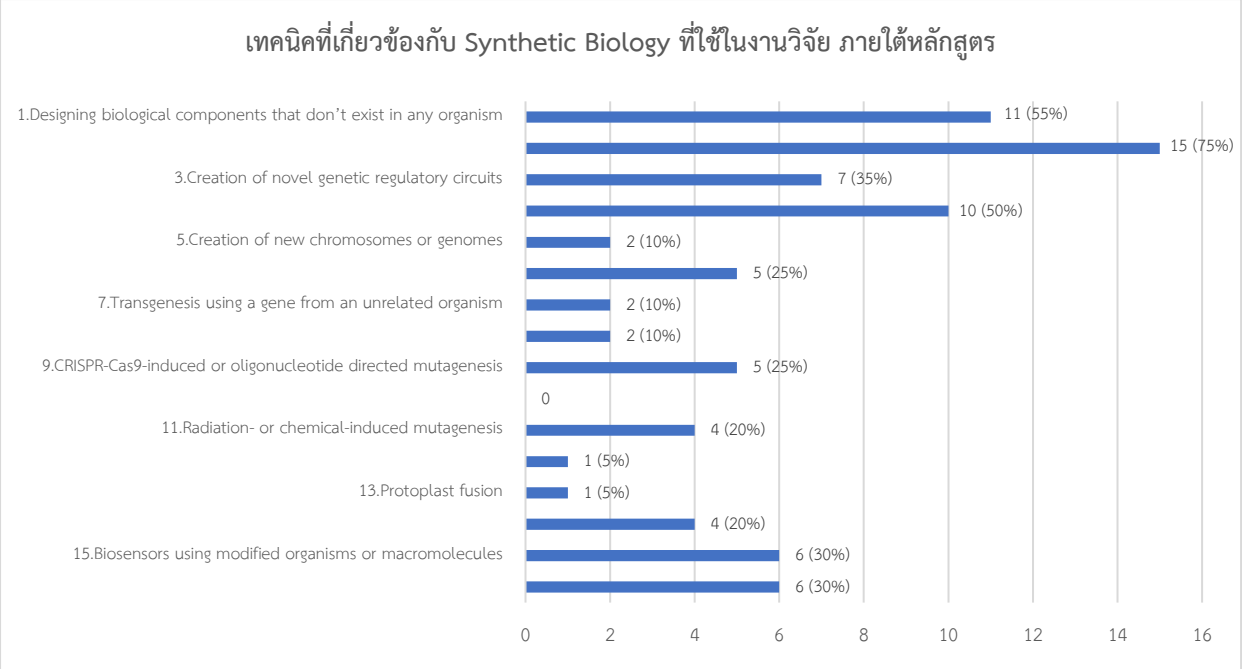


จากแบบสอบถามระบุมีหลักสูตรเกี่ยวข้องกับ synthetic biology จากจำนวน 20 คำตอบ โดยลักษณะหลักสูตรที่มีเปิดสอน พบสูงสุดคือ หลักสูตรระดับปริญญาโท คิดเป็น 65% รองลงมาคือ หลักสูตรระดับปริญญาเอก 50% หลักสูตรระดับปริญญาตรี 45% และหลักสูตร Non-degree: certificated 10% โดยในระยะเวลา 5 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2561 - 2565) มีผู้สำเร็จการศึกษาแล้ว 707 คน แบ่งเป็นระดับปริญญาตรี 554 คน ระดับปริญญาโท 122 คน และระดับปริญญาเอก 31 คน



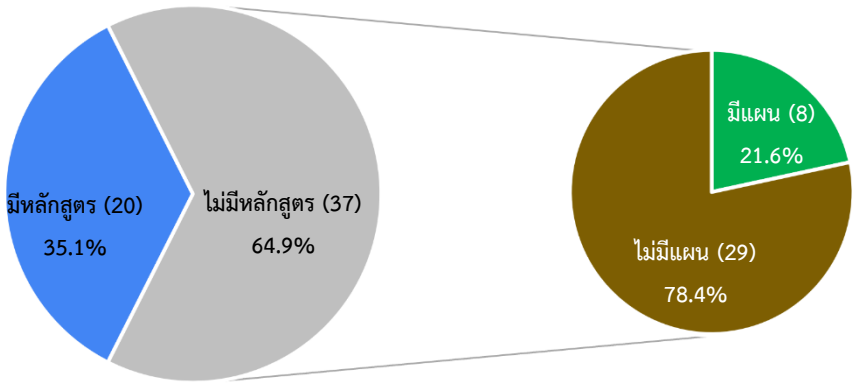
รูปที่ 2-23: ลักษณะหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology

เทคนิคที่เกี่ยวกับ synthetic biology สูงสุด 3 อันดับแรก คือ การวิศวกรรมส่วนประกอบทางชีวภาพเพื่อให้มีฟังก์ชันใหม่ (75%) รองลงมาคือการออกแบบองค์ประกอบทางชีวภาพที่ไม่เคยมีในสิ่งมีชีวิต (55%) และการถ่ายโอน metabolic pathways ระหว่างสิ่งมีชีวิต (50%) ดังแสดงในรูปที่ 2-24



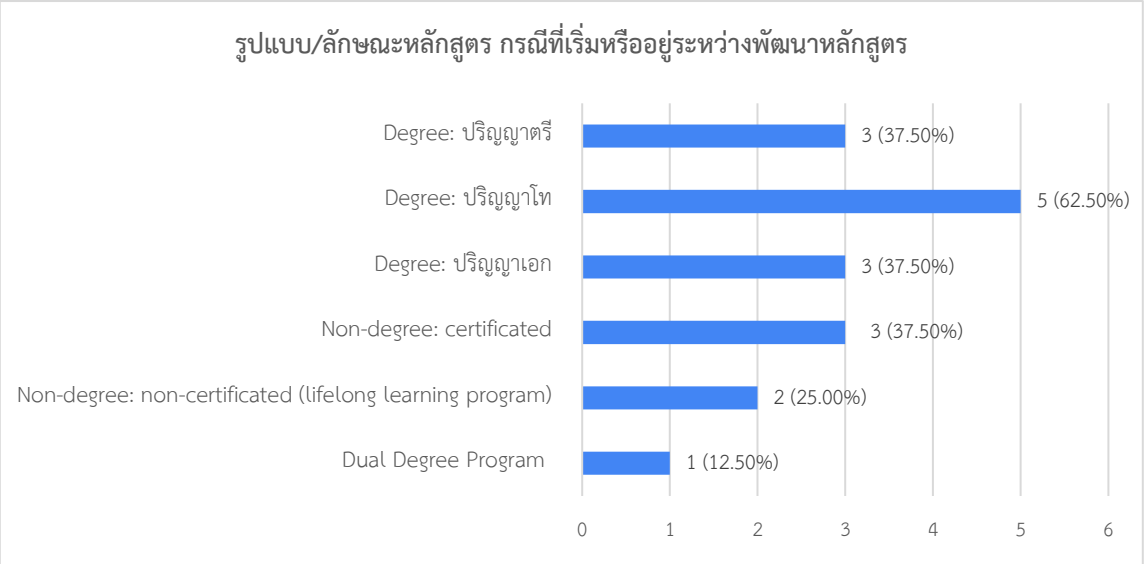
รูปที่ 2-24: เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ที่ใช้ในงานวิจัยภายใต้หลักสูตร

มหาวิทยาลัยที่มีแผนจะพัฒนาหลักสูตร และ/หรือ อยู่ระหว่างพัฒนาหลักสูตร มีจำนวน 6 มหาวิทยาลัย ได้แก่ 1) มหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะแพทยศาสตร์ สาขาวิชาชีวเคมี และ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาชีววิทยา 2) มหาวิทยาลัยบูรพา (วิทยาเขตจันทบุรี) คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ 3) มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ 4) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ 5) มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ ภาควิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา และ 6) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ และ คณะอุตสาหกรรมอาหาร สาขาวิชาเทคโนโลยีการหมัก และเมื่อพิจารณาตามคณะและภาควิชาคิดเป็น 21.6% ที่มีแผนจะพัฒนาหลักสูตร และ/หรือ อยู่ระหว่างพัฒนาหลักสูตร โดยแสดงสัดส่วนคณะ/ภาควิชาที่มีแผนการพัฒนาหลักสูตร ดังรูปที่ 2-25



รูปที่ 2-25: สัดส่วนคณะ/ภาควิชาที่มีแผนจะพัฒนาหรือร่วมกับหน่วยงานอื่นพัฒนาหลักสูตร

จากแบบสอบถาม คณะ/ภาควิชาที่มีแผนพัฒนาหลักสูตรระดับปริญญาโท (5) 62.5% ปริญญาเอก (3) 37.5% ปริญญาตรี (3) 37.5% Non-degree: certificated (3) 37.5% และ Non-degree: non-certificated (lifelong learning program) (2) 25% และ Dual degree program (1) 12.5% โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาบุคลากรให้มีทักษะความรู้ความสามารถตอบสนองต่อตลาดแรงงาน มีผลงานวิจัยที่สามารถถ่ายทอดสู่ภาคเอกชน มีบทความวิชาการระดับนานาชาติเป็นที่ยอมรับในสาขาวิชา และ บุคลากรที่มีความรู้/ความเชี่ยวชาญตามเป้าหมายหลักสูตรตามลำดับ ดังแสดงตามรูปที่ 2-26

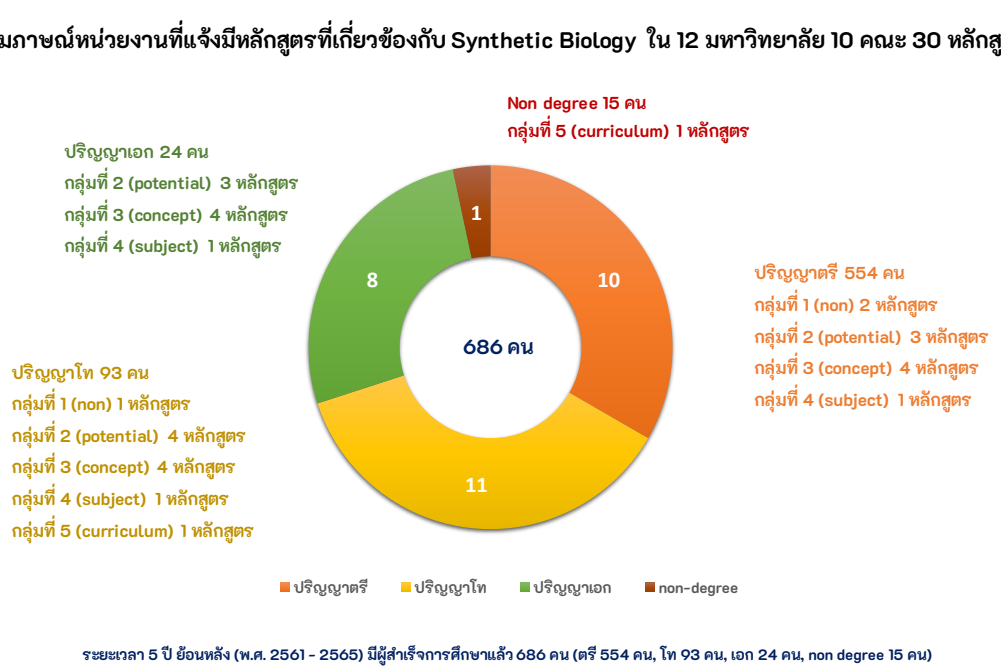


รูปที่ 2-26: รูปแบบ/ลักษณะหลักสูตร กรณีที่เริ่มหรืออยู่ระหว่างการพัฒนาหลักสูตร

จากข้อมูลหลักสูตรและวิชาที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ที่ได้จากแบบสอบถาม ได้ทำการสัมภาษณ์หน่วยงานที่ระบุมีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology จำนวน 12 มหาวิทยาลัย 10 คณะ 30 หลักสูตร และสามารถแบ่งกลุ่มได้ตามตารางที่ 2-4 ดังนี้

ตารางที่ 2-4: การจัดกลุ่มหลักสูตรที่ได้ทำการสัมภาษณ์ จำนวน 12 มหาวิทยาลัย

กลุ่มหลักสูตร	สรุป
กลุ่มที่ 1 (non) มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับ biochemistry, ceramic, bioprocess, reactor design และไม่มีการรวบ synthetic biology เข้าไปในหลักสูตร	• 3 หลักสูตร • 3 มหาวิทยาลัย • 2 คณะ
กลุ่มที่ 2 (potential) มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับ molecular biology, cell biology, bioinformatic แต่ยังไม่มีการรวบ synthetic biology เข้าไปในหลักสูตร	• 10 หลักสูตร • 6 มหาวิทยาลัย • 6 คณะ
กลุ่มที่ 3 (concept) มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับ molecular biology, cell biology, systems biology, genetic engineering และมีการสอน concept ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology เช่น D-B-T-L cycle , redesign, programmable system	• 12 หลักสูตร • 5 มหาวิทยาลัย • 1 คณะ
กลุ่มที่ 4 (subject) มีวิชา synthetic biology (SCBT309 Synthetic Biology) เน้นการสอนมุมมองใหม่ของการนำความรู้พื้นฐานทางพันธุศาสตร์ หรือ ชีววิทยาระดับโมเลกุลไปใช้ในเชิงวิศวกรรม	• 3 หลักสูตร • 2 มหาวิทยาลัย • 2 คณะ
กลุ่มที่ 5 (curriculum) มีหลักสูตร synthetic biology หลักสูตร Non-degree Program: Synthetic Biology for Industry (Re-skill, Up-skill, New-skill) และหลักสูตร degree เปิด 2567 เน้นผลิตคน โดยเป็นการเรียนการสอนให้เข้าใจหลักการของ synthetic biology และการใช้ประโยชน์จากความรู้ทางด้านชีววิทยาและเทคโนโลยีชีวภาพ มาประยุกต์ใช้ใน synthetic biology และนำไปสู่การสร้างบุคลากรให้มีแนวคิดเชิงนวัตกรรมโดยใช้สหสาขาวิชาในการสร้างนวัตกรรม	• 2 หลักสูตร • 1 มหาวิทยาลัย • 1 คณะ



รูปที่ 2-27: แสดงจำนวนผู้สำเร็จการศึกษาและระดับของหลักสูตรในกลุ่มต่าง ๆ

ในมิติกำลังคนมีหลักสูตรเกี่ยวข้องกับ synthetic biology จำนวน 30 หลักสูตร ซึ่งกระจายในระดับการศึกษาต่าง ๆ ดังนี้ 1) ระดับปริญญาตรี 10 หลักสูตร มีผู้สำเร็จการศึกษาแล้ว 554 คน 2) ระดับปริญญาโท 11 หลักสูตร มีผู้สำเร็จการศึกษาแล้ว 93 คน 3) ระดับปริญญาเอก 8 หลักสูตร มีผู้สำเร็จการศึกษาแล้ว 24 คน และ 4) non-degree 1 หลักสูตร 15 คน โดยส่วนใหญ่ผู้สำเร็จการศึกษาจะเกี่ยวข้องกับ cell biology, systems biology, molecular biology, genetic engineering, metabolic engineering และ biotechnology ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับ synthetic biology นอกจากนี้ ได้สัมภาษณ์ข้อมูลด้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยผู้ให้สัมภาษณ์ที่มีการเรียนการสอนและดำเนินงานวิจัยด้วยนั้น เห็นว่าแนวความคิดของ synthetic biology เป็นการสร้างหรือปรับปรุงองค์ประกอบทางชีวภาพให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อเป้าหมายในการนำไปใช้ประโยชน์ โดยอาศัยความรู้ความเข้าใจชีววิทยาของเซลล์ องค์ประกอบทางชีวภาพ ระบบการทำงานของสิ่งมีชีวิต เพื่อสร้างสิ่งที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติโดยบังเอิญ ซึ่งต้องใช้องค์ความรู้พื้นฐานทางชีวเคมี และ ชีววิทยาเชิงปริมาณ (quantitative biology) การคิดเชิงสถิติเพื่อศึกษาสิ่งมีชีวิต เช่น อัตราการเจริญของเซลล์ อัตราการใช้แหล่งคาร์บอนและการผลิตสารเมตาบอไลท์ เชื่อมโยงกับชีววิทยาระบบ (systems biology) ทำให้สามารถสร้างโมเดลและระบบต่าง ๆ ที่ช่วยลดข้อผิดพลาดในการวิศวกรรมองค์ประกอบทางชีวภาพ องค์ความรู้พื้นฐานสำคัญที่ต้องมี ประกอบด้วย cell biology, biochemistry, genetic engineering, bioscience and application, การออกแบบ Bioinformatics, Machine Learning, การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis), Structural biology ตลอดจนความรู้ทางด้าน Bioprocess engineering ซึ่งหลักสูตรการเรียนการสอนวิชาพื้นฐานที่มีอยู่ เช่น ชีววิทยา ชีวเคมี พันธุศาสตร์ระดับโมเลกุล การออกแบบองค์ประกอบทางชีวภาพโดยใช้ Machine learning/ Computational modeling สามารถต่อยอดไปเป็นชีววิทยาสังเคราะห์ด้านต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับงานวิจัยที่สนใจและการเสริมให้มีทักษะกระบวนการคิดเชิงระบบ อย่างไรก็ตาม บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในการเขียนโค้ดหรือการพัฒนา Machine learning ที่สามารถเข้าใจชีววิทยา หรือนักชีววิทยาที่สามารถคิดวิเคราะห์เชิงคำนวณได้

ยังมีไม่มากนัก การพัฒนากำลังคนมีทั้งหลักสูตรปริญญาระดับต่าง ๆ ช่วยปูพื้นฐานและสร้างบุคลากรวิจัยที่ดี มีทักษะในการคิดวิเคราะห์ สามารถนำความรู้พื้นฐานไปประยุกต์ใช้ตอบโจทย์ปัญหาต่างๆ และหลักสูตร non-degree ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ upskill, reskill การเรียนรู้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาชีพ

การพัฒนางานวิจัยภายใต้หลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology มีทั้งการศึกษาองค์ความรู้พื้นฐาน ศึกษากลไกระดับโมเลกุลของปฏิกิริยาเอนไซม์ ศึกษาโครงสร้างและหน้าที่การทำงานของเอนไซม์เพื่อประยุกต์ใช้ประโยชน์ พัฒนาเครื่องมือสำหรับงานชีววิทยาสังเคราะห์ เช่น inducible promoter ชนิดใหม่ ๆ สำหรับใช้ควบคุมการแสดงออกยีนต่าง ๆ ใน genetics circuit การสร้างสิ่งมีชีวิตให้มีฟังก์ชันตามที่ออกแบบ เช่น สร้างเซลล์ยีสต์ที่สามารถผลิตสารมูลค่าสูงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง การปรับปรุงการผลิตกรดซักซินิกในอีโคไล การออกแบบและพัฒนาอีโคไลสำหรับใช้เป็นตัวบ่งชี้/ตรวจจับสารชีวโมเลกุลเป้าหมาย งานวิจัยด้าน systems biology เช่น การออกแบบและสร้างโมเดลพืชที่ประกอบด้วยส่วนราก ลำต้น และใบ และจำลองการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเข้าสู่ใบและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลสะสมในอวัยวะต่าง ๆ การสร้างโมเดลทำนายสภาวะการเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อการผลิตสารที่ต้องการ ทั้งนี้งานวิจัยภายใต้หลักสูตรส่วนใหญ่อยู่ในระดับต้นน้ำด้วยข้อจำกัดในด้านทุนวิจัย ทุนพัฒนาบุคลากรวิจัย และโครงสร้างพื้นฐาน โดยมีตัวอย่างงานวิจัย ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ ดังนี้

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- การศึกษากลไกระดับโมเลกุลของปฏิกิริยาเอนไซม์ การทำงานของเอนไซม์ ในการย่อยสลายทางชีวภาพ พัฒนากลยุทธ์ในการทำให้จุลินทรีย์ผลิตสารเมตาบอไลท์ที่ทำให้มี cofactor หนาแน่น สำหรับใช้ในการผลิต fatty alcohol, bioluminescent และ alkane production
- พัฒนากลยุทธ์ในการวิศวกรรมโปรตีน โดยใช้เทคนิค directed evolution และ rational design ร่วมกับการใช้ Machine learning เพื่อให้ได้เอนไซม์หรือโปรตีนที่ทำงานได้ดี เร่งปฏิกิริยาได้เร็ว
- สร้าง tools สำหรับ synthetic biology เช่น พัฒนา inducible promoter ชนิดใหม่ ๆ ที่จำเพาะกับสารชักนำแตกต่างกัน และไม่ชักนำการแสดงออกข้ามยีน สำหรับใช้ควบคุมการแสดงออกยีนต่าง ๆ ในวงจรยีน
- การ engineer cell ให้เป็น green chemical factory การเปลี่ยนผลผลิต/เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น กากมัน มันสำปะหลัง ชานอ้อย เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงแทนการใช้ผลผลิต/เศษวัสดุเหลือทิ้งจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือฟอสซิล
- การ engineer cell เพื่อใช้เป็นระบบในการคัดกรองหาแอนติบอดีสำหรับใช้เป็น therapeutic หรือนำไปประยุกต์ใช้เป็น diagnostic (cell-based biosensor) ในทางการแพทย์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในด้านอาหาร พลังงานชีวภาพ และสิ่งแวดล้อมได้ด้วย เช่น การพัฒนาโปรโมเตอร์ที่รับสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมและทำให้ผลิตโปรตีนที่ช่วยเพิ่มผลผลิตพืชหรือต้านทานโรค การพัฒนาโปรไบโอติกส์ให้ผลิตสารสำคัญ
- ใช้เทคนิค bioinformatics ในการวิเคราะห์ข้อมูลโอมิกส์หลายระดับ ตั้งแต่ยีน อาร์เอ็นเอ โปรตีน เมตาจีโนมิกส์/เมตาทรานสคริปโตมิกส์ เพื่อการสร้างโมเดลของสิ่งมีชีวิตที่ศึกษา ทั้งที่เป็น single organism (อีโคไล ยีสต์) จนถึงการสร้างโมเดลของ multiple cell เช่น โมเดลพืชที่ประกอบด้วยส่วนราก ลำต้น และใบ เข้าด้วยกัน และจำลองการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเข้าสู่ใบและเปลี่ยนเป็นน้ำตาลสะสมในอวัยวะต่างๆ

ทั้งยังสามารถสร้างโมเดลทำนายสภาวะการเลี้ยงที่เหมาะสมในการผลิตสารที่ต้องการ การทำ single gene หรือ multiple gene deletion หรือ overexpression ภายในเซลล์ เพื่อทำนายผลลัพธ์ที่ต้องการ

- สร้างโมเดลความสัมพันธ์ระหว่าง multispecies ทำนายการให้และรับสารระหว่างจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกันในระบบ เช่น โมเดลความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ใน microbial fuel cells เพื่อให้มีการเจริญเติบโตหรือผลิตสารที่ต้องการ และสามารถทำนายสภาวะการเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อรักษา community ในระบบอย่างยั่งยืน โดยยังคงมีประสิทธิภาพตามต้องการ

ปัญหา/อุปสรรคที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการพัฒนาบุคลากรภายใต้หลักสูตร

การพัฒนาบุคลากร:

- งบประมาณสนับสนุนทุนพัฒนาบุคลากรมีจำกัด และไม่รองรับการสร้างความร่วมวิจัย เครือข่ายวิจัย หรือการดำเนินงานวิจัยพื้นฐาน
- ขาดบุคลากรด้าน quantitative biology นักชีววิทยาที่สามารถคิดวิเคราะห์เชิงคำนวณได้ หรือ นักฟิสิกส์ที่สามารถเข้าใจชีววิทยา
- ความท้าทายในการดึงดูดบุคลากรต่างสาขาโดยเฉพาะ computer scientist ให้มีความสนใจด้านชีววิทยาสังเคราะห์ และการเพิ่มจำนวนอาจารย์ผู้สอนที่มีความเชี่ยวชาญด้านที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาบุคลากรของประเทศ
- มหาวิทยาลัยไม่สามารถคัดเลือกคุณภาพของนักศึกษาที่เข้าเรียนระดับปริญญาตรีได้ ซึ่งคุณภาพของนักศึกษามีผลต่อความพร้อมในการเรียน นักศึกษาที่มีคุณภาพมักจะมีความรู้พื้นฐานและกระบวนการเรียนรู้ที่ดี ซึ่งสามารถประยุกต์ต่อยอดด้าน synthetic biology ได้ดี
- ขาดนักศึกษาที่จะสมัครเข้าเรียนในหลักสูตรระดับปริญญาโท-เอก เนื่องจากความไม่ชัดเจนด้านความต้องการของผู้ประกอบการ/ตลาดแรงงาน นอกจากนี้ ด้วยปัจจัยทางสังคมที่เปลี่ยนไป นักศึกษามีทางเลือกในสายอาชีพหลากหลาย และโอกาสได้รับเงินเดือนสูงกว่าการศึกษาต่อในระดับปริญญาโท/เอก

การวิจัย/ทุนวิจัย:

- ขาดแคลนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย/ทุนวิจัยที่สนับสนุนการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาเทคโนโลยีฐานมีจำกัด เนื่องจากแหล่งทุนส่วนใหญ่สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่จับต้องได้ หรือกำหนดให้มีการดำเนินการร่วมกับผู้ประกอบการ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยด้าน synthetic biology เป็นงานวิจัยพื้นฐาน (basic research) ทำให้ได้ข้อมูลสำคัญสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์ ซึ่งแม้จะมีทุน Fundamental Fund (FF) ที่รัฐบาลสนับสนุนให้มหาวิทยาลัยใช้ในการพัฒนาองค์ความรู้ แต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะพัฒนางานวิจัยที่มีคุณภาพ เพื่อสร้างความรู้ ความชำนาญ (Know-how) ความเป็นเจ้าของในเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ของประเทศ อันจะนำไปสู่การต่อยอดใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน
- นอกจากนี้ทุนสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาในมหาวิทยาลัย สนับสนุนเฉพาะค่าเทอมและค่าใช้จ่ายประจำเดือน โดยไม่รวมค่าธรรมเนียมการทำวิจัย (Bench Fee) จึงไม่เพียงพอสำหรับการดำเนินงานวิจัยระดับโมเลกุล (molecular) ซึ่งด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณวิจัยดังกล่าว การเรียนการสอนจึงเป็นการนำระบบที่มีมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ แทนที่นักศึกษาจะได้เรียนรู้การออกแบบ system และสร้างระบบใหม่ ๆ
- funding agency ยังไม่ให้ความสำคัญกับ synthetic biology มากนัก

โครงสร้างพื้นฐาน:

- อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์มีจำกัด เช่น GC, LC-MS, ระบบเพาะเลี้ยงในระดับขยายขนาด
- งบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ รวมถึงงบประมาณค่าซ่อมแซมเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อการวิจัยมีจำกัด
- การเข้าถึงโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ: เครื่องมือบางอย่างราคาแพง และกระจุกอยู่ในบางมหาวิทยาลัย
- เทคโนโลยีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยด้าน synthetic biology ไม่ได้ดำเนินการเองในประเทศ เช่น gene synthesis, gene sequencing ทำให้งานไปได้ช้า และมีราคาแพง ในขณะที่โอกาสได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย basic science ทั้งในระดับมหาวิทยาลัยและทุนวิจัยในประเทศค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้วัฏจักรของการวิจัยและพัฒนาเป็นไปอย่างช้า ๆ เป็นอุปสรรคในการสร้างองค์ความรู้และการผลิตผลงานเชิงประจักษ์
- งานด้าน computational/ mathematical modeling และ simulation ต้องการระบบคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง (High Performance Computing: HPC) จัดตั้งในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสม รวมถึงต้องการผู้เชี่ยวชาญ (experts) ในการดูแลเครื่องมือและบริหารจัดการการเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้กรณีที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐานในหน่วยงาน สามารถใช้ระบบคลาวด์ได้ แต่ผู้ใช้งานต้องมีทักษะในการติดตั้งโปรแกรมและการเก็บข้อมูล

กลไกสนับสนุน:

- การสร้างความร่วมมือกับภาคเอกชน: การหาภาคเอกชนร่วมลงทุนวิจัยและพัฒนาค่อนข้างยาก เนื่องจากบริษัทเอกชนขนาดใหญ่มั่นใจเทคโนโลยีต่างประเทศมากกว่า จึงเลือกที่จะซื้อ/นำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ขณะที่บริษัทเอกชนขนาดเล็กและกลางไม่กล้าเสี่ยงที่จะลงทุนในเทคโนโลยีใหม่ ๆ

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาบุคลากร:

- ชีววิทยาสังเคราะห์เป็น interdisciplinary field ของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หลักสูตรที่เหมาะสมควร integrate ความรู้จากหลากหลายสาขา มีการเรียนการสอนที่ครอบคลุมพื้นฐานด้าน cell biology, engineering, biochemistry, genetic engineering, bioscience and application การออกแบบ Bioinformatics, Machine learning, การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis), Structural biology และความรู้ทางด้าน Bioprocess engineering ตลอดจนการเสริมทักษะกระบวนการคิดเชิงระบบการคิดและวิเคราะห์ (Critical thinking skills) และทักษะทางภาษาซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะทำให้เข้าถึงงานวิจัยและเข้าใจบทความทางวิชาการ ออกแบบหลักสูตรให้มีการเรียนรู้ด้าน system design ควบคู่ไปกับการเรียนรู้ด้าน synthetic cell เพื่อให้สามารถใช้ computational modeling ในการออกแบบเซลล์หรือองค์ประกอบทางชีวภาพ การทดสอบโมเดลเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ก่อนที่จะปรับปรุงสิ่งมีชีวิตให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดด้านระยะเวลาของหลักสูตรในปัจจุบัน และความเชี่ยวชาญของนักศึกษาแต่ละคนต่างกัน แนวทางเร่งความเร็วในการพัฒนางานด้าน synthetic biology จึงอาจเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง systems biologist และ synthetic biologist
- การพัฒนาหลักสูตรระดับปริญญาตรีที่สอดคล้องกับหลักสูตรระดับปริญญาโทที่มีอยู่ คาดว่าจะช่วยให้มีจำนวนนักศึกษาที่สมัครเรียนระดับปริญญาโทเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ข้อมูลแนวโน้มตลาดแรงงานระดับโลก

และความต้องการกำลังคนในด้านต่าง ๆ เป็นแรงจูงใจให้มีบุคลากรสนใจสมัครเข้าศึกษาและทำงานวิจัยทางด้านนี้มากขึ้น

- การสนับสนุนทุนพัฒนาบุคลากรวิจัยที่ให้ค่าตอบแทนดึงดูดเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มโอกาสให้มีนักศึกษาสนใจสมัครเข้าเรียนในหลักสูตร เพิ่มการสนับสนุนทุนพัฒนาบุคลากรที่มีศักยภาพตอบตลาดแรงงาน เช่น ทุนสนับสนุนการพัฒนาบุคลากรภายใต้โครงการ “ธัชวิทย์” บพค. มีการกำหนดให้หัวข้อวิจัยมาจากสถาบันวิจัยหรือเอกชน และนักศึกษาต้องทำงานวิจัยที่สถาบันวิจัยหรือภาคเอกชนอย่างน้อย 70% ของระยะเวลาตลอดหลักสูตร
- สนับสนุนทุนพัฒนาบุคลากรวิจัยที่มีค่าใช้จ่ายครอบคลุมการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การจัดฝึกอบรมร่วมกับต่างประเทศ สร้างเครือข่ายความร่วมมือระดับนานาชาติ (global partnership) รวมถึงค่าวัสดุใช้สอยในการดำเนินงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้ทักษะการออกแบบและสามารถปฏิบัติได้จริง
- การพัฒนาทักษะเตรียมความพร้อมในการประกอบอาชีพ เช่น การฝึกงาน/ร่วมวิจัยกับภาคเอกชนหรือชุมชน พานักศึกษาเยี่ยมชมโรงงาน สอดแทรกการสอนให้มีแนวความคิดริเริ่มในการวิจัยและพัฒนา มี originality, มีกรรมสิทธิ์ในทรัพย์สินทางปัญญา (IP) การนำเสนอ idea pitching สอนการคิดนวัตกรรมใหม่ ๆ สร้างของที่มีความต้องการแต่ผู้อื่นไม่สามารถลอกเลียนแบบหรือทำตามได้ยาก แนวคิดในการคิดค้นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ แนะนำให้นักศึกษาเรียนหลักสูตรระยะสั้นเพิ่มเติม เช่น อบรมการจัดทำระบบอุตสาหกรรม ISO45000 ความรู้ด้านกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง การบรรยายโดยผู้เชี่ยวชาญ/อาจารย์ภายนอก/ศิษย์เก่า ในเรื่องที่เป็นประโยชน์เกี่ยวข้อง เช่น อาจารย์จากคณะบริหารธุรกิจ ผู้เชี่ยวชาญ/ศิษย์เก่าที่มีประสบการณ์การทำ startup
- มหาวิทยาลัยและหน่วยงานภาครัฐให้การสนับสนุนโครงการความร่วมมือระหว่างอาจารย์จากคณะ/ภาควิชาต่าง ๆ เช่น คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ภาควิชาต่าง ๆ อาจตั้งเป็นชมรม เช่น KMITL-iGEM, CU-iGEM, MU-iGEM รวมนักศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก โดยมีอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมผลักดันและพัฒนาโครงการร่วมกัน เป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างสังคมวิจัยที่มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้แนวคิดซึ่งกันและกัน เตรียมความพร้อมให้มีความรู้หรือทักษะที่จะต่อยอดทาง synthetic biology
- แนวทางการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความสามารถเพิ่มขึ้น up-skill, re-skill ในระยะเวลาสั้น เช่น การศึกษาผ่านหลักสูตรระยะสั้น การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ และการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระดับนานาชาติ

การวิจัย/ทุนวิจัย:

- การผลักดัน synthetic biology ของประเทศให้ก้าวหน้าและสร้างผลกระทบให้เกิดขึ้นได้จริง ต้องการการสนับสนุนทุนวิจัยต้นน้ำ/basic research อย่างต่อเนื่องด้วยระยะเวลาและงบประมาณที่เหมาะสมกับการพัฒนาบุคลากรวิจัย เพื่อสร้างองค์ความรู้และเทคโนโลยีฐานให้กับประเทศ สร้างให้เกิดผลงานเชิงประจักษ์ในสังคมวิชาการ ผ่านการตีพิมพ์บทความวิชาการในวารสารระดับนานาชาติ และเป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างความร่วมมือวิจัยกับภาคส่วนต่าง ๆ อันจะนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์และประยุกต์ใช้ประโยชน์ในอนาคตระยะยาว โดยมีแนวทางการกำหนดดัชนีชี้วัดความสำเร็จของการตั้งเป้าหมายในการสนับสนุน

ทุนวิจัย เช่น จำนวนบทความตีพิมพ์ การสร้างความสามารถทางเทคโนโลยีที่ทำให้ต้นทุนลดลง ใช้ระยะเวลาในการพัฒนาสั้นลง

- แหล่งทุนควรสนับสนุนงานวิจัยพื้นฐานที่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เป็น common knowledge ที่เข้าถึงและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง เช่น เครื่องมือ sequencing analysis, chemical analysis, ฐานข้อมูลเซลล์ จุลินทรีย์ หรือ คลังโปรโมเตอร์ เป็นต้น
- การทำงานวิจัยร่วมกันระหว่างมหาวิทยาลัยในและต่างประเทศ ช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ ความเชี่ยวชาญ การเข้าถึงเครื่องมือ ทำให้การวิจัยก้าวหน้าและเพิ่มโอกาสประสบความสำเร็จมากขึ้น
- ความเข้าใจของ funding agency เกี่ยวกับ synthetic biology มีส่วนสำคัญที่จะช่วยผลักดันให้มีการทุ่มงบประมาณสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ พัฒนาเทคโนโลยีฐาน หรือ frontier research เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก synthetic biology ต้องการข้อมูลพื้นฐานจาก basic research ค่อนข้างมาก เพื่อนำไปต่อยอด จึงควรเพิ่มสัดส่วนทุนพื้นฐาน เพื่อให้นักวิจัยรุ่นใหม่มีโอกาสสร้างฐานที่จะต่อยอดไปสู่งานตอบโจทย์กลยุทธ์ได้ โดยระยะแรกอาจปรับสัดส่วนการสนับสนุนทุน Fundamental Fund (FF) : Strategic Fund (SF) เป็น 80:20 แล้วจึงค่อย ๆ ปรับสัดส่วนเป็น 70:30, 60:40, 50:50 เป็นต้น
- ทุนสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ ควรปรับเกณฑ์คุณสมบัติผู้มีสิทธิ์สมัครขอทุนให้อยู่ในระดับที่ไม่สูงเกินไป เพื่อเปิดโอกาสให้นักวิจัยได้ริเริ่มงานวิจัยที่มีความคิดสร้างสรรค์ หรืองานวิจัยที่มีความท้าทาย

โครงสร้างพื้นฐาน:

- การสนับสนุนงบประมาณค่าซ่อมแซมเครื่องมือและอุปกรณ์ มีส่วนช่วยให้การเรียนการสอนและการวิจัยมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้อาจสนับสนุนค่าซ่อมแซมครุภัณฑ์เป็นแพ็กเกจที่มาพร้อมกับงบประมาณสนับสนุนการจัดซื้อครุภัณฑ์ หรือ เพิ่มสัดส่วนหมวดงบประมาณค่าซ่อมแซมครุภัณฑ์ภายใต้ทุน FF เพื่อรองรับค่าเดินทางสำหรับเจ้าหน้าที่ให้บริการซ่อมแซมครุภัณฑ์ที่กระจายอยู่ตามภูมิภาค
- พื้นฐานงาน synthetic biology ส่วนหลักคือการทำงานด้าน molecular biology ร่วมกับงานวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เครื่องมือเพื่อการวิจัยที่มีอยู่ตามสถาบันต่าง ๆ สามารถนำมาใช้ได้ เครื่องมือพื้นฐาน เช่น High throughput (HTP) ในระยะแรกอาจไม่จำเป็นต้องลงทุนทุกหน่วยงาน แต่ควรพัฒนาให้มีกลไกการเข้าถึงเครื่องมือ เช่น หน่วยงานที่มีเครื่องมือเปิดเป็นงานให้บริการวิชาการ หรือ สร้างความร่วมมือวิจัยระหว่างหน่วยงาน โดยมีการจัดทำสัญญารักษาความลับ (NDA) เพื่อความเป็นมืออาชีพในการให้บริการ และควรมีแพลตฟอร์มรวบรวมข้อมูลเครื่องมือที่สามารถเข้าถึงได้ ทั้งนี้แหล่งทุนควรให้การสนับสนุนทุนวิจัยที่ครอบคลุมค่าใช้จ่ายสำหรับจ่ายค่าขอใช้เครื่องมือให้กับหน่วยงานให้บริการ เพื่อช่วยให้หน่วยงานเหล่านั้นสามารถนำไปบริหารจัดการใช้เป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาเครื่องมือต่อไป ซึ่งนอกจากจะช่วยเปิดโอกาสให้บุคลากรวิจัยเข้าถึงเครื่องมือ ยังเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์โครงสร้างพื้นฐานที่มีในปัจจุบันให้เต็มสมรรถภาพ
- การสร้างให้มี national biofoundry/ central facility ให้บริการการวิศวกรรมจุลินทรีย์หรือองค์ประกอบทางชีวภาพ รองรับงานวิจัยหรือความต้องการที่หลากหลาย มีระบบบริหารจัดการ การรักษาความลับและกรรมสิทธิ์ข้อมูล จะช่วยผลักดันงานด้าน synthetic biology ของประเทศ เพิ่มความสามารถในการพัฒนาธุรกิจที่มีความต้องการใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ เปิดโอกาสให้กลุ่มบริษัทสตาร์ทอัพ เข้าถึงเทคโนโลยีในการพัฒนาเชื้อ โดยไม่ต้องลงทุนสร้างแพลตฟอร์มตั้งแต่เริ่มต้น ทั้งนี้ควรพิจารณาข้อมูลให้ครอบคลุม

ตลอดห่วงโซ่การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่กำลังคน นักวิจัยวิจัย ช่างเทคนิค ผู้ประสานงาน ผู้บริหารจัดการ central facility ปริมาณโจทย์วิจัย/งานวิจัยในประเทศ (supply) และปริมาณความต้องการ (demand) จากผู้ประกอบการหรือภาคเอกชน วิธีกระตุ้นให้มีผู้ใช้บริการอย่างต่อเนื่อง เช่น ความคุ้มค่า ราคาต้นทุนที่ต่ำลง ความสะดวกในการใช้บริการ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจรูปแบบที่เหมาะสมหรือของที่ต้องลงทุนสำหรับประเทศไทย เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์สูงสุด

- เทคโนโลยีที่จะช่วยขับเคลื่อน synthetic biology ในประเทศไทย ได้แก่ 1) gene synthesis technology 2) sequencing technology 3) enzyme หรือ molecular reagent 4) คอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมาก ช่วยให้การนำ machine learning มาใช้ในการออกแบบและทำนายคุณสมบัติของโปรตีน เช่น ออกแบบให้เอนไซม์ทำงานเร็วขึ้น หรือมีคุณสมบัติที่ต้องการ
- การจัดทำฐานข้อมูลจุลินทรีย์ที่เชื่อมโยงกับคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการใช้แหล่งคาร์บอน ความสามารถในการผลิตสารเมทาบอไลท์ จะช่วยในการเลือกใช้โฮสต์จากศูนย์ชีววัสดุประเทศไทย (TBRC) ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว

กลไกสนับสนุน:

- การผลักดันให้มีกลไกการสนับสนุนธุรกิจที่เกี่ยวข้องจากภาครัฐ (startup หรือ SME) อาจเป็นหนึ่งในแนวทางการเพิ่มตลาดแรงงานสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี/โท/เอก ซึ่งจะทำให้มีนักศึกษาที่สนใจสมัครเรียนในหลักสูตรเพิ่มมากขึ้น
- การให้ทุนสนับสนุนการจัดประกวดโครงการ SynBio Pitching และมีกลไกผลักดันเป็นธุรกิจรองรับ บ่มเพาะให้เกิดเป็นบริษัท startup จะช่วยขับเคลื่อนให้เกิดการแข่งขันการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ จาก synthetic biology ภายในประเทศ
- การสร้างความร่วมมือกับภาคเอกชนด้วยโจทย์ความต้องการที่ชัดเจนจะช่วยเพิ่มโอกาสผลักดันการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ synthetic biology ออกสู่เชิงพาณิชย์ได้เร็วขึ้น ทั้งนี้แนวทางการดำเนินงานร่วมกับเอกชนซึ่งต้องการให้เกิดผลลัพธ์ภายในระยะเวลาจำกัด คือการให้ข้อมูลแผนงานวิจัยและระยะเวลาการดำเนินงานโดยละเอียด ขอบเขตของข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอน เพื่อประเมินความเสี่ยงและโอกาสประสบผลสำเร็จ สร้างความเข้าใจแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงและผลลัพธ์ที่คาดหวังได้ในแต่ละระดับ นอกจากนี้ ผู้ประสานการเชื่อมโยงระหว่างนักวิจัย และ stakeholder หรือนักลงทุน ที่มีทักษะการสื่อสารที่ดี มีส่วนช่วยให้ stakeholder หรือนักลงทุน เห็นความสำคัญของ synthetic biology ซึ่งมีขั้นตอนในการพัฒนาและใช้ระยะเวลาในการสร้างให้เกิดผลกระทบ
- การร่วมวิจัยกับภาคเอกชน โดยบริษัทเอกชนสนับสนุนงบประมาณแบบ in-cash มีความสำคัญ แสดงให้เห็นถึงความต้องการนำไปใช้จริง ทั้งนี้อาจทำเป็น package การสนับสนุนทุนวิจัยร่วมกับภาคเอกชน โดยกำหนดสัดส่วนการสนับสนุน in-cash และสิทธิ์ที่บริษัทจะได้รับในระดับต่าง ๆ ไว้เป็นมาตรฐานหรือแนวทางการเจรจาสำหรับนักวิจัยที่เริ่มสร้างความร่วมมือกับภาคเอกชนต่อไป
- การวางแผนกลยุทธ์ IP strategies เพื่อหลีกเลี่ยงการละเมิด และวางแผนการจด IP ตั้งแต่ก่อนเริ่มดำเนินงานวิจัยมีความสำคัญต่อการผลักดันการวิจัยสู่เชิงพาณิชย์

- ความร่วมมือของ SynBio Consortium ประเทศไทย ควรมีการผลักดันงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีเป้าหมายชัดเจนและได้ประโยชน์ร่วมกัน และควรมีผู้จัดการโปรแกรมฯ ที่สามารถผนวกรวมคนต่างสาขาให้ทำงานร่วมกันภายใต้วัตถุประสงค์เดียวกันได้
- มีหน่วยงานรับผิดชอบการสร้าง platform technology (pre-competitive program) ที่มีงบประมาณและการติดตามที่เหมาะสม เพื่อให้ประเทศมีโอกาสให้ภาคอุตสาหกรรมได้ใช้เทคโนโลยีที่ประเทศไทยเป็นเจ้าของ ลดค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปกับค่าเทคโนโลยีต่างประเทศ

การสื่อสารเพื่อสร้างความเข้าใจและเห็นประโยชน์ของชีววิทยาสังเคราะห์

- การประชาสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง สื่อสารให้เห็นข้อจำกัดเทคโนโลยีปัจจุบันและข้อดีของ synthetic biology ที่สามารถช่วยตอบโจทย์/แก้ปัญหาดังกล่าว ใช้เพิ่มมูลค่าให้กับความหลากหลายทางชีวภาพซึ่งเป็นต้นทุนของประเทศ แสดงให้เห็นความสำคัญของ synthetic biology ในการพัฒนาประเทศอันจะนำไปสู่การสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจ โดยยกตัวอย่างกรณีศึกษาให้เห็นภาพ จะช่วยให้เกิดการรับรู้ ยอมรับ และเห็นประโยชน์เป็นลำดับ รวมทั้งเป็นแรงขับเคลื่อนให้มีการสนับสนุนงบประมาณ/ทุนวิจัยในด้านนี้เพิ่มมากขึ้น
- นอกจากนี้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดจาก genetic engineering หรือ synthetic biology บางผลิตภัณฑ์จัดว่าเป็น GM จึงควรแสดงให้เห็นว่าการนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปใช้ไม่ส่งผลเสีย เทคโนโลยีไม่ปนเปื้อนในธรรมชาติ หรือมีวิธีการควบคุมเพื่อให้มั่นใจว่าไม่ส่งผลกระทบต่อ คน สัตว์ สิ่งแวดล้อม

Regulation และการเตรียมการ

- เนื่องจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือสิ่งมีชีวิตที่มี genetic material เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับ GMO ดังนั้น regulation ที่ใช้กับ modern biotechnology สามารถใช้ได้กับ synthetic biology
- เตรียมการด้าน regulation สำหรับผลิตภัณฑ์ที่จะออกสู่เชิงพาณิชย์ ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการดัดแปลงแบบไม่จำเพาะเจาะจง เช่น adaptive evolution เกิดกลายพันธุ์แบบสุ่ม บางประเทศไม่จัดเป็น GMO แต่หากมี target gene เป้าหมายในการปรับปรุงพันธุ์ บางประเทศจัดว่าเป็น GM
- ปัจจุบัน AI เริ่มเข้ามามีบทบาทในทุกด้าน จึงควรคำนึงถึงประเด็นด้านจริยธรรมการวิจัย ความปลอดภัยทางชีวภาพ และความมั่นคงทางชีวภาพด้วย

นอกจากกำลังคนที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ที่ผลิตภายในประเทศ ยังมีกลุ่มนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำลังศึกษา สาขา Synthetic Biology ที่อยู่ระหว่างการศึกษาและจะกลับมาดำเนินงานภายในปี พ.ศ. 2566 - 2570 ณ ต้นสังกัด จำนวน 11 คน ซึ่งหน่วยงานต้นสังกัดต้องมีนโยบายรองรับนักเรียนทุนเหล่าให้เริ่มดำเนินงานได้ตามแผนที่ได้วางไว้

ตารางที่ 2-5: รายชื่อนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำลังศึกษา สาขา Synthetic Biology*

ชื่อ-นามสกุล	ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา	หน่วยงานต้นสังกัด	สถานศึกษา	ประเทศที่ศึกษา	สาขาวิชาที่ศึกษา	สาขาวิชาที่เน้นให้ศึกษา
1. กฤตนัย ตรีสกุลวัฒนา	2570	ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (ทุนสนับสนุน EECi)	University College London	สหราชอาณาจักร	Synthetic Biology (Computer-Aided Design of Biological System /Advanced Genetic/ Molecular Engineering/ Metabolic Engineering)	Synthetic Biology
2. จตุพร สยามพันธ์	2570	สาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม	Newcastle University	สหราชอาณาจักร	จุลชีววิทยา (Microbiology)	ความหลากหลายและการระบุชนิดของจุลินทรีย์/ อนุกรมวิธาน/ Anaerobic Waste Water/ Waste Treatment/ Synthetic Biology in Food Microbiology
3. ชนิกานต์ ศรีนาค	2566	ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (ทุนสนับสนุน EECi)	Helmholtz Centre Munich Ludwig Maximilian, University of Munich	เยอรมนี	Synthetic Biotechnology	Cellular Engineering/ Systems Biology
4. ธนพร อัศวพัฒนากูล	2569	สำนักวิชาการ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	University of Veterinary Medicine Hanover	เยอรมนี	วิทยาศาสตร์การสัตวแพทย์	Biomedical Sciences/ Veterinary Clinical Sciences/Reproductive Biotechnology/ Synthetic biology/ Chemical biology

ชื่อ-นามสกุล	ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา	หน่วยงานต้นสังกัด	สถานศึกษา	ประเทศที่ศึกษา	สาขาวิชาที่ศึกษา	สาขาวิชาที่เน้นให้ศึกษา
5. ธนัชพร หวานชะเอม	2570	ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	University College London	สหราชอาณาจักร	Synthetic Biology	
6. พัทธเสมา จับศิลป์	2571	สาขาวิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย นราธิวาสราชนครินทร์	University of Warwick	สหราชอาณาจักร	Synthetic Biology	การศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์
7. พิชาญา ธงสุวรรณ (ชีวพูนผล)	2569	คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร	Wageningen University & Research	เนเธอร์แลนด์	Synthetic Biology	Synthetic Biology in Agriculture
8. ภัทรสุดา ไชยสุภา	2569	ภาควิชาชีวเภสัชศาสตร์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร	Virginia Polytechnic Institute and State University	สหรัฐอเมริกา	เทคโนโลยีชีวภาพ/ยา วัคซีน	Synthetic Biology (ยาชีววัตถุ-วัคซีน)
9. วริทธิ์ธร ธนกาญจน์	2570	ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (EECi)	University College London	สหราชอาณาจักร	ชีววิทยาสังเคราะห์ (Synthetic Biology)	วิศวกรรมจุลินทรีย์ในการพัฒนาจุลินทรีย์เพื่อผลิตสารชีวเคมีภัณฑ์และสารเคมีชีวภาพชนิดต่างๆ ซึ่งรวมถึงการศึกษาและออกแบบวิถีชีวเคมีในเซลล์โดยใช้ องค์ความรู้ด้านชีววิทยาสังเคราะห์ และการพัฒนาชีวกระบวนการสำหรับจุลินทรีย์ที่พัฒนาขึ้น

ชื่อ-นามสกุล	ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา	หน่วยงานต้นสังกัด	สถานศึกษา	ประเทศที่ศึกษา	สาขาวิชาที่ศึกษา	สาขาวิชาที่เน้นให้ศึกษา
10. วิศาสตร์ แซ่ลี้	2567	ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ	University of Texas at Austin	สหรัฐอเมริกา	Chemical Biology	Molecular Biology/ Study and Synthesis of Bioactive Molecules
11. ษตภรณ์ ปุระเสาร์	2569	คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร	University College London	สหราชอาณาจักร	นาโนเทคโนโลยี	Biomedical Engineering/ Synthetic Biology/ Molecular Targeting/ Systemic Nanodelivery

*ข้อมูลจากฝ่ายนักเรียนทุนรัฐบาลด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (GSTS)

2.4 ความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์จากการวิเคราะห์ฐานข้อมูลสิทธิบัตร

การวิเคราะห์ความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์จากการวิเคราะห์ฐานข้อมูลสิทธิบัตรในรายงานฉบับนี้ ดำเนินการโดยการรวบรวมและประมวลผลจากฐานข้อมูลสิทธิบัตร (Patent database) ดังนี้

1. ฐานข้อมูลสิทธิบัตรที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูล ประกอบด้วย 1) ฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ (Commercial Database) ได้แก่ Derwent Innovation (DI) และ Innography [21] และ 2) ฐานข้อมูลสิทธิบัตรของกรมทรัพย์สินทางปัญญา ประเทศไทย (Department of Intellectual Property, DIP) เพื่อให้การสืบค้นครอบคลุมทั้งในระดับนานาชาติและประเทศไทย
2. คำสำคัญ (keywords) ที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูลในรายงานฉบับนี้ ประกอบด้วยการทดลองใช้คำสำคัญจำนวน 8 ชุดในขั้นต้น และได้คัดเลือกชุดคำสำคัญที่เหมาะสมที่สุดเพียง 1 ชุด สำหรับการสืบค้นข้อมูลระดับนานาชาติที่จะสะท้อนภาพของเรื่องชีววิทยาสังเคราะห์ได้มากที่สุด เพื่อนำไปประมวลผลและนำเสนอข้อมูลแนวโน้มในด้านต่าง ๆ
3. ระยะเวลาการสืบค้นข้อมูลย้อนหลัง 25 ปี (ค.ศ. 1998 - 2023)

จากที่กล่าวข้างต้น อันดับแรกเป็นการคัดเลือกชุดคำสำคัญ (keywords) ที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรเพื่อให้สะท้อนภาพชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) มากที่สุด เพื่อนำผลการสืบค้นจากชุดคำสำคัญดังกล่าวไปวิเคราะห์และนำเสนอเป็นข้อมูลแนวโน้มหรือทิศทางด้านต่าง ๆ จากข้อมูลสิทธิบัตรที่สืบค้นพบ ทั้งนี้ การทดสอบด้วยการใช้คำสำคัญหลายชุด เนื่องจาก 1) คำสำคัญชุดที่ 1 ที่สืบค้นด้วยคำว่า “synthetic biology” เพียงคำเดียวสำหรับการสืบค้นฐานข้อมูลจากทั่วโลก หรือคำสำคัญชุดที่ 2-6 ที่สืบค้นด้วยคำว่า “synthetic biology” ร่วมกับคำอื่นไม่สามารถครอบคลุมขอบเขตและนิยามของ synthetic biology ได้ สาเหตุส่วนหนึ่งเป็นเพราะบางประเทศไม่ใช้คำนี้ (อาจใช้คำว่า engineering biology แทน) นิยามของเรื่องนี้มีความหมายรวมถึงศาสตร์หลากหลายสาขา อีกทั้งลักษณะเฉพาะของการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตร ผู้ขอฯ มักจะเลี่ยงการใช้คำที่ตรงกับเนื้อหาเพื่อหลบเลี่ยงคู่แข่งมิให้สืบค้นพบข้อมูล ซึ่งเป็นกลยุทธ์ทางทรัพย์สินทางปัญญาที่มีใช้กันโดยทั่วไป 2) คำสำคัญชุดที่ 8 เป็นการสืบค้นในฐานข้อมูลกรมทรัพย์สินทางปัญญา ประเทศไทย (DIP) จำเป็นต้องปรับคำสำคัญในการสืบค้นเป็นภาษาไทยเป็นหลักควบคู่กับการใช้ภาษาอังกฤษบางส่วน อีกทั้งการที่ประเทศไทยตามหลังการพัฒนาในเรื่องนี้เมื่อเทียบกับต่างประเทศ ดังนั้น จำเป็นต้องเลือกใช้คำสำคัญให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย เกณฑ์ในการคัดเลือกชุดคำสำคัญที่ดีที่สุด คือ ต้องเป็นคำสำคัญที่ให้ผลการสืบค้นที่สะท้อนภาพชีววิทยาสังเคราะห์มากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2-6

[21] Derwent Innovation (DI) และ Innography เป็นฐานข้อมูลที่ครอบคลุมข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติจากทั่วโลก (รวมประเทศไทย) ส่วนการสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรโดยตรงในฐานข้อมูลกรมทรัพย์สินทางปัญญา ประเทศไทย จะได้ข้อมูลการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรของคนไทยเพื่อคุ้มครองสิทธิในประเทศไทย และคนชาติอื่นที่ยื่นคำขอฯ ในประเทศไทย ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สมบูรณ์กว่าการสืบค้นจากฐานข้อมูลอื่น ๆ เนื่องจากฐานข้อมูลอื่นอาจมีการปรับข้อมูลใหม่ล่าช้ากว่า ไม่เทียบเท่ากับฐานข้อมูลของประเทศไทยโดยตรง อีกทั้งอาจมีข้อจำกัดในการแปลภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษที่ไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 2-6: แสดงชุดคำสำคัญที่ใช้ในการสืบค้นและผลที่ได้จากการสืบค้นสิทธิบัตรเบื้องต้นของแต่ละชุดคำสำคัญ

คำสำคัญชุดที่	ลักษณะคำสำคัญ	จำนวนสิทธิบัตร (เรื่อง) ค.ศ. 1998-2023	ตัวอย่างเทคโนโลยีที่พบ	อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
1	ใช้คำตรง คือ **“synthetic biology” คำเดียว**	659	กลุ่มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาจุลินทรีย์การหมัก การพัฒนาส่วนสนับสนุนการผลิต เช่น โปรโมเตอร์ เอนไซม์ โปรแกรม เครื่องมือเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล การออกแบบ การสร้างโมเลกุลชีวภาพ การวิเคราะห์โปรตีน ระบบแพลตฟอร์ม	เทคโนโลยีที่มีการนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการแพทย์ ด้วยการพัฒนาเชื้อจุลินทรีย์สำหรับใช้ในกระบวนการผลิต
2	ใช้คำว่า **“synthetic biology” ร่วมกับกลุ่มคำอื่น** ในสาขา (discipline) ที่เกี่ยวข้อง, เครื่องมือ (tools) ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology, กลุ่มคำจากความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ และกลุ่มคำที่พบจากการสืบค้นจากคำสำคัญชุดที่ 1	2,434	กลุ่มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาจุลินทรีย์การหมัก การพัฒนาส่วนสนับสนุนการผลิต เช่น โปรโมเตอร์ เอนไซม์ โปรแกรม เครื่องมือเพื่อออกแบบการวิเคราะห์โปรตีน การออกแบบโปรตีน เซลล์เจ้าบ้านการผลิตเส้นใยบะซอลต์	เทคโนโลยีที่มีการนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการแพทย์ ด้วยการพัฒนาเชื้อจุลินทรีย์สำหรับใช้ในกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมผลิตวัตถุดิบเพื่อการก่อสร้าง
3	**ใช้หลักการเดียวกับชุดที่ 2** โดยเพิ่มเติมคำสำคัญที่เกี่ยวกับ **gene expression, vector, promoter** เข้าไปที่เครื่องมือ (tools) ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology	1,284	กลุ่มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาจุลินทรีย์การหมัก การปรับปรุงพืชต่อต้านโรค การพัฒนาส่วนสนับสนุนการผลิต เช่น เวกเตอร์ การน็อคเอาท์ ระบบที่มีการควบคุมการแสดงออกของยีน (Programmable Expression System) เชื้อที่มีคุณสมบัติการต้าน	เทคโนโลยีที่มีการนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเกษตร ด้วยการพัฒนาพืชต้านโรค อุตสาหกรรมด้านเครื่องมือ อุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศ
4	**ใช้หลักการเดียวกับชุดที่ 2** โดยเพิ่มเติมคำสำคัญที่เกี่ยวกับ **gene editing** เข้าไปในส่วนเครื่องมือ (tools) ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology	54,966	กลุ่มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาจุลินทรีย์การหมัก การพัฒนาส่วนสนับสนุนการผลิต เช่น เวกเตอร์ การควบคุมพาหนะ การตรวจสอบการทำงานของชิ้นส่วนพาหนะ เทคโนโลยีเกี่ยวกับเจเนติกอัลกอริทึม เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เทคโนโลยีด้านเกม	เทคโนโลยีที่มีการนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมด้านเครื่องมืออุปกรณ์ เทคโนโลยีสารสนเทศ อุตสาหกรรมรถยนต์พาหนะไร้คนขับ

คำสำคัญชุดที่	ลักษณะคำสำคัญ	จำนวนสิทธิบัตร (เรื่อง) ค.ศ. 1998-2023	ตัวอย่างเทคโนโลยีที่พบ	อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
5	ใช้คำตรง คือ **“synthetic biology” และ “engineering biology”**	776	กลุ่มเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาจุลินทรีย์ การหมัก การพัฒนาส่วนสนับสนุนการผลิต เช่น พลาสมิด อุปกรณ์ Microfluidic	เทคโนโลยีที่มีการนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมด้านอุปกรณ์
6	ใช้คำว่า **“synthetic biology” และ “engineering biology” เป็นคำหลักในการสืบค้น ร่วมกับกลุ่มคำอื่น**ในสาขา (discipline) ที่เกี่ยวข้อง, เครื่องมือ (tools) ที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology ที่มีกลุ่มคำเกี่ยวกับ gene editing อยู่ด้วย, กลุ่มคำจากความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ และกลุ่มคำที่พบจากการสืบค้นจากคำสำคัญชุดที่ 1	700	กลุ่มเทคโนโลยีการพัฒนาจุลินทรีย์ การหมัก การพัฒนาส่วนสนับสนุนการผลิต เช่น โปรโมเตอร์ พลาสมิด การวิเคราะห์โปรตีน อุปกรณ์ Microfluidic เทคโนโลยี HTP genome engineering platform เทคโนโลยีเกี่ยวกับการจำลอง (simulation)	เทคโนโลยีที่มีการนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมด้านคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น IBM
7	**ใช้หลักการเดียวกับชุดที่ 6** โดย**เพิ่มเติมการสืบค้นด้วยระบบ IPC**[22] ในกลุ่ม A61 (medical or veterinary science; hygiene) C12 (biochemistry; beer; spirits; wine; vinegar; microbiology; enzymology; mutation or genetic engineering) C07 (organic chemistry) และมีการ**ปรับเปลี่ยนคำสืบค้นร่วมเพิ่มเติม**	1,524	กลุ่มเทคโนโลยีการพัฒนาจุลินทรีย์ การหมัก การพัฒนาส่วนสนับสนุนการผลิต เช่น เวกเตอร์ พลาสมิด เทคโนโลยีการสร้างเชื้อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องเทคโนโลยี HTP genome engineering platform	เทคโนโลยีที่มีการนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น Zymergen

[22] รหัสสัญลักษณ์การประดิษฐ์ **IPC**: International Patent Classification เป็นสัญลักษณ์จำแนกหมวดหมู่การประดิษฐ์ระหว่างประเทศ ตัวอย่างเช่น A Human Necessities (สิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์) C Chemistry; Metallurgy (เคมี วิธีการแยกโลหะออกจากแร่) เป็นต้น (ที่มา: https://std.moc.go.th/std/group/158) การใช้ IPC ร่วมในการสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรจะช่วยให้การสืบค้นตรงกับด้านที่ต้องการมากขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือตัดข้อมูลในสาขาที่ไม่ตรงกับข้อมูลที่ต้องการที่ปะปนเข้ามาได้มากขึ้น

คำสำคัญชุดที่	ลักษณะคำสำคัญ	จำนวนสิทธิบัตร (เรื่อง) ค.ศ. 1998-2023	ตัวอย่างเทคโนโลยีที่พบ	อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
8	ใช้คำว่า **“synthetic biology”, “ชีววิทยาสังเคราะห์” ร่วมกับคำภาษาไทยอื่น**ที่น่าจะเกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ และ**ชื่อนักวิจัยไทย**ที่ทำงานด้านนี้	N/A	กลุ่มเทคโนโลยีฐานของ modern biotechnology เช่น การสร้าง รีคอมบิแนนท์ การปรับปรุงพันธุกรรม เป็นต้น	หน่วยงานในประเทศไทยยื่นคำขอฯ ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีชีวภาพ

หมายเหตุ: ใช้คำสำคัญชุดที่ 1 - 7 สืบค้นในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ ซึ่งในการสืบค้นครั้งนี้ใช้ฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ Derwent Innovation (DI) และ Innography และใช้คำสำคัญชุดที่ 8 สืบค้นในฐานข้อมูล กรมทรัพย์สินทางปัญญา ประเทศไทย

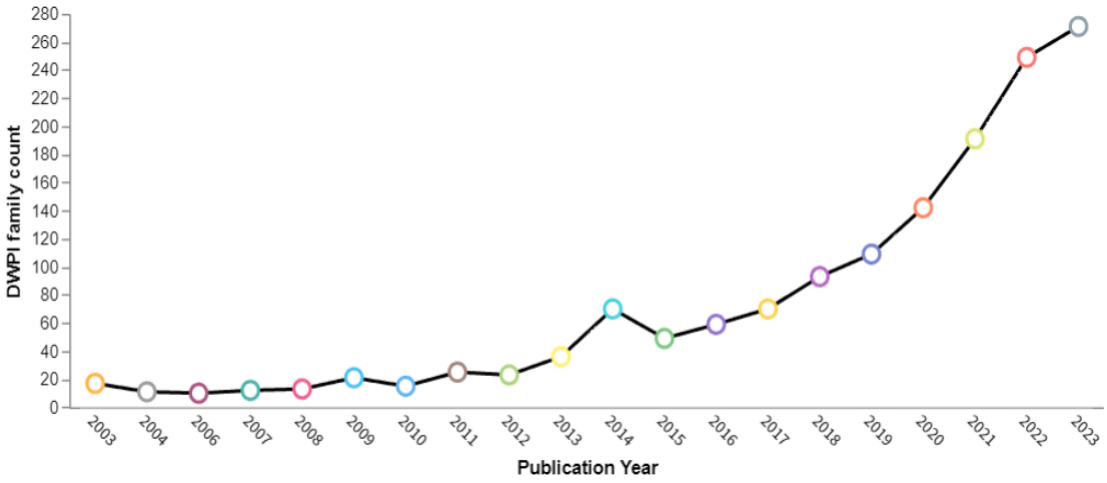
จากตารางที่ 2-6 เมื่อพิจารณาชุดคำสำคัญที่ 1 - 6 ที่ใช้ในการสืบค้นฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติ พบว่าบางชุดคำสำคัญให้ผลการสืบค้นที่ไม่ครอบคลุมเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เมื่อเทียบกับข้อมูลจากวารสารวิชาการที่พบ และบางชุดคำสำคัญให้ผลการสืบค้นที่ประกอบด้วยเทคโนโลยีที่ไม่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ปะปนเข้ามา ขณะที่คำสำคัญชุดที่ 7 มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ผลการสืบค้นที่ครอบคลุมขอบเขตและสะท้อนภาพชีววิทยาสังเคราะห์มากที่สุด อีกทั้งมีการใช้ IPC ร่วมในการสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรเพื่อตัดข้อมูลในสาขาอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องซึ่งปะปนเข้ามาได้มากขึ้น ดังนั้น ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในเชิงลึกในแง่มุมต่าง ๆ ในลำดับต่อไปจะยึดการใช้คำค้นของชุดที่ 7 ในการสืบค้นฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติ และใช้คำสำคัญชุดที่ 8 สืบค้นในฐานข้อมูลสิทธิบัตรกรมทรัพย์สินทางปัญญา ประเทศไทย เพื่อการศึกษาข้อมูลสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ในเชิงลึกต่อไป ดังนี้

2.4.1 สถานภาพการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก

จากที่กล่าวข้างต้นผลการศึกษาส่วนนี้ได้มาจากการเลือกใช้คำสำคัญชุดที่ 7 ร่วมกับ IPC ในกลุ่ม A61, C12 และ C07 ดังแสดงในตารางที่ 2-6 ในการสืบค้นฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติ ซึ่งภายใต้ฐานข้อมูลนี้มีฐานข้อมูลทั้งของต่างประเทศและของประเทศไทยรวมอยู่ด้วย โดยคำสำคัญชุดที่ 7 ประกอบด้วย “synthetic biology และ engineering biology” เป็นคำสืบค้นหลัก ร่วมกับกลุ่มคำอื่นที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ ได้แก่ “algorithm, deep learning, machine learning, artificial intelligence, AI, metabolic engineering, systems biology, protein engineering, saccharomyces cerevisiae, biotechnology, biosynthesis, genetic engineering, genome editing, directed evolution, crispr, gene expression, genome engineering, DNA, assembly, optogenetics, cell free protein, bioengineering, quorum sensing, genetic circuits, heterologous expression, self assembly, genetic code expansion, bioinformatic, transcription factor, cell free, gene circuit, RNA, microbial cell factory, protein design, gene therapy, pathway engineering, molecular biology, protein expression, metabolomic, enzyme engineer, corynebacterium glutamicum, synthetic cell, microbial cell factor, gene regulatory network, cell factory, molecular communication, bottom up, biomanufacturing, high throughput, artificial life, artificial part, genome mining, DNA nanotechnology, mathematical model, biosafety, biosynthetic pathway, computational biology, homologous recombination, transcriptional regulation, DNA synthesis, iGEM, promotor engineer, microbiome engineer, genetic transformation, microbio engineer, minimal genome, regulatory circuit, orthogonal biosystem, bionanoscience, bionano science transgene, circuit biology, genome engineer, gene drive, reprogrammable cell, programmable, design, build, artificial, engineer, modula, omics, machine learning, deep learning, predict, database, data, library, communication data network, image, computational molecular biology, artificial intelligence” ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในด้านต่าง ๆ จากการใช้กลุ่มคำสำคัญข้างต้นในการสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตรนานาชาติ เป็นดังนี้

(1) แนวโน้มการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตร

การศึกษาข้อมูลแนวโน้มการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตร ชี้ให้เห็นว่าทั่วโลกมีการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรเกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เพิ่มขึ้น โดยในระยะแรก ช่วงปี ค.ศ. 2003-2013 ยังมีจำนวนน้อย จากนั้นตั้งแต่ภายหลังปี ค.ศ. 2013 เป็นต้นมา เริ่มมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน โดยปริมาณการยื่นคำขอสิทธิบัตรปี ค.ศ. 2013 มีจำนวน 40 DWPI Patent family[23] และเพิ่มเป็นจำนวน 280 DWPI Patent family ในปี ค.ศ. 2023 อัตราการขยายตัวคิดเป็น 600 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพแนวโน้มการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ทั่วโลกรายปี (Patent publishing trends) (รูปที่ 2-28)



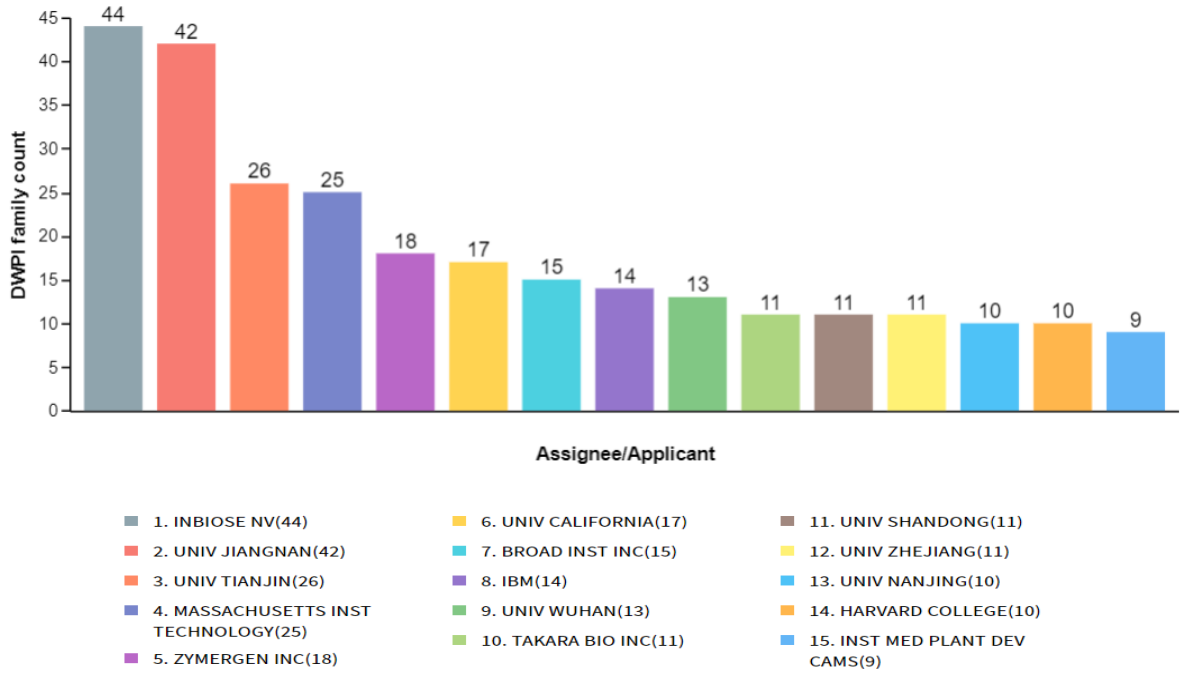
รูปที่ 2-28: แนวโน้มการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ทั่วโลกรายปี (Patent publishing trends)

ที่มา: ฐานข้อมูล Derwent Innovation

(2) หน่วยงานที่ยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรมากที่สุด 10 อันดับแรก (Top 10 assignees)

การศึกษาข้อมูลหน่วยงานที่มีเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์มากที่สุด 10 อันดับแรกจากทั่วโลก (Top 10 assignees) ชี้ให้เห็นถึงหน่วยงานที่ยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรระดับแนวหน้าของโลก ซึ่งเป็นผู้นำทางด้านนี้ที่สำคัญในระดับนานาชาติ อาจจัดเป็นคู่แข่ง (Competitors) หรือพันธมิตรด้านเทคโนโลยี ดังแสดงในรูปที่ 2-29

[23] สิทธิบัตรเรื่องเดียวกันที่ยื่นขอรับความคุ้มครองในประเทศต่าง ๆ ถือเป็น DWPI Patent family เดียวกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ หลายคำขอสิทธิบัตรที่ยื่นในประเทศต่าง ๆ นับเป็น 1 เทคโนโลยีของ DWPI Patent family



รูปที่ 2-29: หน่วยงานที่ยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์มากที่สุด 10 อันดับแรก (Top 10 assignees) จากทั่วโลก

ที่มา: ฐานข้อมูล Derwent Innovation

จากรูปที่ 2-29 จัดลำดับหน่วยงานที่ยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด 10 อันดับแรกของโลก ได้ดังนี้

1. INBIOSE NV
2. UNIVERSITY JIANGNAN
3. UNIVERSITY TIANJIN
4. MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
5. ZYMERGEN INC
6. UNIVERSITY CALIFORNIA
7. BROAD INSTITUTE INC
8. IBM
9. UNIVERSITY WUHAN
10. TAKARA BIO INC /UNIVERSITY SHANDONG/ UNIVERSITY ZHEJIANG

จากข้อมูลข้างต้นได้มีการศึกษารายละเอียดของหน่วยงานหรือประเทศที่เป็นระดับแนวหน้าในการยื่นคำขอรับสิทธิบัตรด้านชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกเพิ่มเติมเพื่อเป็นกรณีศึกษา ดังนี้

INBIOSE NV, ประเทศเบลเยียม [24]

บริษัท INBIOSE NV เป็นภาคธุรกิจที่ยื่นคำขอสิทธิบัตรด้านนี้มากที่สุด โดยบริษัทดังกล่าวทำธุรกิจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหารและสุขภาพ เป้าหมายการดำเนินการในการพัฒนาและการผลิต Specialty Carbohydrate ขนาดใหญ่ และ Human Milk Oligosaccharide (HMO) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเชิงซ้อน โดยพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเซลล์และกระบวนการหมัก

ตัวอย่างการยื่นจดสิทธิบัตร

- SG11202251985A1 KDO-free production hosts for oligosaccharide synthesis
- WO2021160829A1 Viable bacterial host cell
- WO2023111141A1 Sialyl transferases for the production of sialylated oiligosaccharides
- WO2021160830A1 Glycominimized bacterial host cells
- WO2022034070A1 Production of a sialylated oiligosaccharides mixture by a cell
- ID202205555A Production of glycosyllation products in host cells
- WO2022219186A2 Fermentative production

ข้อสังเกต บริษัทขอรับความคุ้มครองส่วนของเทคโนโลยีที่สนับสนุนการดำเนินธุรกิจของบริษัท

สถาบันการศึกษา สถาบันวิจัยของสาธารณรัฐประชาชนจีน

จัดเป็นหน่วยงานที่พัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ในระดับชั้นแนวหน้า เช่น Jiangnan University,Tianjin University, Wuhun University, Shandong University, Zhejiang University, Nanjing University เป็นต้น ในที่นี้ได้แสดงตัวอย่างบางหน่วยงานที่น่าสนใจไว้ ดังนี้

Jiangnan University [25]

Jiangnan University เป็นหน่วยงานที่มีผลงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สนับสนุนการนำงานไปใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม หนึ่งในห้องปฏิบัติการของหน่วยงานนี้ คือ หน่วยงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารของมหาวิทยาลัย จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเซลล์และกระบวนการหมัก

ตัวอย่างการยื่นจดสิทธิบัตร

- CN113186142A *Escherichia coli* engineering strain for efficiently producing 2'-fucosyllactose
- CN114874966A Construction method and application of *Escherichia coli* engineering strain with high yield of 3 '-sialyllactose
- CN116606844A Construction and application of alpha-farnesene synthesized saccharomyces cerevisiae engineering bacteria
- CN112080440A *Saccharomyces cerevisiae* engineering bacteria for producing farnesene and application thereof

[24] ที่มา https://inbiose.com/en สืบค้นวันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2566

[25] ที่มา https://english.jiangnan.edu.cn/index.htm สืบค้นวันที่ 6 ธันวาคม 2566

Tianjin University [26]

Tianjin University มีการจัดเตรียมความพร้อมของฐานข้อมูลและกลไกสนับสนุนต่าง ๆ อาทิ SynBio research platform, SynBioML ห้องสมุดที่รวบรวมตัวอย่างสารชีวสังเคราะห์ ผู้สนใจสามารถค้นหาและนำไปใช้ออกแบบและสร้างได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย Synthetic Biology International Cooperation Joint Research Center รวมถึงพันธมิตรวิจัยในโครงการ Synthetic Yeast Genome มีเป้าหมายในการสร้างและออกแบบ eukaryotic genome โดยมี Yingjin Yuan เป็นผู้เชี่ยวชาญหลักด้านชีววิศวกรรม

ตัวอย่างการยื่นจดสิทธิบัตร

- CN107016520 A Information processing system and method based on synthetic biology sample entity storehouse
- CN105755028 A 4-hydroxyphenylglycolic acid producing engineering bacteria and construction method thereof

Massachusetts Institute of Technology (MIT), ประเทศสหรัฐอเมริกา [27]

MIT เป็นหนึ่งในมหาวิทยาลัยชั้นนำที่ให้ความสนใจเรื่องชีววิทยาสังเคราะห์ มีความพร้อมทั้งด้านโครงสร้างพื้นฐานและบุคลากร จัดตั้งคณะชีววิศวกรรม (MIT Department of Biological engineering: MIT BE) และมีศูนย์เฉพาะด้าน คือ The MIT Synthetic Biology Center (SBC) ผลงานวิจัยมีศักยภาพ ส่งต่อสู่ภาคอุตสาหกรรม สร้างรายได้ให้แก่มหาวิทยาลัยและผู้คิดค้นผลงาน ดังจะเห็นได้จากผลงานของ Prof. Dr. Robert S. Langer บุคลากร MIT ที่โดดเด่นและได้รับการยอมรับในวงการ มีการขอรับการคุ้มครองสิทธิบัตร การเผยแพร่ผลงานวิชาการ และการอนุญาตให้ใช้สิทธิในผลงานมากมาย [28] จึงถือเป็น**หน่วยงานผู้นำของสหรัฐอเมริกา**ที่พัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์จำนวนมาก นอกจากนี้ สหรัฐอเมริกายังมีหน่วยงานระดับแนวหน้าอื่น ๆ ในส่วนที่เป็นสถาบันการศึกษา สถาบันวิจัยของสหรัฐอเมริกาที่พัฒนาเรื่องนี้ ได้แก่ University of California, Broad Institute Inc., Harvard college เป็นต้น

ตัวอย่างสิทธิบัตรที่สืบค้นพบ

- WO2019232025 A2 Microbial engineering for the production of isoprenoids
- WO2019241684 A1 Synthetic 5' utr sequences, and high-throughput engineering and screening thereof

Ghent University, ประเทศเบลเยียม [29]

แม้ Ghent University จะไม่ได้ติดอันดับ Top 10 assignee แต่พบความเชื่อมโยงการทำงานกับบริษัท INBIOSE NV ซึ่งมีการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรสูงสุด จึงมีความน่าสนใจในการยกตัวอย่างแทรกมาในส่วนนี้ด้วย มหาวิทยาลัยนี้นอกจากมีการผลิตบุคลากรด้านชีววิทยาสังเคราะห์แล้ว ยังสนับสนุนการเข้าร่วมโครงการต่าง ๆ เพื่อสร้างพันธมิตรวิจัย และมีส่วนช่วยให้เกิดการรับรู้ถึงศาสตร์ด้านนี้ในวงกว้างขึ้น เช่น โครงการ BioRoBoost -

[26] ที่มา https://www.tju.edu.cn/english/index.htm สืบค้น วันที่ 6 ธันวาคม 2566

[27] ที่มา https://be.mit.edu/ สืบค้น วันที่ 6 ธันวาคม 2566

[28] ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมที่ Innography, https://achievement.org/achiever/robert-s-langer-ph-d/ และ https://be.mit.edu/directory/robert-langer สืบค้น วันที่ 29 ธันวาคม 2566

[29] ที่มา https://www.ugent.be/en สืบค้น วันที่ 6 ธันวาคม 2566

Fostering Synthetic Biology standardisation through international collaboration [30] ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสหภาพยุโรป (H2020) เป็นเวลา 3 ปี (1 ตุลาคม 2018 - 30 กันยายน 2021) ศึกษาวิจัยเพื่อมุ่งแก้ปัญหาทางเทคนิคและกำหนดนิยามมาตรฐานด้านชีววิทยาสังเคราะห์ โดยรวบรวมนักวิจัยจาก 27 หน่วยงาน ทั้งสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และเอเชีย หรือ โครงการ BactoHealing-Bio-Kin-Tsugi as a trans-disciplinary tool to bridge science and society and challenge the ethics of synthetic biology [31] หรือ โครงการ Disclosing thermophiles for industrial biotechnology by developing an orthogonal synthetic biology toolbox [32] (ระยะเวลาทุน 1 พฤศจิกายน 2022 - 16 พฤศจิกายน 2024) โดย 2 โครงการหลังต่างได้รับทุนจาก Flanders (FWO) หรือ โครงการ Synthetic biology and artificial intelligence, mutual learning to advance together and jointly drive industrial biotechnology - accelerating knowledge discovery [33] ที่เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี ค.ศ. 2016 ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับชิ้นส่วน องค์ประกอบ เครื่องมือ และเทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ข้อสังเกต ผู้ประดิษฐ์บางท่านของบริษัท INBIOSE NV เป็นบุคลากรที่จบการศึกษาจาก Ghent University และเคยทำงานที่ Ghent University

(3) ผู้ประดิษฐ์คำขอสิทธิบัตร 10 อันดับแรก (Top 10 Inventors)

การศึกษาข้อมูลผู้ประดิษฐ์คำขอสิทธิบัตร 10 อันดับแรก ที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์จากทั่วโลก (Top 10 Inventors) สะท้อนภาพนักวิจัยที่ทำการพัฒนาเทคโนโลยีระดับชั้นนำที่เชี่ยวชาญด้านนี้ของโลก โดยจัดอันดับได้ดังนี้

1. BEAUPREZ, Joeri เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม INBIOSE NV (Belgium)
2. COUSSEMENT, Pieter เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม INBIOSE NV (Belgium)
3. DECOENE, Thomas เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม INBIOSE NV (Belgium)
4. PETERS, Gert เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม INBIOSE NV (Belgium)
5. VERCAUTEREN, Annelies เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม Annelies INBIOSE NV (Belgium)
6. VANDEWALLE, Kristof เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม INBIOSE NV (Belgium)
7. AESAERT, Sofie เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม INBIOSE NV/ Ghent university (Belgium)
8. Flashman, Michael เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม Zymergen Inc (USA)
9. Dean, Erik Jedediah เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม Zymergen Inc (USA)
10. LANNOO, Nausicaae เป็นผู้ประดิษฐ์ในคำขอฯ ที่มีการยื่นขอในนาม INBIOSE NV (Belgium)

---

[30] ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ https://www.ugent.be/en/research/explorer/eu-trackrecord/h2020/collaborative-h2020/leit/leit-nmp-bioroboost.htm (สืบค้น วันที่ 29 ธันวาคม 2566).

[31] ที่มา https://research.ugent.be/web/result/project/aca0e2ed-6e1b-11ec-ba90-9b34edaa5384/output/en (สืบค้น วันที่ 29 ธันวาคม 2566).

[32] ที่มา https://research.ugent.be/web/result/project/a95f31b0-4a15-11ed-b83a-f72ac5e4d00f/details/en (สืบค้น วันที่ 29 ธันวาคม 2566).

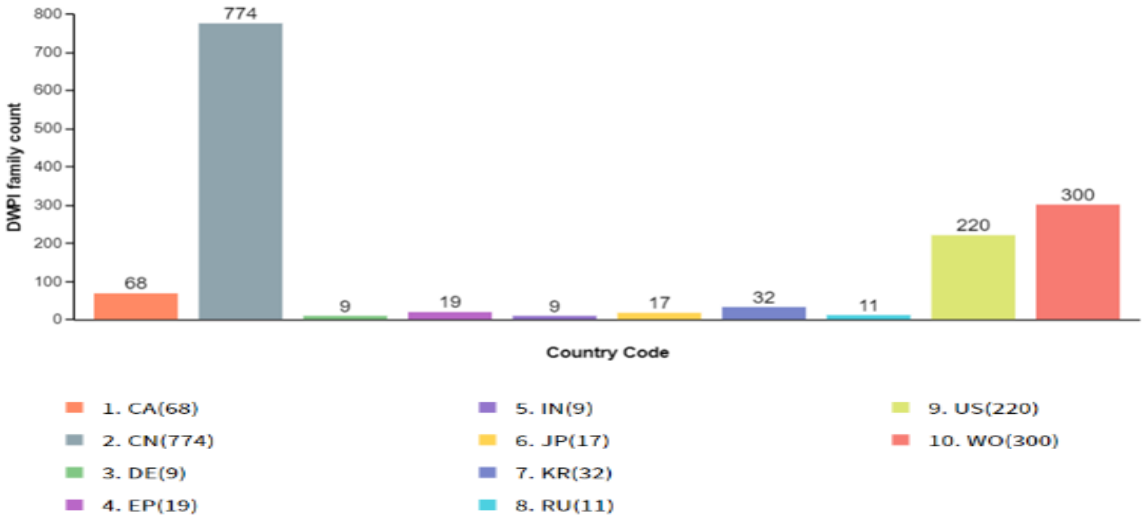
[33] ที่มา https://research.ugent.be/web/result/project/32f8d848-5624-404a-bc4b-57a78f18aa71/details/en (สืบค้น วันที่ 29 ธันวาคม 2566).

จากข้อมูลข้างต้นชี้ให้เห็นว่านักวิจัยที่ทำการพัฒนาเทคโนโลยีระดับแนวหน้าด้านชีววิทยาสังเคราะห์ 10 อันดับแรกของโลก สังกัดหน่วยงานในประเทศเบลเยี่ยม ภายใต้การยื่นคำขอฯ ในนามของบริษัท INBIOSE NV (เบลเยียม) เป็นส่วนใหญ่ โดยพบว่าบริษัท INBIOSE NV มีความร่วมมือกับ Ghent university เพราะบริษัท INBIOSE NV มีจุดกำเนิดที่ Ghent university ผู้ประดิษฐ์บางท่านของบริษัทเป็นบุคลากรที่จบการศึกษาจาก Ghent University และเคยทำงานที่ Ghent University ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น รองลงมา คือ นักวิจัยสังกัดหน่วยงานในสหรัฐอเมริกา ภายใต้การยื่นคำขอฯ ในนามของบริษัท Zymergen

(4) ประเทศที่เป็นเป้าหมายในการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร 10 อันดับแรก (Top 10 countries)

การศึกษาข้อมูลสิทธิบัตรในส่วนของประเทศที่เป็นเป้าหมายในการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร[34] 10 อันดับแรก (Top 10 countries) สะท้อนภาพประเทศที่มีศักยภาพทางการตลาด (Markets) หรือศักยภาพการผลิต ที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ โดยมีการจัดลำดับประเทศเรียงตามลำดับจากมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด ดังนี้ (รูปที่ 2-30)

1. สาธารณรัฐประชาชนจีน
2. สหรัฐอเมริกา
3. แคนาดา
4. เกาหลี
5. สหภาพยุโรป
6. ญี่ปุ่น
7. รัสเซีย
8. เยอรมนี
9. อินเดีย
10. เม็กซิโก



รูปที่ 2-30: ประเทศที่เป็นเป้าหมายในการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร 10 อันดับแรก (Top 10 countries)

ที่มา: ฐานข้อมูล Derwent Innovation

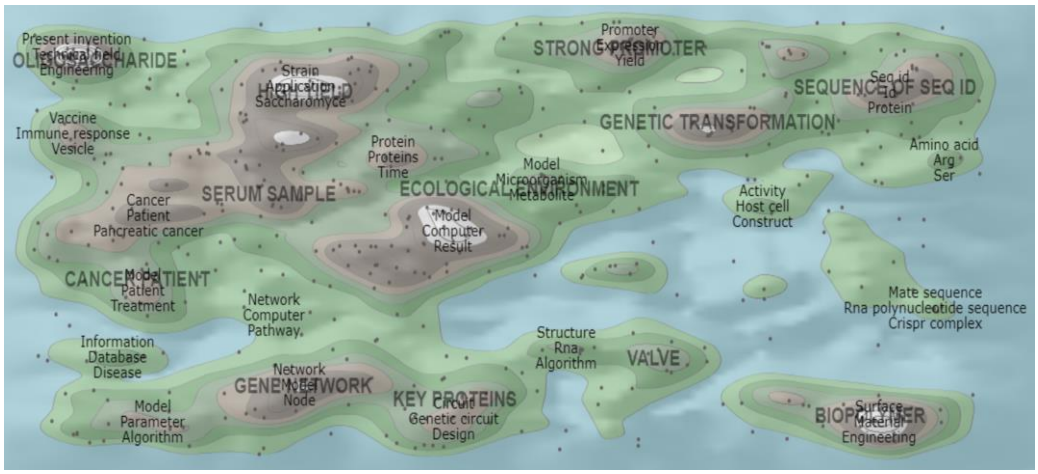
[34] **ประเทศที่เป็นเป้าหมายในการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร** โดยปกติผู้ขอรับสิทธิบัตรจากทั่วโลกต้องมีการวางแผนขอรับความคุ้มครองสิทธิในประเทศเป้าหมายที่ต้องการจะให้เกิดสิทธิตามกฎหมาย เนื่องจาก**สิทธิในสิทธิบัตรเกิดขึ้นเฉพาะในประเทศที่ผู้ขอฯ ยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิเท่านั้น** สำหรับข้อมูล WO เป็นอักษรย่อที่หมายถึงการยื่นคำขอฯ สิทธิบัตรระหว่างประเทศผ่านระบบสนธิสัญญาความร่วมมือด้านสิทธิบัตร (Patent Cooperation Treaty: PCT) ก่อนผู้ขอฯ จะตัดสินใจยื่นคำขอฯ เข้ารายประเทศที่ต้องการคุ้มครองสิทธิในลำดับต่อไป

ข้อมูลข้างต้นชี้ให้เห็นว่า**สาธารณรัฐประชาชนจีนเป็นประเทศเป้าหมายที่นานาประเทศรวมทั้งคนในสาธารณรัฐประชาชนจีนขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรมากที่สุด** และมีตัวเลขทิ้งห่างจากประเทศเป้าหมายอื่น ๆ ค่อนข้างมาก รองลงมา คือ **สหรัฐอเมริกา** โดย **แคนาดา เกาหลี และ สหภาพยุโรป** เป็นประเทศเป้าหมายที่นานาประเทศยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรรองลงมาจาก 2 ประเทศผู้นำดังกล่าว ตามลำดับ

(5) แนวโน้มหรือขอบเขตการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตร (Technology landscape (trends))

การศึกษาข้อมูลสิทธิบัตรในส่วนของแนวโน้มหรือขอบเขตการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตร (Technology landscape) แสดงในรูปที่ 2-31 ซึ่งจากการพิจารณาภาพรวมที่ปรากฏในแผนภาพสิทธิบัตร (Themescape) และรายละเอียดของคำขอสิทธิบัตร (จุดสีดำ) ที่พบในภาพดังกล่าวประกอบกัน พบว่า**คำขอสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของทั่วโลกมีความเกี่ยวข้องกับหลากหลายสาขาเทคโนโลยีชีวภาพที่ผนวกกับศาสตร์ทางวิศวกรรมและคอมพิวเตอร์** ดังนี้

- **การพัฒนาเซลล์เจ้าบ้าน (host cell) โปรโมเตอร์ (promoter) เวกเตอร์ (vector)** เพื่อเอื้อต่อการพัฒนาเซลล์เจ้าบ้าน รวมไปจนถึงการพัฒนาแพลตฟอร์ม เพื่อเพิ่มการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ทั้งด้านการออกแบบเซลล์ การทำนายลำดับดีเอ็นเอเพื่อการออกแบบเซลล์ เพื่อให้ได้เซลล์ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตสารเป้าหมายที่ต้องการ
- **การพัฒนาการหมัก (fermentation)** ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ผลิตสารเป้าหมาย
- **การพัฒนาเครื่องมือ** อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น gene (or genetic) circuit เป็นต้น
- **การพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์**เพื่อประยุกต์ใช้กับงานด้านนี้



รูปที่ 2-31: แผนภาพสิทธิบัตร (Themescape)[35] ที่แสดงขอบเขตการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ทั่วโลก จากการวิเคราะห์ด้วยฐานข้อมูล Derwent Innovation

ที่มา: ฐานข้อมูล Derwent Innovation

[35] **แผนภาพสิทธิบัตร (Themescape)** ที่สร้างจากโปรแกรม Derwent Innovation เป็นแผนภาพที่แสดงการจัดกลุ่มและความเชื่อมโยงข้อมูลกลุ่มคำขอสิทธิบัตรขนาดใหญ่ในรูปแบบแผนที่ภูมิประเทศ (topographical map) โดยที่ **จุดสีดำ** แสดงคำขอสิทธิบัตรแต่ละคำขอ **บริเวณภูเขา** เป็นบริเวณที่พบคำขอสิทธิบัตรหนาแน่นกว่าบริเวณอื่น และแสดงคำสำคัญ (keyword) ที่พบร่วมกันของข้อมูลสิทธิบัตรในบริเวณยอด และบริเวณใกล้กันในแผนที่มีความเชื่อมโยงกัน **บริเวณแผ่นดินสีเขียว และน้ำทะเล** เป็นบริเวณที่พบคำขอสิทธิบัตรน้อยลง ตามลำดับ
ทั้งนี้ นอกจากคำสำคัญในแผนภาพสิทธิบัตรแล้ว การศึกษาข้อมูลต้องพิจารณาจากรายละเอียดในคำขอสิทธิบัตรที่สนใจประกอบเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงลึกด้วย

จากข้อมูลข้างต้นยังชี้ให้เห็นว่าคำขอสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์มีการบูรณาการการทำงานของ**ศาสตร์ใหม่**ที่เน้นการใช้**กระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทำงานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ตรงกับเป้าหมายที่ต้องการ** การสร้าง gene circuit ที่ซับซ้อนขึ้น และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเป็นเครื่องมือ (tool) ในการทำงานด้านชีววิทยาสังเคราะห์ ประกอบกับ**ศาสตร์ดั้งเดิมที่เป็น modern biotechnology and genetic engineering ร่วมด้วย** เช่น การปรับปรุง (host) cell การพัฒนา vector/ promoter เพื่อใช้ในการแสดงออกของยีนเป้าหมาย (Gene expression) และ **กระบวนการหมัก (Fermentation)** ในระดับต่าง ๆ เพื่อผลิตสารเป้าหมายที่ต้องการ โดยขอบเขตการขอถือสิทธิที่ปรากฏในข้อถือสิทธิครอบคลุมทั้งส่วนของเครื่องมือ กระบวนการ และการเพิ่มประสิทธิภาพ

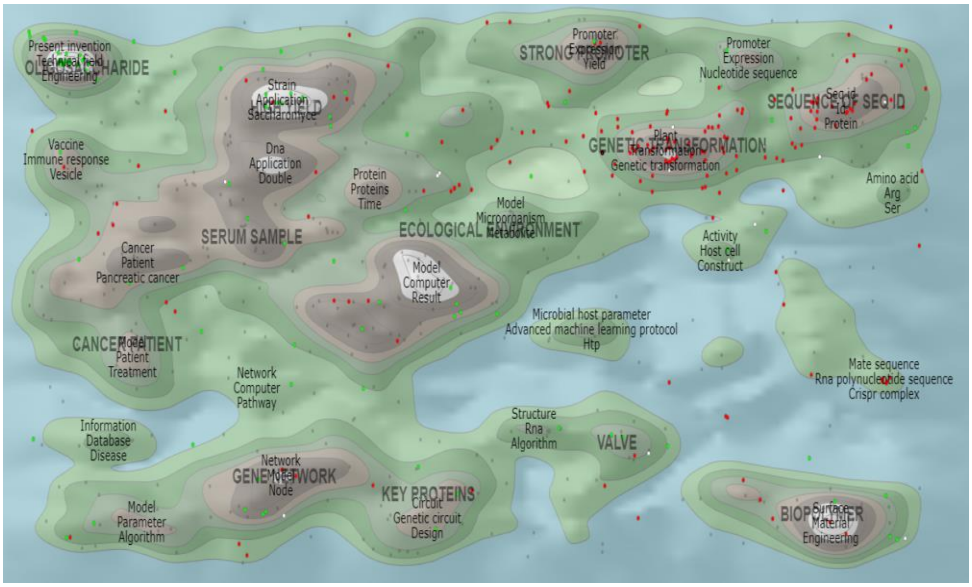
ทั้งนี้ การขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรดังกล่าวกระจายการคุ้มครองในหลากหลายประเทศ ซึ่งในส่วนนี้ได้แสดงตัวอย่างการขอรับการคุ้มครองสิทธิบัตรไว้พอสังเขป ดังนี้

- คำขอสิทธิบัตรจีนเลขที่ CN112301049A เรื่อง Recombinant plasmid and genetically engineered strain for high-yield production of heme, construction method of recombinant plasmid, construction method of genetically engineered strain, and method for high-yield production of heme
- คำขอสิทธิบัตรจีนเลขที่ CN107502614A เรื่อง Screening and function verification of carotenoid cleavage dioxygenase encoding gene participating in synthesis of gardenia jasminoides ellis crocin
- คำขอสิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ US20180216100A1 เรื่อง Microbial strain improvement by a HTP genomic engineering platform
- คำขอสิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ US20140088883A1 เรื่อง Method and system for knowledge pattern search and analysis for selecting microorganisms based on desired metabolic property or biological behavior
- คำขอสิทธิบัตรสหรัฐอเมริกาเลขที่ US11810646B2 เรื่อง Synthetic biology tools
- คำขอสิทธิบัตรแคนาดาเลขที่ CA3179113A1 เรื่อง Selection and monitoring methods for xenotransplantation
- คำขอสิทธิบัตรเม็กซิโกเลขที่ MX2014007964A เรื่อง Process for producing lipids
- คำขอสิทธิบัตรพีซีทีเลขที่ WO2021160830A1 เรื่อง Glycominimized bacterial host cells
- คำขอสิทธิบัตรพีซีทีเลขที่ WO2015199614A1 เรื่อง Systems and methods for synthetic biology design and host cell simulation

(6) แนวโน้มของอุตสาหกรรมเป้าหมายที่นำไปใช้ประโยชน์

จากข้อมูลแผนภาพสิทธิบัตรและข้อมูลคำขอสิทธิบัตรที่พบในแผนภาพสิทธิบัตรดังกล่าวข้างต้น (รูปที่ 2-31) ชี้ให้เห็นว่างานที่ขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรทั่วโลกเกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ สามารถนำไปสู่การใช้ประโยชน์ครอบคลุมทั้งใน**อุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ทั้งอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมการเกษตรและสิ่งแวดล้อม**

นอกจากนี้ ผลการค้นหาข้อมูลย่อย (Sub-search) ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเป้าหมายที่นำไปใช้ประโยชน์ในส่วนอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร จากข้อมูลที่ปรากฏในแผนภาพสิทธิบัตรในรูปที่ 2-31 พบว่าในระดับนานาชาติมีแนวโน้มการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตรค่อนข้างมาก โดยแนวโน้มการใช้สิทธิบัตรในสาขาอุตสาหกรรมเกษตร (จุดสีแดง) มีจำนวนมากกว่าอุตสาหกรรมอาหาร (จุดสีเขียว) ดังแสดงในรูปที่ 2-32



รูปที่ 2-32: แผนภาพสิทธิบัตร (Themescape) ที่แสดงขอบเขตการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ทั่วโลก และแนวโน้มการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร จากการวิเคราะห์ด้วยฐานข้อมูล Derwent Innovation

ที่มา: ฐานข้อมูล Derwent Innovation

(7) สรุปสถานภาพการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก

ในระดับนานาชาติ

- มีการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์มีแนวโน้มที่ชัดเจนและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ภายหลังปี ค.ศ. 2013 เป็นต้นมา ซึ่งสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่เริ่มมีการจัดการประชุมสัมมนาวิชาการหรือการประชุมเชิงปฏิบัติการในระดับนานาชาติด้านชีววิทยาสังเคราะห์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 2010 - 2013 เป็นต้นมา
- ทิศทางการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีหลากหลายสาขา เป็นลักษณะการบูรณาการศาสตร์ด้านเทคโนโลยีชีวภาพร่วมกับศาสตร์ทางวิศวกรรมและคอมพิวเตอร์
- ผู้นำด้านชีววิทยาสังเคราะห์ในระดับนานาชาติ คือ สาธารณรัฐประชาชนจีน **สหรัฐอเมริกา และประเทศแถบยุโรป** โดยพิจารณาได้จากหลายมิติ ทั้งส่วนของ (1) ข้อมูลหน่วยงานที่ยื่นคำขอฯ มากที่สุด (top assignee) ซึ่งแสดงถึงศักยภาพการยื่นคำขอฯ ของประเทศนั้นโดยตรง (2) ข้อมูลประเทศ (top country) ที่เป็นประเทศเป้าหมาย (อาจเป็นตลาดหรือแหล่งผลิต) ที่ทุกประเทศจะเข้าไปยื่นขอรับความคุ้มครองฯ ทางด้านนี้มาก และ (3) ชื่อผู้ประดิษฐ์ (inventor) หรือนักวิจัยที่เป็นผู้นำทางด้านนี้ แสดงถึงความตื่นตัวของผู้ประดิษฐ์และเจ้าของสิทธิในแถบประเทศดังกล่าว ที่ต้องการจะคุ้มครอง/ปกป้องสิทธิในการประดิษฐ์

ที่พัฒนาขึ้นเพื่อการใช้ประโยชน์ในอนาคต โดยเล็งเห็นประเทศเป้าหมายที่อาจเป็นตลาดและ/หรือแหล่งผลิตที่มีศักยภาพที่ต้องการบังคับใช้สิทธิในสิทธิบัตรทางด้านนี้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากประเทศผู้นำดังกล่าวมีกลไกการสนับสนุนในเรื่องนี้อย่างเป็นรูปธรรม ตั้งแต่การมีมหาวิทยาลัย/หน่วยงานวิจัยชั้นนำในการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับด้านชีววิทยาสังเคราะห์อย่างต่อเนื่อง การสร้างเครือข่ายการวิจัย การมีโครงสร้างพื้นฐานและนโยบายประเทศรองรับ อีกทั้งยังมีกลไกสนับสนุนการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ดังแสดงในตัวอย่างกรณีศึกษาหน่วยงานระดับแนวหน้าในการยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรระดับนานาชาติข้างต้น

- แนวโน้มของอุตสาหกรรมเป้าหมายที่นำไปใช้ประโยชน์ ครอบคลุมทั้ง อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมการเกษตรและสิ่งแวดล้อม
- หน่วยงานที่ขอรับความคุ้มครองสิทธิ มีทั้งสถาบันการศึกษา/วิจัย และภาคเอกชน

ประเทศไทย

ไม่พบข้อมูลคนไทยยื่นคำขอสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ที่เน้นการใช้ศาสตร์ใหม่ในส่วนกระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทำงานด้านชีววิทยาสังเคราะห์ในฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติ แต่ยังคงมีความจำเป็นที่ต้องทำการสืบค้นการยื่นคำขอสิทธิบัตรในฐานข้อมูลของประเทศไทยต่อเนื่อง

2.4.2 สถานภาพการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

จากที่กล่าวในหัวข้อ 2.4.1 เนื่องจากไม่พบข้อมูลคนไทยยื่นคำขอสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ที่เน้นการใช้ศาสตร์ใหม่ในส่วนกระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทำงานด้านชีววิทยาสังเคราะห์ในฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติ ในหัวข้อนี้จึงแสดงถึงผลการสืบค้นการยื่นคำขอสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่พบในฐานข้อมูลของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยมักยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรในประเทศไทยเป็นอันดับแรกก่อนที่จะไปยื่นคำขอฯ ในประเทศเป้าหมายอื่นต่อไป ดังนี้

(1) ผลการสืบค้นข้อมูลคำขอรับสิทธิบัตรจากฐานข้อมูลกรมทรัพย์สินทางปัญญาประเทศไทย

จากการศึกษาข้อมูลสิทธิบัตรด้วยการสืบค้นในฐานข้อมูลกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ ด้วยการใช้คำสำคัญชุดที่ 8 ที่ประกอบด้วย “synthetic biology, biosynthetic, biosynthesis, ชีววิทยาสังเคราะห์, ชีวสังเคราะห์, ยีสต์ลูกผสม, ลูกผสม, พิมพ์ใจ ใจเย็น, วีรวัฒน์ รังกุพันธุ์” ในการสืบค้น พบผลการสืบค้นคำขอรับสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ในประเทศไทยค่อนข้างน้อย ด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือการแสดงผลของฐานข้อมูลประเทศไทยจึงไม่สามารถแสดงจำนวนนับของคำขอฯ ได้เช่นเดียวกับการสืบค้นในฐานข้อมูลเชิงการค้าในระดับนานาชาติ และไม่สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปแสดงเป็นภาพแนวโน้มการยื่นคำขอ ผู้ยื่นคำขอฯ และผู้ประดิษฐ์ 10 อันดับแรกได้ เช่นเดียวกับผลการสืบค้นฐานข้อมูลนานาชาติ อย่างไรก็ดี การใช้ชุดคำสำคัญในการสืบค้นดังกล่าวพบข้อมูล 2 กลุ่ม คือ กลุ่มคำขอฯ ที่ขอถือสิทธิโดยกลุ่มหน่วยงานในประเทศไทยและกลุ่มหน่วยงานต่างประเทศ ดังตัวอย่าง ดังนี้

- **กลุ่มหน่วยงานในประเทศไทย**
  - คำขอเลขที่ 2001002381 เรื่อง เซลล์ยีสต์ลูกผสม *Saccharomyces cerevisiae* BMGC 339, BMGC 341, BMGC 342, BMGC 343 และ BMGC 344 สำหรับการผลิตไอโซบิวทานอลจากน้ำตาลไซโลสหรือชีวมวลที่มีน้ำตาลไซโลส เป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลัก ของ สำนักงานพัฒนา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม หรือคำขออื่น ๆ ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เช่น เลขที่ 1401001165 เรื่อง อนุพันธ์เอ็น-แนฟทิล-เอ็นโอ-ซัคซินิลไคโตซาน และกรรมวิธีการสังเคราะห์สารดังกล่าว (N-naphthyl-N,O-succinyl chitosan and synthetic method thereof) หรือคำขอเลขที่ 1603002634 เรื่อง กระบวนการสร้างระบบครีสเปอร์-ดีแคสไนน์สำหรับใช้ในการปรับระดับการแสดงออกของยีนเป้าหมายในเซลล์เจ้าบ้านจุลินทรีย์

- คำขอเลขที่ 1901003930 เรื่อง วิธีการสร้างเม็ดเลือดแดงโดยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการโอ-กลุคแนกซิลเลชั่น (O-GlcNAcylation) ในวิถีเฮกโซซามีนสังเคราะห์โมเลกุลชีวภาพ (Hexosamine Biosynthetic Pathway) ของ มหาวิทยาลัยมหิดล
- คำขอเลขที่ 2001002856 เรื่อง วิธีการกระตุ้นการสร้างเกล็ดเลือดโดยการยับยั้งกระบวนการโอ-กลุคแนกซิลเลชั่น (O-GlcNAcylation) ในวิถีสังเคราะห์โมเลกุลชีวภาพ (Hexosamine Biosynthetic Pathway) ของ มหาวิทยาลัยมหิดล และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
- คำขอเลขที่ 1401004841 เรื่อง กระบวนการปรับปรุงสายพันธุ์สาหร่ายเพื่อการผลิตน้ำมันด้วยการถ่ายยีนสังเคราะห์ (Synthetic gene) ของ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- คำขอเลขที่ 1701006238 เรื่อง ตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพโปรติเอสทนร้อนที่ได้จากดีเอ็นเอลูกผสม และเลขที่ 1901000969 เรื่อง ตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพเคราติเนสทนร้อนที่ได้จากดีเอ็นเอลูกผสม ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- คำขอเลขที่ 1801005143 เรื่อง อนุพันธ์ 6-มาเลอิมิโด เฮกซะโนอิคแอซิดกราฟท์ไคโตซาน สำหรับเป็นพอลิเมอร์ยึดติดเยื่อเมือก และกรรมวิธีการสังเคราะห์สารดังกล่าว (6-Maleimidohexanoic acid grafted chitosan as mucoadhesive polymer and synthetic method thereof) ของ สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร
- คำขอเลขที่ 1503001745 เรื่อง กรรมวิธีการสังเคราะห์ยีนขนาดเล็กในขั้นตอนเดียว ของ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- คำขอเลขที่ 1703001916 เรื่อง พอลิเปปไทด์ไหมผึ้งดัดแปลงสังเคราะห์และกรรมวิธีการผลิต ของ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- คำขอเลขที่ 1501006056 เรื่อง รีคอมบิแนนต์แบคทีเรียบาซิลลัส ซับทีลิส สายพันธุ์ 168 สำหรับตรวจวัดรูปแบบความเป็นพิษจากสารตัวอย่างที่เหนี่ยวนำให้เกิดการทำลายดีเอ็นเอ การทำลายโปรตีน และภาวะเครียดออกซิเดชัน ของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
- คำขอเลขที่ 1901007318 เรื่อง ชุดยีนสำหรับการผลิตสารแฟตตี้แอลกอฮอล์และเซลล์ดัดแปลงที่มีชุดยีนนั้น ของ สถาบันวิทยสิริเมธี (VISTEC)

- **กลุ่มหน่วยงานในต่างประเทศ**
  - คำขอเลขที่ 0401003747 เรื่อง ยีนที่เข้ารหัสเอ็นไซม์สำหรับเร่งปฏิกิริยาชีวสังเคราะห์ของลิกนินและการใช้ของสิ่งนั้น ของ Suntory Holding Ltd.

- คำขอเลขที่ 9301000819 เรื่อง อนุพันธ์ของออคทะไฮโดรแนฟธาลีน ออกซีมสำหรับการยับยั้งชีวสังเคราะห์ของคอเลสเตอรอลการเตรียมและการใช้ประโยชน์ของอนุพันธ์เหล่านี้ ของ ซันเกียว
- คำขอเลขที่ 1101002890 เรื่อง การจัดการการสังเคราะห์ทางชีวภาพของฟรุคแทน (fructan biosynthesis) และ การเพิ่มชีวมวลจากพืช (plant biomass) ของ แอกริคัลเทอร์ วิคตอเรีย เซอร์วิส พีทีวาย แอลทีดี.
- คำขอเลขที่ 1201003747 เรื่อง สิ่งที่ได้จากการสร้างกรดนิวคลีอิกที่ประกอบด้วยกลุ่มยีนชีวสังเคราะห์ไพริไพโรพีนและยีนเครื่องหมาย (Nucleic Acid Construct Comprising Pyripyropene Biosynthetic Gene Cluster And Marker Gene) ของ MMAG Co. Ltd.
- คำขอเลขที่ 0601004326 เรื่อง กลุ่มยีนที่เกี่ยวพันในชีวสังเคราะห์ของไอโซเพนทีนิลไดฟอสเฟตในวิถีนอน-เมวาโลเนตของ HEVEA BRASILIENSIS ของ บริดจ์สโตน คอร์ปอเรชั่น, บาแด่น เปงกาเจียน แดน พีเนอราปัน เทคโนโลจี
- คำขอเลขที่ 1201005752 เรื่อง จุลชีพและวิธีการสำหรับชีวสังเคราะห์ของบิวทาไดอีน (butadiene) ของ จีโนมาติกา อิงค์
- คำขอเลขที่ 1301006170 เรื่อง โพลีนิวคลีโอไทด์ที่เข้ารหัสเอนไซม์จากวิถีชีวสังเคราะห์ลิกนินในพืชปอกระเจา ของ บังกลาเทศ จูท รีเสริช อินสติติวท์
- คำขอเลขที่ 1501002691 เรื่อง คลัสเตอร์ยีนสำหรับชีวสังเคราะห์ของคอร์เน็กซิสติน และไฮดรอกซีคอร์เน็กซิสติน ของ BASF SE
- คำขอเลขที่ 1501004990 เรื่อง แฟคเตอร์การถอดรหัสที่ควบคุมชีวสังเคราะห์นิโคตินในยาสูบ ของ North Carolina State U.

(2) สรุปสถานภาพการขอรับความคุ้มครองสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทยจากการสืบค้นฐานข้อมูลสิทธิบัตร กรมทรัพย์สินทางปัญญา ประเทศไทย

- พบข้อมูลสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ค่อนข้างน้อยในฐานข้อมูลกรมทรัพย์สินทางปัญญาประเทศไทย จึงไม่สามารถนำเสนอข้อมูลแนวโน้มสิทธิบัตรในแง่มุมต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับการสืบค้นจากฐานข้อมูลนานาชาติ
- พบกลุ่มหน่วยงานยื่นขอรับความคุ้มครองสิทธิ 2 กลุ่ม คือ หน่วยงานในประเทศไทยและหน่วยงานต่างประเทศ โดยผู้ยื่นคำขอจากต่างประเทศยังมีปริมาณน้อย ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะประเทศไทยไม่ใช่ประเทศเป้าหมายสำหรับการขอรับความคุ้มครองเทคโนโลยีด้านชีววิทยาสังเคราะห์ในระยะนี้
- หน่วยงานของประเทศไทยมีแนวโน้มยื่นคำขอสิทธิบัตรเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีฐานด้าน modern biotechnology/ genetic engineering เช่น การสร้างรีคอมบิแนนท์ เป็นหลัก และ gene editing บางส่วน แต่ยังไม่พบคำขอฯ ที่มุ่งการใช้ศาสตร์ใหม่ในส่วนกระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทำงานด้านชีววิทยาสังเคราะห์โดยตรงเช่นเดียวกับข้อมูลที่พบในฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติ
- หน่วยงานของประเทศไทยมีแนวโน้มการยื่นคำขอฯ สำหรับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพเป็นหลัก
- หน่วยงานที่ขอรับความคุ้มครองสิทธิของประเทศไทย คือ สถาบันการศึกษา/วิจัย เป็นหลัก โดยมีลักษณะกระจายในหลายหน่วยงาน

2.4.3 บทวิเคราะห์ระดับความพร้อมของเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของประเทศไทยกับนานาชาติ

จากข้อมูลในหัวข้อที่ 2.4.1 และ 2.4.2 นำมาสู่การวิเคราะห์ความพร้อมของเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของไทยกับนานาชาติจากการพิจารณาในมุมมองข้อมูลสิทธิบัตร ดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7: ตารางเปรียบเทียบระดับความพร้อมของเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของประเทศไทยเทียบกับนานาชาติจากการพิจารณาในมุมมองข้อมูลสิทธิบัตร

หัวข้อ	ต่างประเทศ	ประเทศไทย
1) อัตราการเติบโตของการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร	การยื่นคำขอรับสิทธิบัตรทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณการยื่นคำขอสิทธิบัตรปี ค.ศ. 2013 มีจำนวน 40 DWPI Patent family และเพิ่มเป็นจำนวน 280 DWPI Patent family ในปี ค.ศ. 2023 อัตราการเติบโตคิดเป็น 600 เปอร์เซ็นต์	ข้อมูลไม่เพียงพอที่จะวิเคราะห์ได้
2) แนวโน้มขอบเขตการขอรับการคุ้มครองฯ	เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีหลากหลายสาขา โดยการบูรณาการศาสตร์ด้านเทคโนโลยีชีวภาพร่วมกับศาสตร์ทางวิศวกรรมและคอมพิวเตอร์ อาทิ ● การพัฒนาเซลล์เจ้าบ้าน โปรโมเตอร์ เวกเตอร์เพื่อเอื้อต่อการพัฒนาเซลล์เจ้าบ้าน รวมไปจนถึงการพัฒนาแพลตฟอร์ม เพื่อเพิ่มการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ทั้งด้านการออกแบบเซลล์ การทำนายลำดับดีเอ็นเอเพื่อการออกแบบเซลล์ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปผลิตสารเป้าหมายที่ต้องการ ● การพัฒนาการหมัก (fermentation) ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ผลิตสารเป้าหมาย ● การพัฒนา เครื่องมือ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ● การพัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อประยุกต์ใช้กับงานด้านนี้	● เกี่ยวข้องกับ Modern biotechnology/ Genetic engineering แบบดั้งเดิม โดยเฉพาะการสร้างรีคอมบิแนนท์เซลล์ การปรับปรุงพันธุกรรม เป็นหลัก และ gene editing บางส่วน ● ยังไม่มีคำขอฯ ที่มุ่งใช้ศาสตร์ใหม่ในส่วนกระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทำงานด้านชีววิทยาสังเคราะห์โดยตรง ทั้งการยื่นคำขอฯ ในประเทศไทยและต่างประเทศ

หัวข้อ	ต่างประเทศ	ประเทศไทย
3) แนวโน้มของอุตสาหกรรมเป้าหมายที่นำไปใช้ประโยชน์	มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมครอบคลุมทั้งอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการแพทย์ อุตสาหกรรมการเกษตรและสิ่งแวดล้อม	มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพ
4) หน่วยงานที่ขอรับความคุ้มครองสิทธิฯ	ทั้งภาคการศึกษา/วิจัย และเอกชน โดยประเทศผู้นำทางด้านนี้ ได้แก่ สาธารณรัฐประชาชนจีน สหรัฐอเมริกา และประเทศแถบยุโรป	ภาคการศึกษา/วิจัย เป็นหลัก โดยกระจายในหลายหน่วยงาน

2.5 ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกับนานาชาติ

การวิเคราะห์ความพร้อมทางโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ โดยการสำรวจและสัมภาษณ์นักวิจัยในสถาบันการศึกษา/สถาบันวิจัย พบว่าพื้นฐานงาน synthetic biology เป็นการดำเนินงานด้าน molecular biology ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูล มีการใช้เทคนิค genetic engineering แต่ความแตกต่างในการดำเนินการ synthetic biology จากการศึกษา biotechnology แนวเดิม คือ มีการใช้เทคโนโลยีฐานใหม่ ๆ บูรณาการร่วมกับองค์ความรู้ทางชีววิทยา เพื่อช่วยให้การทำวิศวกรรมสิ่งมีชีวิตง่ายขึ้น เร็วขึ้น แม่นยำขึ้น เช่น CRISPR-Cas ช่วยให้แก้ไขดีเอ็นเอได้แม่นยำขึ้น Gene synthesis ช่วยให้สังเคราะห์ดีเอ็นเอได้เร็วขึ้น การมี tools ที่ช่วยให้สามารถควบคุมการแสดงออกของยีนได้แม่นยำมากขึ้น ลดความผิดพลาดในการสร้างพลาสมิด การสร้างโมเดลสำหรับทำ systems biology เพื่อช่วยให้ทำนายหน้าที่ยีนได้อย่างแม่นยำขึ้น เป็นต้น ดังนั้น โครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง และเครื่องมือเพื่อการวิจัยที่มีอยู่ตามสถาบันต่าง ๆ สามารถใช้เป็นเครื่องมือเพื่อการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีนี้ได้ โดยสถานภาพโครงสร้างพื้นฐาน เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่สามารถใช้ได้ ตลอดจนหน่วยงานที่มีความพร้อมหรือมีเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

ตารางที่ 2-8: โครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทยหรือที่ประเทศไทยสามารถเข้าถึงได้

การดำเนินงานวิจัยและพัฒนา	หน่วยงานที่มีความพร้อม/เครื่องมือที่เกี่ยวข้อง
การออกแบบ	
คัดเลือกจุลินทรีย์ตั้งต้นจากคลังเชื้อจุลินทรีย์	● ศูนย์ชีววัสดุประเทศไทย (TBRC) ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ● ศูนย์จุลินทรีย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
คลังยีน/ Template plasmid	● Addgene
โปรแกรมและแหล่งข้อมูลเพื่อการออกแบบจุลินทรีย์	● ฐานข้อมูลสาธารณะ เช่น NCBI ● Open-source software online เช่น alpha-fold
การสร้างจุลินทรีย์ตามที่ออกแบบ	
การสังเคราะห์ดีเอ็นเอ (Oligonucleotide synthesis, DNA synthesis)	● บริษัทให้บริการสังเคราะห์ไพรเมอร์ เช่น IDT, Macrogen ผ่านบริษัทตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทย ● บริษัทให้บริการสังเคราะห์ยีน เช่น GenScript
การถ่ายพลาสมิดเข้าเซลล์เจ้าบ้านหรือการแทรกสอดยีนคอนสตรักเข้าสู่เซลล์ ตลอดจนการคัดเลือกเซลล์ ด้วย High Throughput automation system	● สถาบันวิทยสิริเมธี (VISTEC), ไบโอเทค (BIOTEC) - High-throughput liquid handling platform: plate hander robotic arm, microplate reading assays, colony picker สำหรับคัดเลือกเซลล์ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์เป้าหมาย คัดเลือกโคโลนี/เซลล์ที่ได้รับการถ่ายยีน คัดเลือกเซลล์ที่ผลิตสารเป้าหมาย
การตรวจวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ (Plasmid	● ศูนย์โอมิกส์แห่งชาติ (NOC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

การดำเนินงานวิจัยและพัฒนา	หน่วยงานที่มีความพร้อม/เครื่องมือที่เกี่ยวข้อง
sequencing, Whole genome sequencing)	● บริษัทให้บริการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ เช่น Ward Medic ประเทศมาเลเซีย, บริษัท BGI (Beijing Genomics Institute) สาธารณรัฐประชาชนจีน
การวิเคราะห์ทดสอบ ศึกษาคุณสมบัติ เรียนรู้/ทำนายการออกแบบและปรับปรุงให้มีคุณสมบัติตามต้องการ	
การวิเคราะห์ทดสอบ	● ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ของแต่ละมหาวิทยาลัย - HPLC, GC-FID, GC-MS, LC-MS - etc. ● ศูนย์บริการวิเคราะห์ ทดสอบ NSTDA Characterization and Testing Service Center (NCTC) ● ศูนย์โอมิกส์แห่งชาติ (NOC) - การวิเคราะห์ Genomic, Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics
การใช้ Bioinformatics, Machine Learning วิเคราะห์และทำนายยีน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีน โปรตีน และจุลินทรีย์เพื่อการปรับปรุง/แก้ไขให้มีคุณสมบัติตามต้องการ	● Online algorithm ● NSTDA Supercomputer Center or ThaiSC
การผลิตในระดับขยายขนาด	
การหาสภาวะที่เหมาสมในการเพาะเลี้ยงระดับขยายขนาด	● ไบโอเทค - High-throughput micro-scale bioprocess optimization จำลองถังหมัก 20 ลิตร ลงในเพลต 2 มิลลิลิตร ใช้คัดกรองสภาวะการหมักที่เหมาะสมก่อนการขยายขนาดในถังหมักขนาด 20 ลิตร
การเพาะเลี้ยงระดับขยายขนาด	● ห้องปฏิบัติการในสถาบันวิจัย/มหาวิทยาลัย - ถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 5 - 10 ลิตร
	● โรงงานต้นแบบยาชีววัตถุแห่งชาติ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธบุรี - ถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 5-2,000 ลิตร
	● โรงงานต้นแบบเพื่อการผลิตจุลินทรีย์ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธบุรี - ถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 5 - 1,500 ลิตร - ถังหมักแบบหมุนแนวนอนขนา 200 - 5,000 ลิตร
	● โรงงานต้นแบบชีวกระบวนการไบโอเทค (BIOTEC Bioprocessing Facility) หรือ BBF

การดำเนินงานวิจัยและพัฒนา	หน่วยงานที่มีความพร้อม/เครื่องมือที่เกี่ยวข้อง
	- ถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 300 ลิตร
	● โรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรี (EECi Biorefienry Pilot Plan) ณ เมืองนวัตกรรมชีวภาพ - ถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 5,000 ลิตร 15,000 ลิตร

จากข้อมูลข้างต้นมีข้อสังเกตว่าเทคโนโลยีที่สำคัญและมีส่วนช่วยขับเคลื่อนการดำเนินงานด้าน synthetic biology ได้แก่ gene synthesis technology และ sequencing technology ซึ่งเทคโนโลยีพื้นฐานดังกล่าวนี้ไม่ได้ดำเนินการเองในประเทศหรือมีการดำเนินการในประเทศไม่มากนัก ซึ่งอุปสรรคของการดำเนินงานคือความล่าช้าในการสั่งสังเคราะห์ไพรเมอร์ การสั่งเคราะห์ยีน ตลอดจนการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ลำดับเบส ประเทศไทยใช้เวลานาน 7 - 30 วัน ขณะที่การดำเนินงานดังกล่าวในต่างประเทศใช้เวลาเพียง 1 - 3 วัน ทำให้การวิจัยและพัฒนาในประเทศเป็นไปอย่างช้า ๆ และมีราคาแพง เมื่อเทียบกับการดำเนินงานวิจัยในต่างประเทศ ส่งผลต่อวัฏจักร (cycle) ของการวิจัยและพัฒนา การสร้างองค์ความรู้และการผลิตผลงานเชิงประจักษ์

นอกจากนี้ ในต่างประเทศมีการสร้าง Biofoundry[36] เป็นแหล่งรวมสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการวิจัยและพัฒนาชีววิทยาระดับโมเลกุลแบบบูรณาการ ด้วยโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบอัตโนมัติ เครื่องมือวิเคราะห์ซอฟต์แวร์ บุคลากร รวมถึงระบบการจัดการข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการใช้เครื่องมือ เพื่อการออกแบบ สร้าง และทดสอบชิ้นส่วน องค์ประกอบทางชีวภาพ หรือทดสอบคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิตที่สร้างขึ้นปริมาณมากอย่างรวดเร็วในระยะเวลาสั้น ทั้งยังสามารถทำซ้ำวงจรหรือกระบวนการทางชีววิทยาสังเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วในระดับ high-throughput ช่วยเร่งความเร็วในการสร้างองค์ความรู้ การวิจัยพัฒนาและวิศวกรรมระบบชีวภาพใหม่ ๆ เพิ่มพื้นที่การวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบการทดลองเพื่อแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม ดังนั้น หากมีความต้องการจากการวิจัยในสถาบันวิจัยของรัฐ/มหาวิทยาลัย/ภาคเอกชนเพียงพอการสร้างให้มี national biofoundry/ central facility ให้บริการการวิศวกรรมจุลินทรีย์หรือองค์ประกอบทางชีวภาพ รองรับงานวิจัยหรือความต้องการที่หลากหลาย มีระบบบริหารจัดการ การรักษาความลับและกรรมสิทธิ์ข้อมูลจะช่วยผลักดันงานด้าน synthetic biology ของประเทศ เพิ่มความสามารถในการพัฒนาธุรกิจที่มีความต้องการใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ เปิดโอกาสให้กลุ่มบริษัทสตาร์ทอัพ เข้าถึงเทคโนโลยีในการพัฒนาเชื้อ โดยไม่ต้องลงทุนสร้างแพลตฟอร์มตั้งแต่เริ่มต้น

จากการสำรวจโครงสร้างพื้นฐานการวิจัยในสถาบันการศึกษา/สถาบันวิจัย พบว่าประเทศมีโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบอัตโนมัติตั้งอยู่ที่ไบโอเทคและสถาบันวิทยสิริเมธี ดังรูปที่ 2-33 ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญต่อการพัฒนาขีดความสามารถของประเทศไทยในการค้นหาและพัฒนาทรัพยากรจุลินทรีย์ที่มีอยู่อย่างหลากหลายเพื่อผลิตสารชีวเคมีภัณฑ์มูลค่าสูงแบบ high-throughput ช่วยเพิ่มโอกาสประสบความสำเร็จในการพัฒนาจุลินทรีย์และสารผลิตภัณฑ์จากจุลินทรีย์เป้าหมายในระยะเวลาอันรวดเร็ว สามารถทดสอบตัวอย่างได้พร้อมกันในปริมาณมาก ประหยัดเวลา และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย นอกจากนี้ระบบการค้นหาและพัฒนาทรัพยากรจุลินทรีย์แบบ high-throughput ดังกล่าวยังเป็นจุดเชื่อมต่อกับการโครงสร้างพื้นฐานทางด้านชีวกระบวนการของ สวทช. และ

[36] Maciej B. Holowko, Emma K. Frow, Janet C. Reid, Michelle Rourke and Claudia E. Vickers. **Building a biofoundry**. Synthetic Biology, 2020, 6(1): ysaa026. doi: 10.1093/synbio/ysaa026

โรงงานต้นแบบไบโอรีไฟเนอรี (EECi Biorefienry Pilot Plan) อันจะนำไปสู่การต่อยอดใช้ประโยชน์ทรัพยากรจุลินทรีย์ไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้อย่างครบวงจร

รูปที่ 2-33: องค์ประกอบ High-throughput system ของไบโอเทค

A-C องค์ประกอบ High-throughput system ของไบโอเทค สามารถเลือกใช้งานได้ 4 โปรโตคอล ได้แก่ 1) การคัดกรองเอนไซม์ 2) การพัฒนาสูตรผสมเอนไซม์ 3) การคัดกรองโคลนจากเมตาจีโนมิกส์ และ 4) การวิศวกรรมระดับจีโนม (โปรโตคอลที่ 4 อยู่ระหว่างรอ set up)

D. High-throughput micro-scale bioprocess optimization ใช้คัดกรองสภาวะการหมักที่เหมาะสมก่อนการขยายขนาดในถังหมัก

รูปที่ 2-34: High-throughput system ของสถาบันวิทยสิริเมธี

ข้อเสนอแนะแนวทางการเตรียมความพร้อมทางโครงสร้างพื้นฐาน

- ในกรณีที่ไม่มีงบประมาณลงทุนโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่อาจเริ่มจากศึกษาสถานภาพด้านต้นทุน ระยะเวลา และอัตราความล้มเหลว (failure rate) ของการดำเนินงานวิจัยในปัจจุบัน พัฒนากระบวนการบริหารจัดการข้อมูล เพื่อให้ได้วิธีการ/เส้นทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการวิศวกรรมองค์ประกอบทางชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว พัฒนากลไกการเข้าถึงเครื่องมือของหน่วยงานที่มีความพร้อม เช่น ผลักดันหน่วยงานที่มีเครื่องมือให้เปิดเป็นงานบริการวิชาการ โดยมีการจัดทำสัญญารักษาความลับ (NDA) เพื่อความเป็นมืออาชีพในการให้บริการ การสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของสิ่งอำนวยความสะดวกและมีบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญแตกต่างกัน บูรณาการโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพและทางดิจิทัลเข้าด้วยกัน พัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลเครื่องมือและอุปกรณ์ ตลอดจนรูปแบบการให้บริการที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย เพื่อมุ่งสู่การสร้างระบบนิเวศที่เอื้อต่อการดำเนินงานนวัตกรรมชีววิทยาสังเคราะห์
- การสร้าง Biofoundry กรณีที่มีงบประมาณลงทุน central facility ในอนาคต และมีความต้องการมากพอที่จะทำให้เกิดการใช้งานอย่างคุ้มค่าควรพิจารณาข้อมูลให้ครอบคลุมตลอดห่วงโซ่การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่กำลังคน นักวิจัย ช่างเทคนิค ผู้ประสานงาน ผู้บริหารจัดการ central facility ปริมาณโจทย์วิจัย/งานวิจัยในประเทศ (supply) และปริมาณความต้องการ (demand) จากผู้ประกอบการหรือภาคเอกชน วิธีกระตุ้นให้มีผู้ใช้บริการอย่างต่อเนื่อง เช่น ความคุ้มค่า ราคาต้นทุนที่ต่ำลง ความสะดวกในการใช้บริการ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจรูปแบบที่เหมาะสมหรือโครงสร้างพื้นฐานที่ต้องลงทุนสำหรับประเทศไทย เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์สูงสุด
- แนวทางการพัฒนาโมเดลการให้บริการ Biofoundry อาจคล้ายกับงานให้บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ มีแพลตฟอร์มการนำเข้าข้อมูลเพื่อขอรับบริการ การระบุความต้องการเข้าถึงสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น การเข้าถึงอุปกรณ์ การเข้าถึงโปรแกรมการฝึกอบรม ไปจนถึงการใช้บริการอย่างเต็มรูปแบบ ทั้งนี้การสร้างโหมดการทำงานที่อนุญาตให้ผู้ใช้บริการหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากภาควิชาการหรือภาคอุตสาหกรรมมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ประสานงานใน Biofoundry เพื่อทราบความต้องการของผู้ใช้และตั้งเป้าหมายผลลัพธ์ที่คาดหวังอย่างชัดเจน เพื่อสร้างชิ้นส่วนทางพันธุกรรม องค์ประกอบทางชีวภาพ หรือสิ่งมีชีวิตที่มีคุณสมบัติตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้บริการเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาโมเดลการให้บริการ สร้างให้เกิดฐานลูกค้าและมีผู้ใช้บริการอย่างต่อเนื่อง

2.6 ความพร้อมในการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) เชิงเปรียบเทียบกับโลก

ชีววิทยาสังเคราะห์ถือเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ (modern biotechnology) ดังนั้น สิ่งมีชีวิตที่พัฒนาจากชีววิทยาสังเคราะห์จึงจัดเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Genetically Modified Organisms) หรือ GMOs สามารถใช้กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการกำกับดูแล GMOs ในการดูแลความปลอดภัย

ในระดับนานาชาติ อนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ (Convention on Biological Diversity: CBD) เล็งเห็นความสำคัญของการดูแลความปลอดภัยของเทคโนโลยีชีวภาพ ในมาตรา 8g จึงกำหนดให้จัดตั้งวิธีการจัดการหรือควบคุมความเสี่ยงในการใช้ประโยชน์และปลดปล่อยสิ่งมีชีวิตที่มาจากเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งเป็นที่มาของพิธีสารคาร์ตาเฮนาว่าด้วยความปลอดภัยทางชีวภาพเป็นพิธีสารต่อท้ายอนุสัญญาฯ (Cartagena Protocol on Biosafety to Convention on Biological Diversity) ซึ่งเป็นข้อตกลงระหว่างประเทศที่เน้นการดูแลความปลอดภัยของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Living Modified Organism - LMOs) อันเป็นผลมาจากเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่

ต่อมา อนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ (Convention on Biological Diversity: CBD) พิจารณาว่า ชีววิทยาสังเคราะห์เป็นประเด็นอุบัติใหม่ที่อาจมีผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ ดังนั้น ในปี ค.ศ. 2019 ของที่ประชุมสมัชชาภาคีอนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพจึงมีความเห็นว่า สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ที่พัฒนาขึ้นโดยชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) จัดเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ภายใต้บริบทของพิธีสารคาร์ตาเฮน่าว่าด้วยความปลอดภัยทางชีวภาพ สามารถกำกับดูแลโดยใช้กลไกเดียวกันกับการกำกับดูแล GMOs สำหรับสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาขึ้นโดยชีววิทยาสังเคราะห์และไม่เข้าข่ายเป็น GMOs นั้น ยังคงอยู่ในขอบเขตของการดูแลภายใต้ CBD เนื่องจาก ขอบเขตของ CBD ครอบคลุมสิ่งมีชีวิตที่ได้จากเทคโนโลยีชีวภาพทั้งหมด

สำหรับการกำกับดูแลชีววิทยาสังเคราะห์ในประเทศต่าง ๆ นั้น จะพิจารณาว่า ชีววิทยาสังเคราะห์เป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่เช่นกัน และต่างใช้กลไกกำกับดูแลความปลอดภัยทางชีวภาพเช่นเดียวกับการกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ยกเว้นในบางประเทศจะมีกลไกการกำกับดูแลเฉพาะสำหรับสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม (genome editing technology) โดยมีกระบวนการพิจารณาเฉพาะเพื่อพิจารณายกเว้นไม่จัดเป็นสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ตัวอย่างแนวทางกำกับดูแลในบางประเทศ ดังนี้

1. สหภาพยุโรป

สหภาพยุโรปเป็นกลุ่มประเทศที่กำหนดกฎระเบียบหรือมาตรการทางกฎหมายขึ้นมาใหม่เพื่อมาบังคับใช้ในการควบคุมสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมทุกประเภท และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การใช้ในสภาพควบคุม การทดสอบในภาคสนาม การปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม การวางจำหน่ายในท้องตลาด การติดฉลาก การเคลื่อนย้ายข้ามแดนระหว่างประเทศสมาชิกหรือการส่งออกไปยังประเทศที่สามและการตรวจสอบย้อนกลับ (traceability) เป็นต้น โดยกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับอาหารได้ขยายขอบเขตการบังคับใช้ออกไปให้ครอบคลุมถึงการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความมั่นใจในด้านความปลอดภัยต่อชีวิตมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

ภายใต้ข้อกำหนดในการกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมของสหภาพยุโรปได้ยกเว้นให้สิ่งมีชีวิตที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคหรือวิธีการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutagenesis) ไม่จัดเป็น GMOs จึงมีข้อถกเถียงว่าสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาด้วยเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมแบบ SDN1 มีลักษณะเทียบเท่ากับการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงสารพันธุกรรมเล็กน้อยและไม่มีสารพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตอื่น ยังจัดเป็น GMOs หรือไม่

อย่างไรก็ตาม เมื่อเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 2018 ศาลยุติธรรมแห่งสหภาพยุโรป มีความเห็นว่าสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาขึ้นโดยการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์เป็น GMOs และอยู่ภายใต้การกำกับดูแลเช่นเดียวกันกับ GMOs ยกเว้นสิ่งมีชีวิตที่มีข้อมูลว่ามีการใช้อย่างปลอดภัยมาเป็นเวลานาน (long safety record) ต่อมาในเดือนพฤศจิกายน ปี ค.ศ. 2019 คณะมนตรีแห่งสหภาพยุโรป ได้ขอให้มีการศึกษาว่าผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย novel genomic techniques ควรอยู่ภายใต้การกำกับดูแลโดยกฎระเบียบดังกล่าวหรือไม่ ซึ่งเมื่อเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2021 คณะกรรมาธิการยุโรปได้ตีพิมพ์ผลการศึกษาเกี่ยวกับสถานะของ new genomic techniques (NGTs) ภายใต้ Union law โดยมีผลสรุปว่าภายใต้ระบบการกำกับดูแลของสหภาพยุโรปในปัจจุบัน มีความท้าทายในการดำเนินการและการบังคับใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การตรวจจับและการแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ NGTs ที่ไม่มีสารพันธุกรรมจาก foreign genetic material ซึ่งเป็นปัญหาสำหรับหน่วยงานบังคับใช้ ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ยื่น ข้อกังวลส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงความหลากหลายทางชีวภาพ การอยู่ร่วมกันกับเกษตรกรรม ปลอดสารอินทรีย์และปลอดการดัดแปลงพันธุกรรม ตลอดจนการติดฉลากและสิทธิของผู้บริโภคในข้อมูลและเสรีภาพในการเลือก และตามที่ European Food Safety Authority สรุปไว้ ผลิตภัณฑ์จากพืชที่มีโปรไฟล์ความเสี่ยงใกล้เคียงกันสามารถได้จากเทคนิคการผสมพันธุ์แบบดั้งเดิม การกลายพันธุ์แบบกำหนดเป้าหมาย และการเกิด cisgenesis สำหรับ NGTs เทคนิคอื่น ๆ หรือการประยุกต์ใช้ในสัตว์และจุลินทรีย์ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นยังมีจำกัดหรือยังขาดอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านความปลอดภัย

2. สหรัฐอเมริกา

การกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ในสหรัฐอเมริกา ดำเนินการโดย 3 หน่วยงาน ได้แก่ กระทรวงเกษตร (Department of Agriculture - DA), องค์การอาหารและยา (Food and Drug Administration - FDA) และสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency - EPA) และในเดือนมิถุนายน ปี ค.ศ. 2019 มีการออกคำสั่งพิเศษของประธานาธิบดี (executive order) เรื่อง modernizing the regulatory framework for agricultural biotechnology ให้สิทธิ์แก่ EPA ในการใช้กลไกที่มีอยู่ยกเว้นผลิตภัณฑ์ด้านการเกษตรที่พัฒนาขึ้นจากเทคโนโลยีชีวภาพที่มีความเสี่ยงต่ำ (exempt low-risk products) จากการกำกับดูแลตามความเหมาะสม โดยมีการยกเว้นเห็ดกระดุมที่ไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (non-browning mushroom) ซึ่งพัฒนาขึ้นจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม

3. สหราชอาณาจักร

การกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมในสหราชอาณาจักร ในปัจจุบันกำหนดให้สิ่งมีชีวิต GMOs แต่ละชนิดได้รับการประเมินและอนุญาตเป็นรายกรณีก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยง การให้คำปรึกษาสาธารณะ และการตีพิมพ์รายละเอียดว่าการทดลองวิจัยจะเกิดขึ้นเมื่อไหร่และที่ไหน อย่างไรก็ดี ประเทศก็เห็นความสำคัญของกฎระเบียบและมาตรฐานเฉพาะของชีววิทยาวิศวกรรม (engineering biology) เพื่อให้ทันต่อการพัฒนาอย่างรวดเร็วเป็นพิเศษของเทคโนโลยีนี้ โดยใน National vision ที่จัดทำโดย Department for Science, Innovation, and Technology มีการกล่าวถึงประเด็นนี้ว่า กฎระเบียบและมาตรฐานเป็นกุญแจสำคัญในการสร้างสภาพแวดล้อมที่ชีววิทยาวิศวกรรมสามารถเข้าถึงศักยภาพสูงสุดได้อย่างปลอดภัย และให้ความมั่นใจแก่สาธารณชนและตลาดว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงและปลอดภัย ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ชีววิทยาทางวิศวกรรมได้หลากหลายวิธี ดังนั้น การใช้งานนั้นอยู่ภายใต้การควบคุมของหน่วยงานกำกับดูแลจำนวนมาก และเพื่อ

ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชีววิทยาทางวิศวกรรมสามารถออกสู่ตลาดได้ กฎระเบียบควรมีความชัดเจน เหมาะสมและสนับสนุนนวัตกรรม โดยยังคงรักษามาตรฐานความปลอดภัยของผู้บริโภคไว้ในระดับสูง

สหราชอาณาจักรได้จัดตั้งเครือข่ายหน่วยงานกำกับดูแลด้านชีววิทยาวิศวกรรม (Engineering Biology Regulators' Network - ;EBRN) เพื่อแสวงหาโอกาสในการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานกำกับดูแล และการแบ่งปันความรู้และแนวปฏิบัติที่ดีที่สุด โดยจะเรียกประชุมหน่วยงานกำกับดูแล 10 แห่งจากหน่วยงานสนับสนุน 7 แผนก เพื่อสร้างกลไกเชื่อมโยงในการทำงานร่วมระหว่างหน่วยงานกำกับดูแลของสหราชอาณาจักรและชุมชนชีววิทยาวิศวกรรมผ่าน EBRN เพื่อสนับสนุนการพัฒนาการปฏิรูปกฎระเบียบที่เหมาะสม โดยภารกิจแรกคือการจัดทำขั้นตอนว่าปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ได้จากชีววิทยาวิศวกรรมได้รับการควบคุมอย่างไร ซึ่งมีการจัดสรรงบประมาณให้กับ EBRN เพื่อสร้าง regulatory sandboxes ด้านชีววิทยาทางวิศวกรรม มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์คุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ตาม evidence-based analysis ซึ่งจำเป็นสำหรับการสร้างกฎระเบียบที่เหมาะสมเพื่อความไว้วางใจของสาธารณชน และมีการมอบหมายให้ Regulatory Horizons Council พัฒนาต่อยอดงานกฎระเบียบที่มีอยู่โดยให้เพิ่มเติมรายละเอียดประเด็นด้านกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาวิศวกรรมโดยเฉพาะ เพื่อขจัดอุปสรรคด้านกฎระเบียบและพิสูจน์ให้เห็นถึงกรอบการกำกับดูแลของประเทศในอนาคต ทั้งนี้ Food Standards Agency ได้สร้างระบบ public consultation เกี่ยวกับข้อเสนอ (proposals) สำหรับกรอบการทำงานใหม่ในอังกฤษสำหรับการควบคุม precision bred organisms ที่ใช้สำหรับอาหารและอาหารสัตว์

นอกจากนี้ การสนับสนุนเพิ่มเติมจะมาจากเครือข่ายนักการทูตด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของเรา ซึ่งจะปฏิบัติตามกฎระเบียบระดับนานาชาติ และสร้างการเชื่อมโยงระหว่างหน่วยงานกำกับดูแลของสหราชอาณาจักรกับหน่วยงานที่เทียบเท่าในระดับสากล ตามความเหมาะสม สิ่งนี้จะช่วยให้มั่นใจได้ว่าหน่วยงานกำกับดูแลของประเทศจะได้รับแจ้งเกี่ยวกับการพัฒนาในที่อื่นและสามารถนำแนวปฏิบัติที่ดีที่สุดไปปฏิบัติได้ สหราชอาณาจักรยังเป็นภาคีในข้อตกลงระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับกรอบการกำกับดูแลภายในประเทศ โดยชีววิทยาสังเคราะห์เป็นวาระสำคัญในการประชุมของอนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ และรัฐบาลมีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในการอภิปรายระหว่างประเทศซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ชีววิทยาทางวิศวกรรม เช่น เกี่ยวกับกลไกการแบ่งปันผลประโยชน์พหุภาคีใหม่สำหรับการใช้ข้อมูลลำดับดิจิทัล (digital sequence information - DSI) เกี่ยวกับทรัพยากรพันธุกรรม (genetic resources) ข้อตกลงลำดับรองของอนุสัญญาต่ออนุสัญญาดังกล่าว ประกอบด้วยพิธีสารคาร์ตาเฮนาว่าด้วยความปลอดภัยทางชีวภาพ และพิธีสารนาโกย่าว่าด้วยการเข้าถึงและการแบ่งปันผลประโยชน์ ทั้งนี้ รัฐบาลทำงานร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย รวมถึงภาคเอกชน ผ่านการประชุมการเข้าถึงและการแบ่งปันผลประโยชน์ที่มีมายาวนาน กลุ่มที่ปรึกษาทางธุรกิจใน DSI และในอนาคตผ่านการติดต่อกับกลุ่มขับเคลื่อนชีววิทยาวิศวกรรมชุดใหม่เป็นประจำ และอีกประเด็นที่สำคัญคือการสร้างมาตรฐานให้กับชีววิทยาวิศวกรรมจะเป็นกุญแจสำคัญในการเร่งสร้างนวัตกรรมด้วยการเพิ่มความท้าทายในการทำซ้ำ (reproducibility) และการเปรียบเทียบ (comparability) ที่ต้องเผชิญเมื่อทำงานกับระบบทางชีววิทยา โดยมีห้องปฏิบัติการตรวจวัดแห่งชาติ (National Physical Laboratory; NPL) เป็นส่วนสำคัญในความพยายามของสหราชอาณาจักรในการปรับปรุงมาตรวิทยาด้านชีววิทยาวิศวกรรม

4. แคนาดา

กลไกการกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมของประเทศแคนาดา ดำเนินการโดยองค์การตรวจสอบอาหารของแคนาดา (Canada Food Inspection Agency - CFIA) รับผิดชอบประเมินความปลอดภัยของพืชดัดแปลงพันธุกรรมก่อนปลูกในสิ่งแวดล้อม และ Health Canada ประเมินความปลอดภัยเพื่อใช้เป็นอาหาร โดย

หลักการประเมินอาหารใหม่ (novel food) ก่อนวางตลาด (pre-market assessment) ใช้การพิจารณาจากหลักการของผลิตภัณฑ์ (product-based approach) คือประเมินเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ปรากฏลักษณะใหม่โดยไม่คำนึงถึงวิธีการที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ทั้งนี้ สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมภายใต้การกำกับดูแลในประเทศแคนาดาจะรวมถึงชีววิทยาสังเคราะห์และเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมด้วย ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นจากเทคโนโลยีดังกล่าวจะต้องผ่านกระบวนการประเมินก็ต่อเมื่อผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีลักษณะใหม่เท่านั้น

5. ออสเตรเลีย

ออสเตรเลียกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมโดยการออกกฎหมายเฉพาะที่มีชื่อว่า Gene Technology Act 2000 และ Gene Regulation 2001 ครอบคลุมทุกกิจกรรมตั้งแต่การวิจัย การผลิต การนำเข้า การเพิ่มจำนวน การเคลื่อนย้าย และการทำลาย โดยเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2018 หน่วยงานกำกับดูแลด้านเทคโนโลยียีนของออสเตรเลีย (Office of the Gene Technology Regulator - OGTR) ได้จัดทำข้อเสนอแนะในการพิจารณาสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาขึ้นจากเทคนิคใหม่ โดยมีข้อเสนอในส่วนของเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมด้วยเอนไซม์ในกลุ่มนิวคลีเอส (Site-Directed Nucleases - SDN) ดังนี้

- SDN1 (ไม่มีการใช้ DNA template) ไม่จัดเป็น GMOs
- SDN2 และ SND3 (มีการใช้ DNA template) จัดเป็น GMOs

6. อาร์เจนตินา

การกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมในประเทศอาร์เจนตินา ครอบคลุมตั้งแต่การทดลองในภาคสนามจนถึงการปลูกเพื่อการค้า โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาด้านเทคโนโลยีชีวภาพการเกษตรแห่งชาติเป็นผู้พิจารณาประเมินความเสี่ยง ภายใต้การดำเนินการของกรมเทคโนโลยีชีวภาพ กระทรวงอุตสาหกรรมเกษตร ทั้งนี้ ใน ปี ค.ศ. 2015 ประเทศอาร์เจนตินา มีการจัดทำข้อมติเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคการปรับปรุงพันธุ์ใหม่ (New Breeding Techniques - NBTs) ดังนี้

- สิ่งมีชีวิตที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคการหลอมรวมสารพันธุกรรม (recombinant DNA technique) อาจเป็น GMOs
- หากเทคนิคที่ใช้ไม่ก่อให้เกิดสารพันธุกรรมใหม่ ไม่จัดเป็น GMOs
- หากเทคนิคที่ใช้ก่อให้เกิดสารพันธุกรรมใหม่ จัดเป็น GMOs

7. ญี่ปุ่น

ประเทศญี่ปุ่นมีการกำหนดกฎหมายเฉพาะเพื่อกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม ได้แก่ พระราชบัญญัติว่าด้วยการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ความหลากหลายทางชีวภาพอย่างยั่งยืนโดยการกำกับดูแลการใช้สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม (Act on the Conservation and Sustainable Use of Biological Diversity through Regulations on the Use of Living Modified Organisms) หรือเรียกโดยย่อว่า พระราชบัญญัติคาร์ตาเฮนา (Cartagena Act) โดยมีการออกคำสั่งคณะรัฐมนตรี คำสั่งรัฐมนตรีหรือประกาศรัฐมนตรีเป็นกฎหมายลำดับรอง เพื่อกำหนดรายละเอียดของวิธีการปฏิบัติหรือหลักการดำเนินการตามของกฎหมายฉบับหลัก

สำหรับการใช้ GMOs เป็นอาหาร ในประเทศญี่ปุ่นใช้กฎหมายสุขอนามัยอาหาร กฎหมายว่าด้วยการรับรองความปลอดภัยและการปรับปรุงคุณภาพอาหารสัตว์ในการกำกับดูแล ในส่วนของอาหารที่ได้จากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม ในปี ค.ศ. 2020 กระทรวงสาธารณสุข แรงงาน และสวัสดิการ ประเทศญี่ปุ่น ได้จัดทำแนวทาง

ปฏิบัติสำหรับผู้พัฒนาและผู้ประสงค์ใช้งานในการจดแจ้งอาหารและวัตถุเจือปนอาหารที่พัฒนาขึ้นจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมขึ้นเป็นการเฉพาะ โดยให้มีการจัดส่งข้อมูลเพื่อพิจารณา ดังนี้

- Names of item and breed and summary (usage and intended use) of the developed food
- Method of genome editing technology used and details of modification
- Information on confirmation that there are no remaining foreign genes or their parts
- Information on confirmation that confirmed changes in DNA do not cause production of new allergens having adverse effects on human health or increase of known toxic substances contained
- Information on changes in major components (nutrient components related to the target metabolic system for items which modification affecting the metabolic system was performed in order to increase or decrease specific components)
- Year and month of marketing

8. สิงคโปร์

ประเทศสิงคโปร์กำกับดูแลการใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมโดยใช้กฎหมายที่อยู่ (existing law) โดยมีแนวทางปฏิบัติสองรูปแบบสำหรับการใช้เทคโนโลยี GM และผลิตภัณฑ์จาก GM ที่นำมาใช้เพื่อให้แน่ใจว่ามีการกำกับดูแลที่เพียงพอ ซึ่งการควบคุม GMOs ในสิงคโปร์เกิดจากความพยายามและการประสานงานจากหลายหน่วยงาน โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาการดัดแปลงพันธุกรรม (Genetic Modification Advisory Committee - GMAC) ที่มีองค์ประกอบจากคณะกรรมการที่ปรึกษาจากหลายหน่วยงานที่ไม่ใช่หน่วยงานกำกับดูแล ก่อตั้งโดยกระทรวงการค้าและอุตสาหกรรม เมื่อปี ค.ศ. 1999 ให้คำแนะนำทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการผลิต การวิจัย การใช้และการปล่อย GMOs ในสิงคโปร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยของสาธารณะในขณะเดียวกันก็รักษาสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการแสวงหาผลประโยชน์ทางการค้าของผลิตภัณฑ์ GMOs และผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก GMO ตามมาตรฐานสากล ซึ่งโครงสร้างของ GMAC ทำงานเป็นลำดับขั้นผ่าน 1) กระทรวงการค้าและอุตสาหกรรมสิงคโปร์ 2) หน่วยงานสำหรับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการวิจัย 3) คณะกรรมการหลักของ GMAC 4) คณะอนุกรรมการของ GMAC ซึ่งแบ่งย่อยการทำงานด้านดูแลเฉพาะเรื่อง ได้แก่ 4.1) คณะอนุกรรมการเพื่อการวิจัยเกี่ยวกับ GMOs 4.2) คณะอนุกรรมการเพื่อความตระหนักรู้ของประชาชน 4.3) คณะอนุกรรมการสำหรับการเผยแพร่ GMOs และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับ GMO 4.4) คณะอนุกรรมการการติดฉลาก ซึ่งบทบาทของ GMAC คือพัฒนา รักษา และปรับปรุงแนวทางปฏิบัติ ทั้งแนวทางปฏิบัติของสิงคโปร์ในปี ค.ศ. 1999 ว่าด้วยการเผยแพร่ GMOs ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร และแนวทางความปลอดภัยทางชีวภาพของสิงคโปร์สำหรับการวิจัยเกี่ยวกับ GMOs ปี ค.ศ. 2006 (ฉบับปรับปรุง ค.ศ. 2020) และยังทำหน้าที่กำหนดกลไกในการกำกับดูแลแบบประสานงาน ทบทวน ให้คำแนะนำ และแนะนำในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับ GMOs และอำนวยความสะดวกด้านการศึกษาสาธารณะเกี่ยวกับประเด็น GM

9. สาธารณรัฐประชาชนจีน

จีนมีการกำกับดูแลพืชดัดแปลงพันธุกรรมทั้งในเรื่องการแสดงฉลากผลิตภัณฑ์ดัดแปลงพันธุกรรมทั้งหมด รวมถึง เมล็ดพันธุ์พืชดัดแปลงพันธุกรรม อาหารสัตว์และผลิตภัณฑ์อาหารที่มีพืชดัดแปลงพันธุกรรมเป็นส่วนผสม ไม่ว่าจะเป็นสินค้าที่ผลิตขึ้นในจีนหรือนำเข้าจากต่างประเทศก็ตามจะต้องได้รับการรับรองความปลอดภัยและ

ติดฉลากที่ชัดเจนก่อนการวางจำหน่าย เพื่อความปลอดภัยต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม สาธารณรัฐประชาชนจีนยังไม่มีกฎหมายกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมเป็นการเฉพาะ อยู่ระหว่างการพัฒนากฎระเบียบ

10. ประเทศไทย

ประเทศไทยกำกับดูแลการใช้ประโยชน์จากสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมโดยใช้กฎหมายที่อยู่ (existing law) อย่างไรก็ดี การใช้กฎหมายและกฎระเบียบที่มีอยู่ในปัจจุบันของประเทศไทยเพื่อกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรมหรือสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาด้วยชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology; SynBio) เป็นประเด็นใหม่สำหรับประเทศไทย จำเป็นต้องเสริมสร้างขีดความสามารถทั้งหน่วยงานกำกับดูแลและภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้มีทักษะและประสบการณ์สามารถบังคับใช้กฎหมายได้ให้เกิดความสมดุลระหว่างการดูแลความปลอดภัยและการพัฒนาของภาคอุตสาหกรรม ดังนี้

ขั้นตอน	ลักษณะการใช้ประโยชน์	กฎหมาย/กฎระเบียบที่ใช้กำกับดูแล	เป้าหมาย	หน่วยงานรับผิดชอบ
1. กระบวนการผลิต (process) ที่ใช้จุลินทรีย์ที่พัฒนาด้วย SynBio	1.1 จุลินทรีย์ที่พัฒนาด้วย SynBio และที่อยู่ในรายการเชื้อโรคตามมาตรา 18 ของ พ.ร.บ. เชื้อโรคและพิษจากสัตว์	พ.ร.บ. เชื้อโรคและพิษจากสัตว์	• สนับสนุนให้มีกฎระเบียบสำหรับระดับอุตสาหกรรมเป็นการเฉพาะ	• กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์
	1.2 จุลินทรีย์ที่พัฒนาด้วย SynBio แต่ไม่อยู่ในรายการเชื้อโรค	คู่มือ หลักเกณฑ์ เงื่อนไข และวิธีปฏิบัติด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ สำหรับผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรม	• สนับสนุนให้เกิดการใช้คู่มือแบบสมัครใจ เพื่อดูแลความปลอดภัยทางชีวภาพและไม่กระทบต่อการดำเนินงานของภาคธุรกิจ • เผยแพร่และประชาสัมพันธ์กฎระเบียบและกลไกการกำกับดูแลการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่พัฒนาโดย SynBio ในระดับอุตสาหกรรม • พัฒนากลไกให้ปรึกษาเรื่องกฎระเบียบและการบริการจัดการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพให้แก่ภาคเอกชน	• กรมโรงงานอุตสาหกรรม • ไบโอเทค/สวทช.

ขั้นตอน	ลักษณะการใช้ประโยชน์	กฎหมาย/กฎระเบียบที่ใช้กำกับดูแล	เป้าหมาย	หน่วยงานรับผิดชอบ
		• พ.ร.บ. อาหาร (กรณีเป็นอาหาร) • พ.ร.บ. ควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ (กรณีเป็นอาหารสัตว์) • พ.ร.บ. ยา (กรณีเป็นยาหรือวัคซีน) • พ.ร.บ. เครื่องสำอาง (กรณีเป็นเครื่องสำอาง)	• ส่งเสริมการดำเนินการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพผ่านการสนับสนุนให้ใช้คู่มือด้านความปลอดภัยทางชีวภาพของกรมโรงงานอุตสาหกรรมควบคู่ไปด้วย • เผยแพร่และประชาสัมพันธ์กฎระเบียบและกลไกการกำกับดูแลการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่พัฒนาโดย SynBio ในระดับอุตสาหกรรม • พัฒนากลไกให้ปรึกษาเรื่องกฎระเบียบและการบริการจัดการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพให้แก่ภาคเอกชน	• อย. • กรมปศุสัตว์ • ไบโอเทค/สวทช.
2. ผลิตภัณฑ์ (product) ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ที่พัฒนาด้วย SynBio โดยในผลิตภัณฑ์ไม่มีจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในผลิตภัณฑ์	2.1 อาหารและพลาสติกชีวภาพเพื่อบรรจุอาหาร	พ.ร.บ. อาหาร	• เผยแพร่และประชาสัมพันธ์กฎระเบียบและกลไกการกำกับดูแลการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่พัฒนาโดย SynBio ในระดับอุตสาหกรรม • เตรียมความพร้อมของหน่วยงานผู้รับผิดชอบในการกำกับดูแลด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์จาก SynBio	• อย. • ไบโอเทค/สวทช.
	2.2 อาหารสัตว์	พ.ร.บ. ควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์		• กรมปศุสัตว์ • กรมประมง • ไบโอเทค/สวทช.
	2.3 ยาและวัคซีน	พ.ร.บ. ยา		• อย. • ไบโอเทค/สวทช.
	2.4 เครื่องสำอาง	พ.ร.บ. เครื่องสำอาง		• อย. • ไบโอเทค/สวทช.
	2.5 ชีวภัณฑ์ทางการเกษตร	พ.ร.บ. วัตถุอันตราย		• กรมวิชาการเกษตร • ไบโอเทค/สวทช.
	2.6 พลาสติกชีวภาพที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร	ไม่มีกฎหมายและกฎระเบียบกำกับดูแลด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เป็นการเฉพาะ	• สนับสนุนให้เกิดการใช้คู่มือแบบสมัครใจ เพื่อดูแลความปลอดภัยทางชีวภาพ	• กรมโรงงานอุตสาหกรรม • ไบโอเทค/สวทช.

ขั้นตอน	ลักษณะการใช้ประโยชน์	กฎหมาย/กฎระเบียบที่ใช้กำกับดูแล	เป้าหมาย	หน่วยงานรับผิดชอบ
	2.7 เอนไซม์เพื่อวัตถุประสงค์ในการฟอกกระดาษ ฟอกหนัง หรืออื่น ๆ ที่มิใช่เพื่อการบริโภค	ไม่มีกฎหมายและกฎระเบียบกำกับดูแลด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เป็นการเฉพาะ	และไม่กระทบต่อการดำเนินงานของภาคธุรกิจ • เผยแพร่และประชาสัมพันธ์กฎระเบียบและกลไกการกำกับดูแลการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่พัฒนาโดย SynBio ในระดับอุตสาหกรรม • พัฒนากลไกให้ปรึกษาเรื่องกฎระเบียบและการบริการจัดการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพให้แก่ภาคเอกชน	• กรมโรงงานอุตสาหกรรม • ไบโอเทค/สวทช.
	2.8 เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น ไบโอเอทานอล	ไม่มีกฎหมายและกฎระเบียบกำกับดูแลด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เป็นการเฉพาะ		• กรมโรงงานอุตสาหกรรม • ไบโอเทค/สวทช.

แนวทางในการพัฒนากฎระเบียบและการกำกับดูแลเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทยและก้าวทันเทคโนโลยี

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนาและวิจัยในหลายด้านทั้งในประเทศไทยและทั่วโลก การนำผลิตภัณฑ์ที่มาจากเทคโนโลยีดังกล่าวไปใช้ในเชิงพาณิชย์จำเป็นต้องผ่านการประเมินความปลอดภัยจากหน่วยงานกำกับดูแล การประเมินความปลอดภัยของโครงการที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญ เพื่อให้แน่ใจว่าโครงการเหล่านี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม กระบวนการประเมินปัจจุบันอาจใช้เวลานาน เนื่องจากต้องพิจารณารายละเอียดหลายประการ การใช้กระบวนการ pre-assessment คือขั้นตอนประเมินเบื้องต้นก่อนการประเมินจริง เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดระยะเวลาการประเมินและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการประเมินได้

<u>วัตถุประสงค์</u>

- เพื่อลดระยะเวลาการประเมินความปลอดภัยของโครงการที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology
- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินและการเตรียมความพร้อมของผู้ประกอบการ
- เพื่อสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาในสาขา synthetic biology โดยไม่ลดทอนมาตรฐานความปลอดภัย

<u>ขั้นตอนกระบวนการ pre-assessment</u>

1. **การยื่นขอ pre-assessment**:
    - ผู้ประกอบการยื่นคำขอ Pre-assessment พร้อมข้อมูลพื้นฐานของโครงการ เช่น วัตถุประสงค์ วิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์ที่คาดหวัง
2. **การตรวจสอบเอกสารเบื้องต้น**:
    - หน่วยงานกำกับดูแลตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นและให้คำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับข้อกำหนดและมาตรฐานที่ต้องปฏิบัติ

3. **การประชุม pre-assessment**:
    - จัดประชุมระหว่างผู้ประกอบการและผู้ประเมินเพื่ออธิบายรายละเอียดเพิ่มเติม และรับคำแนะนำที่ชัดเจนจากผู้ประเมิน
4. **การจัดทำรายงาน pre-assessment**:
    - หน่วยงานกำกับดูแลจัดทำรายงาน pre-assessment ที่ประกอบด้วยคำแนะนำและข้อเสนอแนะในการเตรียมเอกสารและข้อมูลสำหรับการประเมินจริง
5. **การติดตามและให้คำปรึกษา**:
    - ให้คำปรึกษาเพิ่มเติมแก่ผู้ประกอบการตามความจำเป็น เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการเป็นไปตามคำแนะนำ

<u>ประโยชน์ที่คาดหวัง</u>

- **การลดระยะเวลาการประเมิน**: ด้วยคำแนะนำเบื้องต้น ผู้ประกอบการสามารถเตรียมเอกสารและข้อมูลได้ถูกต้องและครบถ้วนตั้งแต่แรก ทำให้กระบวนการประเมินจริงรวดเร็วขึ้น
- **การเพิ่มประสิทธิภาพ**: การให้คำแนะนำเบื้องต้นจะช่วยลดความผิดพลาดและความซ้ำซ้อนในเอกสารและข้อมูลที่ยื่นขอประเมิน
- **การสนับสนุนการพัฒนา**: การลดระยะเวลาการประเมินและเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินจะช่วยสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาในสาขา synthetic biology

<u>การนำไปใช้</u>

- **การนำเสนอแนวคิด:**
    - จัดประชุมร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเสนอแนวคิดและรับฟังความคิดเห็น
    - ปรับปรุงกระบวนการตามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่ได้รับ
- **การนำร่อง:**
    - เลือกโครงการนำร่องเพื่อทดลองใช้กระบวนการ pre-assessment และเก็บข้อมูลเพื่อติดตามผล
- **การประเมินและปรับปรุง:**
    - ประเมินผลการดำเนินการนำร่องและปรับปรุงกระบวนการตามผลการประเมิน
    - ขยายการใช้กระบวนการ pre-assessment กับโครงการอื่น ๆ ตามความเหมาะสม

สรุป

การใช้กระบวนการ pre-assessment ในการประเมินความปลอดภัยของโครงการที่เกี่ยวข้องกับ synthetic biology เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการลดระยะเวลาการประเมินและเพิ่มประสิทธิภาพในการเตรียมความพร้อมของผู้ประกอบการ ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการพัฒนาและการวิจัยในสาขานี้ในประเทศไทย

ข้อเสนอแนะ

ประเด็นกฎระเบียบและการกำกับดูแลที่ควรพิจารณาในการพัฒนาแผนที่นำทาง

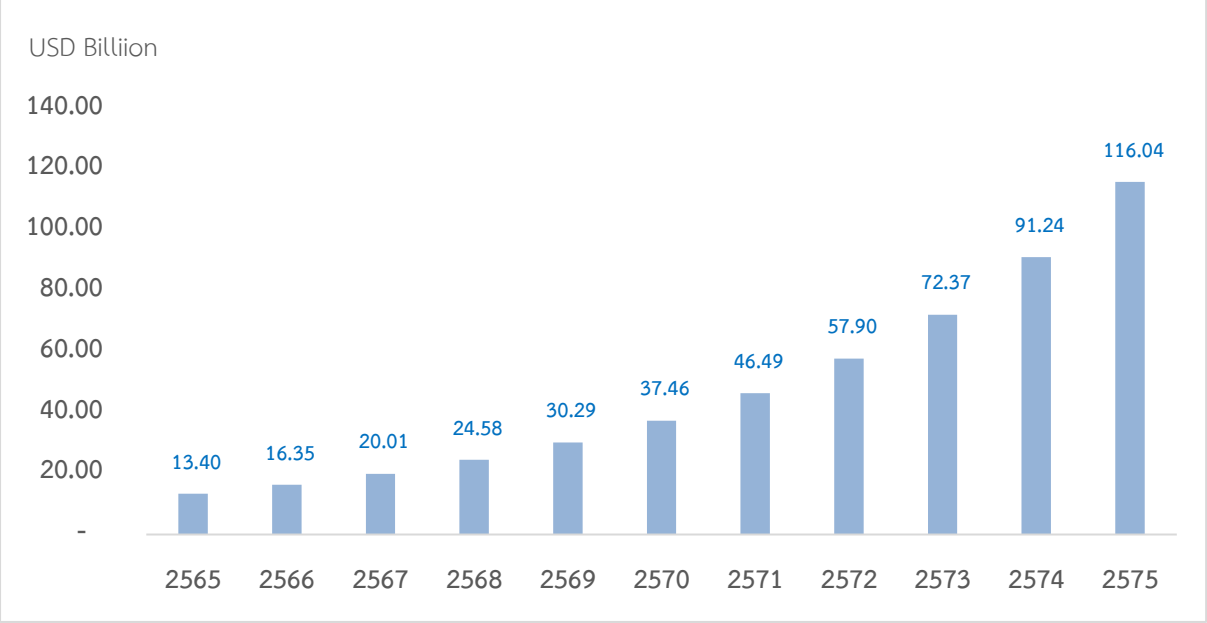
1. **การประเมินความเสี่ยงและการจัดการความเสี่ยง**:
    - ใช้หลักเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงที่มีอยู่ในปัจจุบันในการกำกับดูแล synthetic biology และพิจารณาการพัฒนากรอบการประเมินความเสี่ยงเพิ่มเติมสำหรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ
    - การใช้มาตรการการป้องกันเพื่อจัดการกับความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ในขณะที่ยังคงส่งเสริมการวิจัยและนวัตกรรม
2. **การพัฒนาและการทบทวนกฎระเบียบ**:
    - พิจารณาการปรับปรุงกฎระเบียบให้ทันสมัยและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี
    - ติดตามความก้าวหน้าและการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง
3. **การสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศ**:
    - การร่วมมือกับองค์กรและประเทศอื่น ๆ เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและแนวทางปฏิบัติที่ดีในการกำกับดูแล synthetic biology
    - การเข้าร่วมและมีส่วนร่วมในการอภิปรายระหว่างประเทศเกี่ยวกับการกำกับดูแล synthetic biology
4. **การเสริมสร้างความตระหนักและการศึกษา**:
    - การให้ข้อมูลและสร้างความตระหนักในหมู่ประชาชนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเกี่ยวกับความสำคัญของการกำกับดูแล synthetic biology
    - การจัดฝึกอบรมและพัฒนาทักษะสำหรับนักวิจัยและผู้เกี่ยวข้องในการประเมินและจัดการความเสี่ยง

3. สถานภาพการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกและประเทศไทย

ทิศทางความต้องการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีตลอดจนการสร้างระบบนิเวศที่ส่งเสริมการเร่งรัดพัฒนาให้เกิดการสร้างความสามารถและใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าว โดยเนื้อหาในบทนี้เป็นการนำเสนอสถานภาพแนวโน้มการเติบโตของตลาดและการขยายตัวของการลงทุนของโลก สำหรับประเทศไทยเป็นการนำเสนอสถานภาพของธุรกิจที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีดังกล่าว และตัวอย่างของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านชีววิทยาสังเคราะห์

3.1 สถานภาพและแนวโน้มการตลาดผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก

เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มีศักยภาพในการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพให้เติบโตอย่างยั่งยืน ทั้งนี้มีการคาดว่ามูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกจะเพิ่มจาก 13.4 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2565 เพิ่มเป็น 116 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2575 โดยมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 28 ระหว่างปี พ.ศ. 2565-2575 (Precedence Research, 2023)[37] และมีศักยภาพจะเพิ่มเป็น 700 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2583 (CSIRO,2021)[38]



รูปที่ 3-1: มูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก

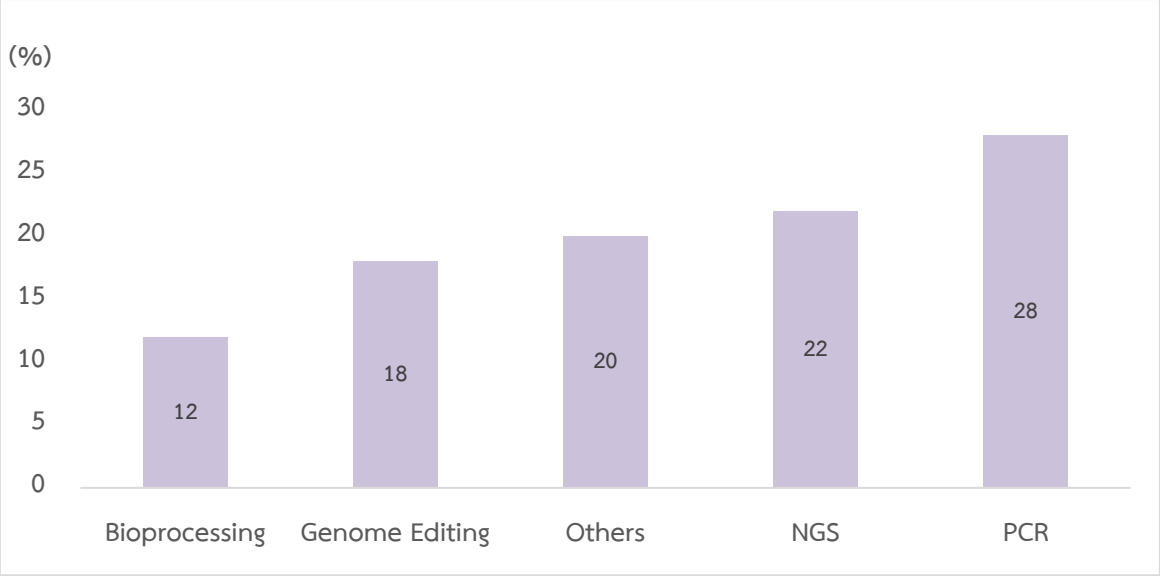
ที่มา: Precedence Research, 2023

[37] Precedence Research (2023) Synthetic Biology Market- Global Market Size, Share, Trends Analysis, Segment Forecast, Regional Outlook 2023 - 2032

[38] Williams, G. et al (2021) A National Synthetic Biology Roadmap: Identifying commercial and economic opportunities for Australia., Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)

ตลาดชีววิทยาสังเคราะห์สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มเทคโนโลยี (technologies) 2) กลุ่มผลิตภัณฑ์ (products) และ 3) กลุ่มของการประยุกต์ใช้ (applications) เทคโนโลยีดังกล่าว ดังนี้

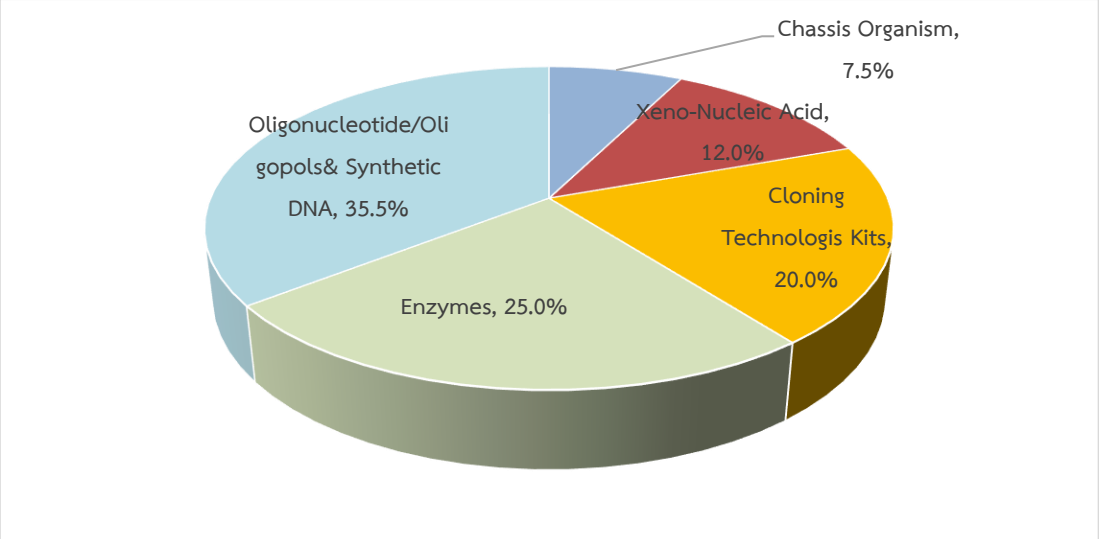
1) ตลาดชีววิทยาสังเคราะห์จำแนกตามประเภทของเทคโนโลยี เทคโนโลยี PCR เป็นเทคโนโลยีที่มีส่วนแบ่งตลาดสูงสุดประมาณร้อยละ 28 ของมูลค่าตลาดปี พ.ศ. 2565 เทคโนโลยีในกลุ่มนี้คาดว่าจะยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความได้เปรียบของเทคโนโลยีที่ตรวจจับได้อย่างแม่นยำและมีความไวที่ดีเยี่ยม เอื้อต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในการวินิจฉัยในระดับโมเลกุลเพื่อการรักษาเชิงป้องกันและยังเป็นเทคโนโลยีจำเป็นในการวิจัยด้านอนูชีววิทยาทุกรูปแบบ โดยมีการคาดการณ์ว่าตลาดของเทคโนโลยี PCR จะเติบโตจาก 3.75 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2565 เพิ่มเป็น 33.15 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2575 สำหรับเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม (genome editing technology) ได้รับการคาดการณ์ว่าจะมีอัตราการเติบโตสูงเช่นกัน มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อการป้องกันและรักษาโรคของมนุษย์แบบจำเพาะ นอกจากนี้ ยังมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการเกษตร เป็นต้นว่าการปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้ลักษณะพันธุ์พืชหรือสัตว์ที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ โดยคาดว่าเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมจะมีมูลค่าตลาดเพิ่มขึ้นจาก 2.41 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2565 เพิ่มเป็น 21.95 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2575



รูปที่ 3-2: อัตราการเติบโตของมูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกจำแนกตามประเภทเทคโนโลยี

ที่มา: Precedence Research, 2023

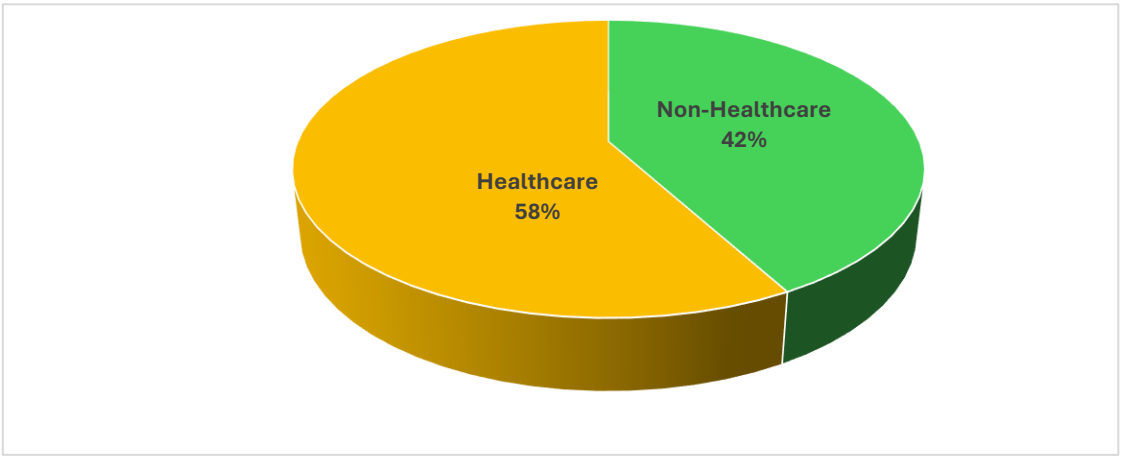
2) ตลาดชีววิทยาสังเคราะห์จำแนกตามประเภทของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการเติบโตสูง คือ โอลิโกนิวคลีโอไทด์ (Oligonucleotides) ที่ใช้ทดสอบลักษณะทางพันธุกรรมและงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ การใช้งานที่เพิ่มขึ้นมากสาเหตุหลักเกิดจากค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ลำดับของโอลิโกนิวคลีโอไทด์ที่ลดลงมาก เหลือประมาณ 8 เซนต์ต่อเบส (หรือประมาณ 3 บาท/เบส) มีการคาดการณ์ว่ามูลค่าตลาดของโอลิโกนิวคลีโอไทด์จะเพิ่มจาก 4.76 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2565 เป็น 42.87 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2575 ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนแบ่งตลาดรองลงมา คือ เอนไซม์ที่เติบโตจากความต้องการนำไปใช้ทดแทนสารเคมีในกระบวนการผลิต รวมถึงด้วยคุณสมบัติที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมส่งให้ตลาดเติบโตอย่างรวดเร็วจาก 3.35 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2565 เพิ่มเป็น 29.30 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2575



รูปที่ 3-3: อัตราการเติบโตของมูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์

ที่มา : Precedence Research, 2023

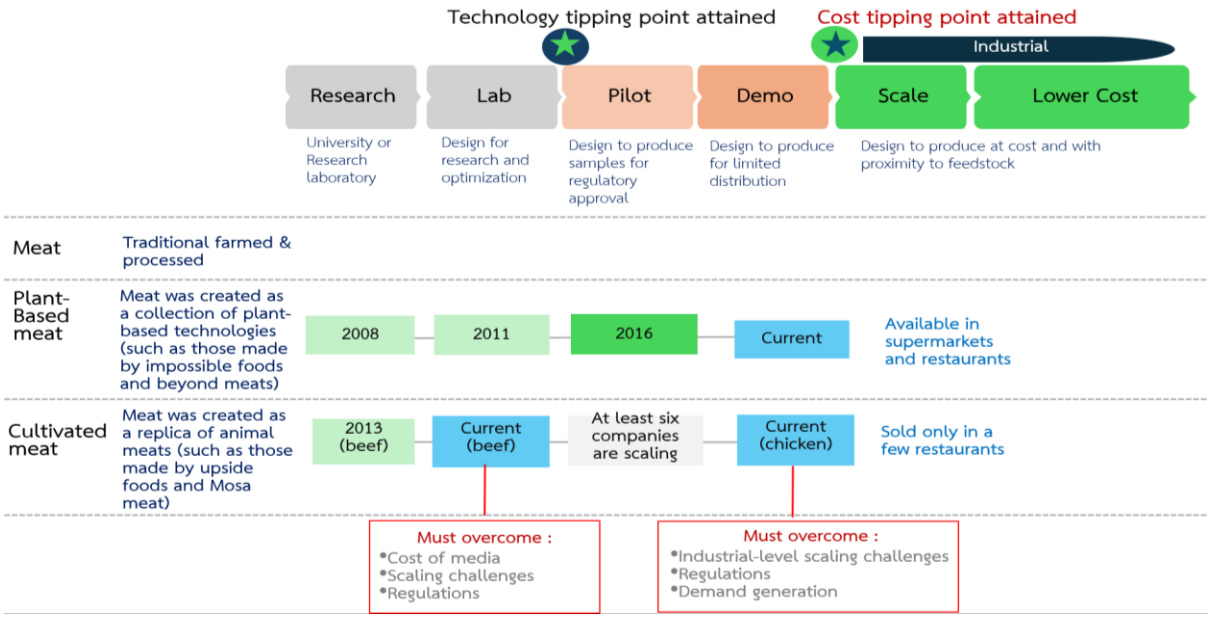
3) ตลาดชีววิทยาสังเคราะห์จำแนกตามการนำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ อุตสาหกรรมสุขภาพและการแพทย์เป็นกลุ่มที่มีการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าวที่หลากหลาย เช่น การตรวจวินิจฉัยโรค การวินิจฉัยการติดเชื้อ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างภูมิคุ้มกันให้กับผู้ป่วย เช่น การนำเทคโนโลยี Chimeric Antigen Receptor (CAR) ที่สร้างแอนติเจนและนำไปปลูกถ่ายให้กับเซลล์เพื่อสร้างภูมิคุ้มกันให้กับผู้ป่วยโรคมะเร็ง รวมถึงนำไปพัฒนาเป็นยาชนิดใหม่ สำหรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมเกษตร หรือเคมีชีวภาพมีการอัตราการใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นเช่นกันโดยมีการคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2575 ตลาดจะมีมูลค่า 52.67 พันล้านเหรียญสหรัฐ



รูปที่ 3-4: อัตราการเติบโตของมูลค่าตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกจำแนกตามการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

ที่มา : Precedence Research, 2023

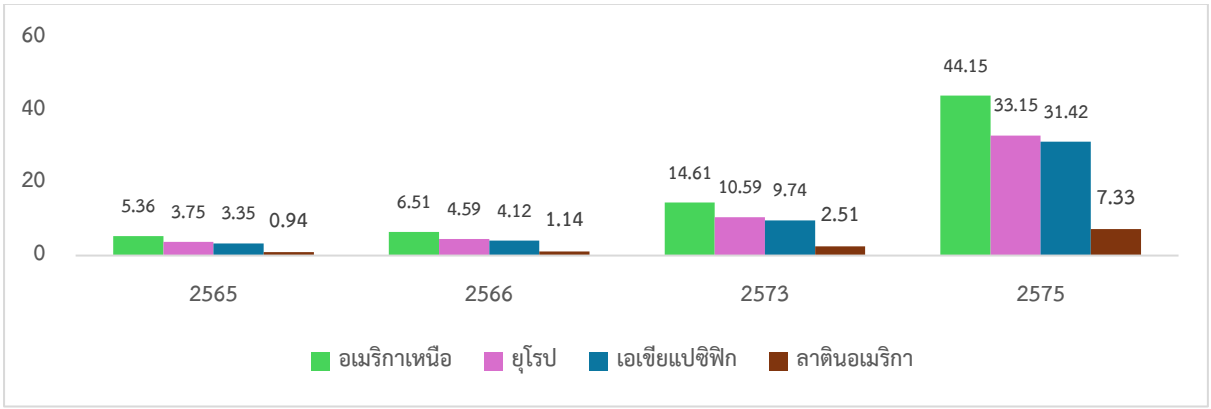
ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเพาะเลี้ยงเนื้อเพื่อการบริโภคจากเซลล์ (cultured meat) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีด้าน synthetic biology ที่มีความก้าวหน้ามากที่สุดรองจากผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ ความท้าทายสำคัญของการผลิตในระดับพาณิชย์คือการลดต้นทุนการผลิต การสร้างความสามารถในการขยายกำลังการผลิตทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับอุตสาหกรรม การปฏิบัติตามกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงความต้องการของตลาดซึ่งปัจจุบันอาจมีค่อนข้างจำกัด



รูปที่ 3-5: ความท้าทายของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ที่มา : BCG Interviews and research, 2022

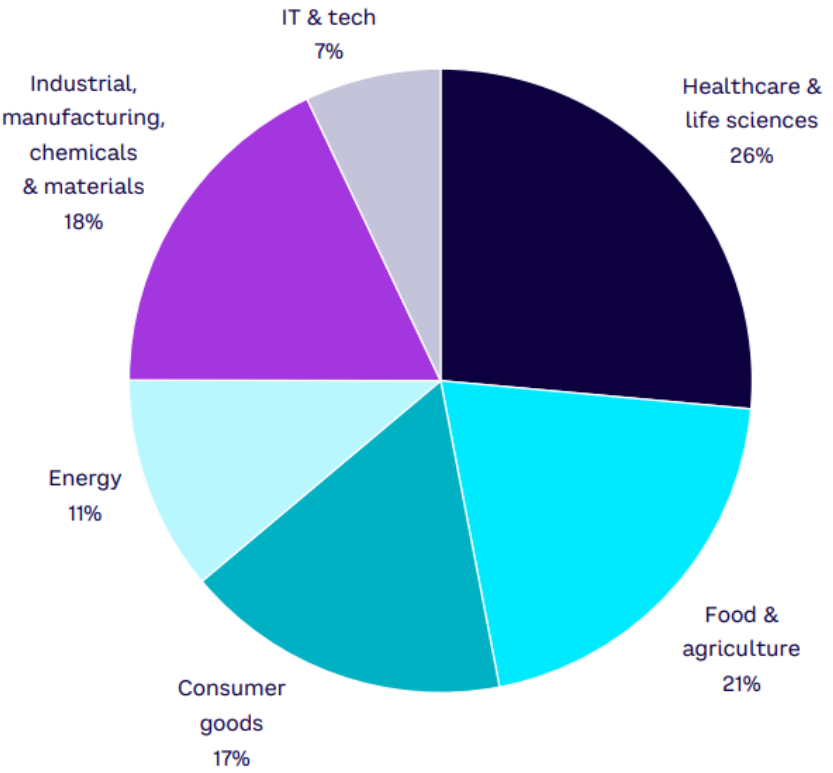
ตลาดชีววิทยาสังเคราะห์หลักปัจจุบันอยู่ในทวีปอเมริกาเหนือ รองลงมาได้แก่ ทวีปยุโรป ทวีปเอเชีย และแปซิฟิก อย่างไรก็ดี มีการคาดการณ์ว่าตลาดเอเชียและแปซิฟิกจะมีการเติบโตสูงสูด โดยปี พ.ศ. 2575 มีการคาดการณ์ว่ามูลค่าตลาดของชีววิทยาสังเคราะห์ของเอเชียตะวันออกจะมีมูลค่า 31.42 พันล้านเหรียญสหรัฐโดยเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2565 สูงถึง 10 เท่าตัว



รูปที่ 3-6: ตลาดชีววิทยาสังเคราะห์ที่สำคัญของโลก

ที่มา : Precedence Research, 2023

Arthur D Little (2024) [39] สำรวจความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทั่วโลกเกี่ยวกับอุตสาหกรรมที่คาดว่าจะได้รับประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ในระยะ 10 ปีข้างหน้า โดยร้อยละ 26 ของผู้ตอบระบุว่าสาขาสุขภาพและชีววิทยาศาสตร์เป็นสาขาที่จะได้รับประโยชน์มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ สาขาอาหารและการเกษตร (ร้อยละ 21) สาขาอุตสาหกรรมการผลิต เคมีภัณฑ์ และวัสดุ (ร้อยละ 18) ดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7: สาขาที่คาดว่าจะได้รับประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ที่มา : Arthur D Little, 2024

เมื่อนำตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มาจัดตาม Gartner-type cycle จำแนกตามสาขา สรุปได้ดังนี้

สาขาสุขภาพและชีววิทยาศาสตร์ ได้แก่ การใช้โมโนโคนอลแอนติบอดีเป็นเทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ขณะที่การรักษาโรคด้วยการใช้ยีนบำบัดเป็นเทคโนโลยีที่เริ่มมีการนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มาปรับใช้มากขึ้น

สาขาอาหารและการเกษตร เช่น การผลิตเนื้อสัตว์จากการเพาะเลี้ยงเซลล์ด้วยเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มีการนำมาปรับใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตสินค้าเกษตรและอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากรโลกภายใต้การมีอยู่อย่างจำกัดของทรัพยากร

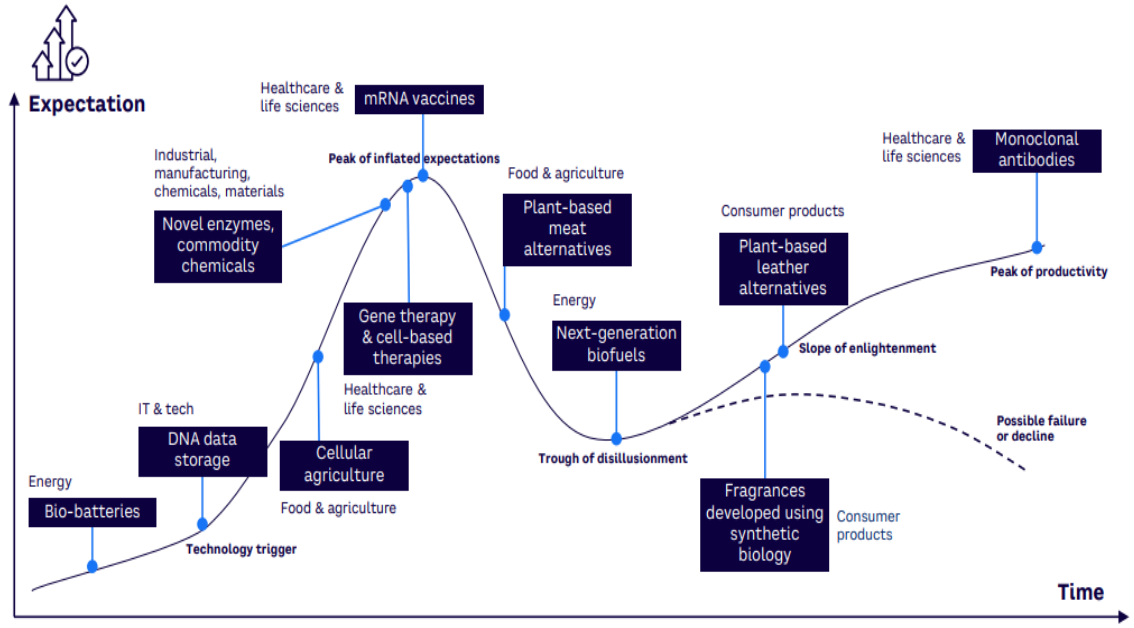
[39] Arthur D Little.2024. The brave new world of synthetic biology : Major impacts, significant challenges.

สาขาอุตสาหกรรมการผลิต เคมีภัณฑ์ และวัสดุ เช่น การพัฒนาเอนไซม์ชนิดใหม่สำหรับอุตสาหกรรมปลายน้ำ และสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสินค้าโภคภัณฑ์อยู่ในช่วงที่ตลาดเติบโตเป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ส่วนหนึ่งเกิดจากความร่วมมือกับระหว่างบริษัทผู้ซื้อ (เช่น Unilever) และบริษัทผู้พัฒนาเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

สาขาสินค้าอุปโภค บริโภค ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มีการนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มาใช้ประโยชน์และผู้บริโภคมีความเข้าใจและเห็นประโยชน์รวมถึงเป็นเทคโนโลยีที่สามารถตอบโจทย์ความยั่งยืนให้กับผู้บริโภค ซึ่งผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เช่น การผลิตหนังที่ผลิตจากพืช

สาขาพลังงาน การนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเริ่มลดบทบาทลง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงแหล่งพลังงานขนส่งไปสู่พลังงานรูปแบบอื่น เช่น ไฟฟ้า แต่ยังคงมีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นต่อไปที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้หรือในกระบวนการผลิตที่เกิดผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ร่วมด้วย รวมไปถึงการพัฒนาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน และการขนส่งที่ไม่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้

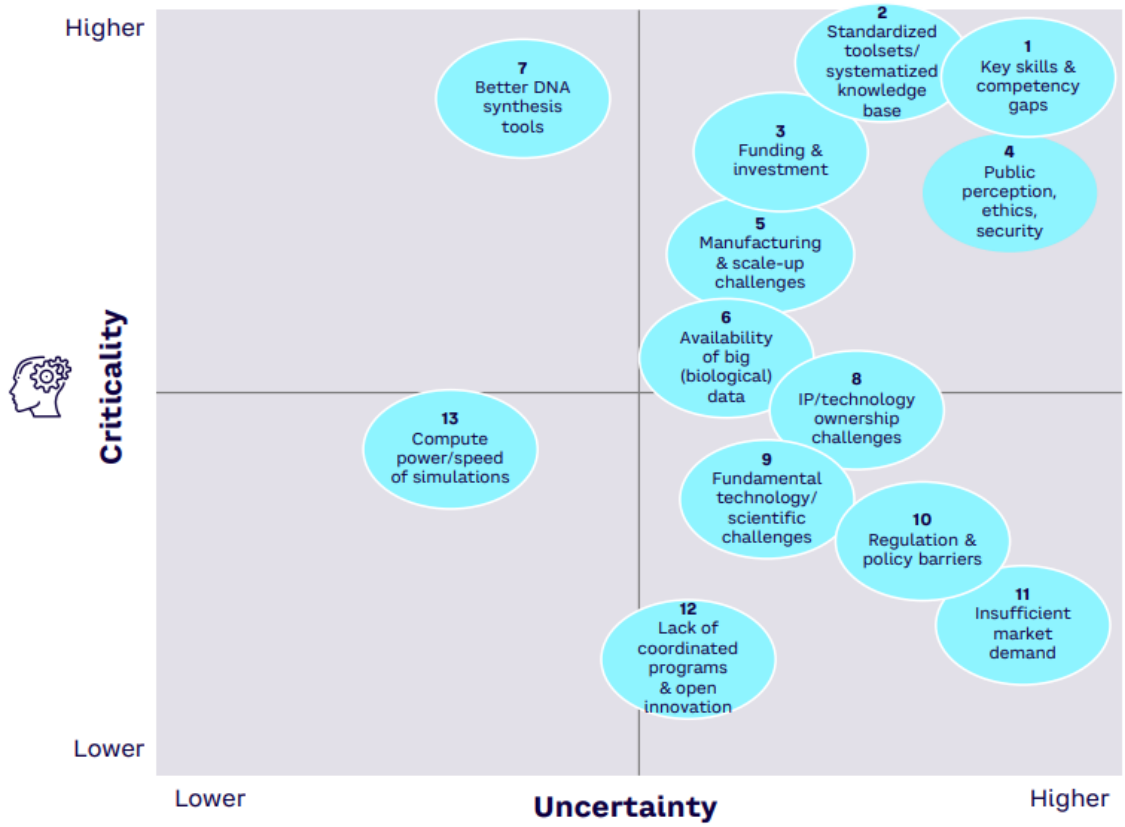
สาขาไอทีและเทคโนโลยี อยู่ในช่วงเริ่มต้นของความร่วมมือระหว่างผู้พัฒนาเทคโนโลยี เช่น Twist, Microsoft, Illumina, Dell) และบริษัทผู้พัฒนาเทคโนโลยีด้านชีววิทยาสังเคราะห์ที่มีการพัฒนาเครื่องมือเพื่ออำนวยความสะดวกในการวิจัยและให้ความสำคัญในการจัดเก็บข้อมูล DNA เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3-8: แสดงวัฏจักรของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ (Gartner-type cycle)

ที่มา : Arthur D Little, 2024

แม้ว่าเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์จะได้รับการคาดหมายว่าจะเป็นเทคโนโลยีที่สร้างผลกระทบสูงทั้งในเชิงเศรษฐกิจ และสังคมก็ตาม แต่มีประเด็นท้าทายส่งผลต่อการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าวที่สำคัญ 5 อันดับแรก ได้แก่ 1) ทักษะและขีดความสามารถของที่สำคัญของผู้ใช้ประโยชน์ 2) ความสามารถในการกำหนดมาตรฐาน เครื่องมือรวมถึงความสามารถในการวัด และความรู้พื้นฐานเพื่อการพัฒนาต่อยอด 3) การสนับสนุนด้านงบประมาณทั้งการวิจัยและการลงทุนทางธุรกิจ 4) การยอมรับของสังคม ประเด็นทางจริยธรรม และความเป็นส่วนตัว และ 5) ความท้าทายในการผลิตระดับขยายขนาดและการผลิตในระดับอุตสาหกรรมให้มีต้นทุนที่แข่งขันได้



รูปที่ 3-9: แสดงปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ที่มา : Arthur D Little, 2024

3.2 สถานภาพและทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก

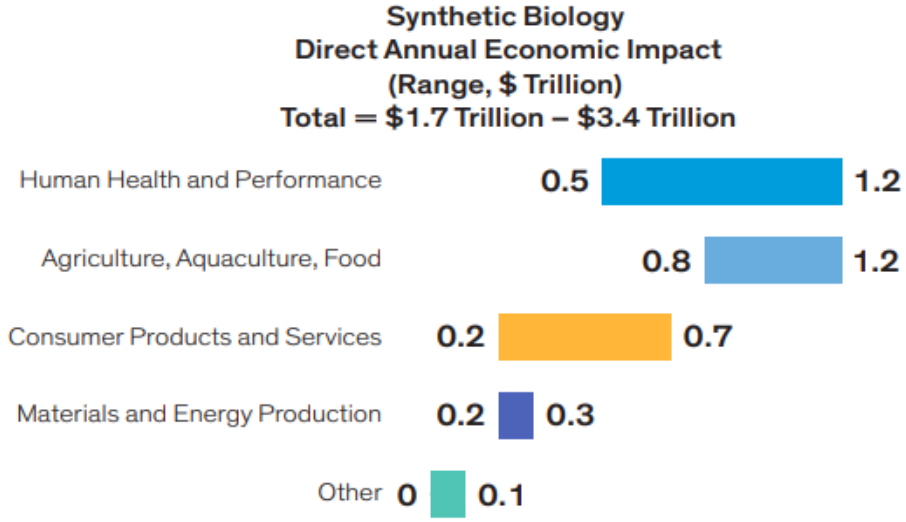
BCG Henderson Institute[40] ประเมินว่าในปี พ.ศ. 2573 เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์จะสร้างมูลค่าเศรษฐกิจรวมสูงถึงหนึ่งในสามของ GDP ของโลก ประเทศสหรัฐอเมริกาคาดว่ามูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นจากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์จะส่งผลให้สัดส่วนต่อ GDP เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 21 ในปี พ.ศ. 2565 เพิ่มเป็นร้อยละ 24 ในปี พ.ศ.2573 สำหรับสหราชอาณาจักร เทคโนโลยีดังกล่าวคาดว่าจะเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้อีก 1 เท่าตัวเมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2563 โดยสัดส่วนต่อ GDP จะเพิ่มเป็นร้อยละ 2 ในปี พ.ศ. 2573

ที่มา : รวบรวมโดยฝ่ายศึกษาวิจัยนโยบายและความปลอดภัยทางชีวภาพ

Alliance Bernstien (2021) ที่ประเมินว่าเทคโนโลยีนี้มีศักยภาพผลกระทบได้สูงถึง 1.7-3.4 ล้านล้านเหรียญสหรัฐ ทั้งนี้สาขาเศรษฐกิจที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบสูง ได้แก่ สาขาด้านสุขภาพ รองลงมาได้แก่ สาขาการเกษตร ประมง และอาหาร และสาขาที่เกี่ยวข้องการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคและสาขาบริการ[41]

[40] BCG Henderson Institute,(2023) How Synthetic Biology Can Make a Materials Difference. https://www.bcg.com/publications/2023/how-synthetic-biology-materials-can-make-a-difference

[41] Alliance Bernstien, (2021) The Synthetic Biology Revolution: Investing in the Science of Sustainability. https://www.alliancebernstein.com/corporate/en/insights/investment-insights/the-synthetic-biology-revolution.html

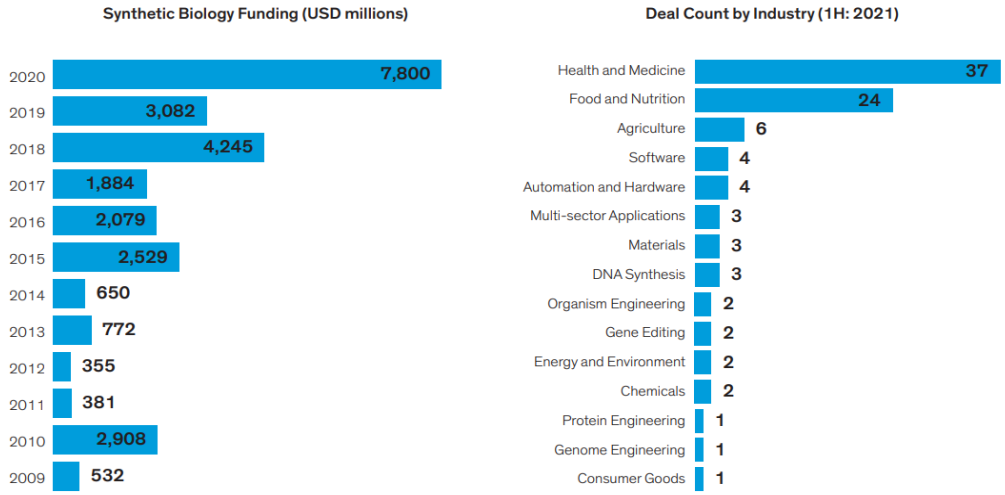


รูปที่ 3-10: การคาดการณ์ผลกระทบจากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ที่มา : Alliance Bernstien, 2021

กลไกสำคัญในการเร่งรัดพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก สรุปได้ดังนี้

การลงทุนทั่วโลกเพื่อการพัฒนาและลงทุนที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์เติบโตอย่างรวดเร็ว จาก 532 ล้านเหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2552 เพิ่มเป็น 7,800 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2564 โดยร้อยละ 37 เป็นการลงทุนในสาขาสุขภาพและยา รองลงมาได้แก่ สาขาอาหารและโภชนาการ และสาขาเกษตร

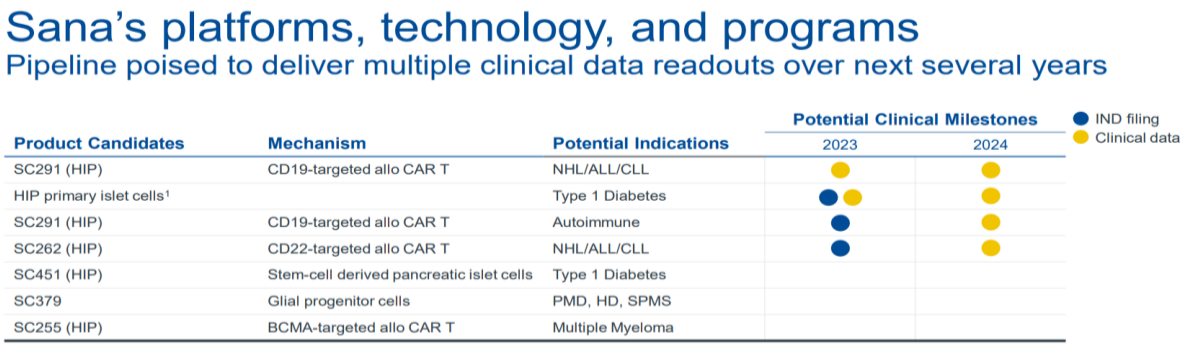


รูปที่ 3-11: มูลค่าการลงทุนการพัฒนาเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ที่มา : AllianceBernstein,2021.

บริษัท Sana Biotechnology สำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีมูลค่าการลงทุน 700 ล้านเหรียญสหรัฐ โดยเลือกลงทุนในกิจการที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีวภาพด้านสุขภาพ ด้านชีววิทยาศาสตร์ (life science) เป็นการใช้ความรู้ในการปรับแต่งยีนเพื่อแก้ปัญหาโรคสำคัญ เช่น มะเร็ง และเบาหวาน ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขั้นตอนการทดสอบทางคลินิก อันเป็นผลจากการลงทุนวิจัยและพัฒนาจำนวนมากและต่อเนื่อง ดังเห็นได้จากครึ่งแรก

ของปี พ.ศ. 2566 บริษัทมีค่าใช้จ่ายประมาณ 200 ล้านเหรียญสหรัฐ ในจำนวนนี้เป็นค่าใช้จ่ายในการวิจัยและพัฒนามากถึงร้อยละ 70 ของค่าใช้จ่าย โดยส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายเพื่อการวิจัยทางคลินิกเป็นหลัก[42]



รูปที่ 3-12: ผลิตภัณฑ์เป้าหมายของบริษัท Sana Biotechnology

ที่มา : Sana Biotechnology, 2023.

บริษัท Impossible Food[43] มีมูลค่าการลงทุนประมาณ 500 ล้านเหรียญสหรัฐ ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2554 จ้างงานจำนวน 750 คน โดยสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ในรัฐแคลิฟฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา บริษัทได้วางจำหน่ายผลิตภัณฑ์เบอร์เกอร์จากเนื้อเทียมที่ผลิตจากพืชที่มีเนื้อสัมผัสคล้ายคลึงกับเนื้อสัตว์ในปี พ.ศ. 2559 ในเวลาต่อมาบริษัทวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์อีกหลายชนิด เช่น ไส้กรอก หมู ไก่

รูปที่ 3-13: ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของบริษัท Impossible Food

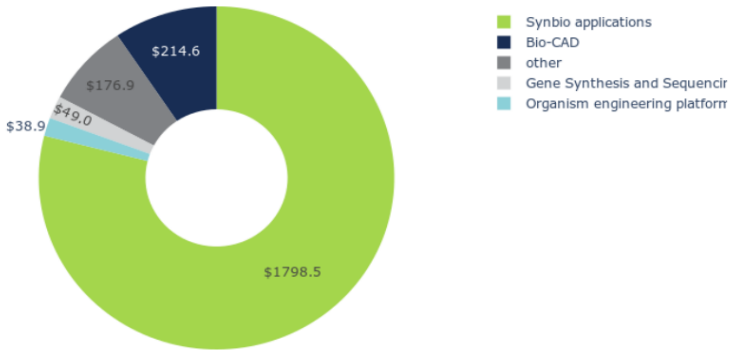
ที่มา : https://impossiblefoods.com/products/sausage

การลงทุนของบริษัท Venture Capital ด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ในไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2566 มีมูลค่าการลงทุน 1,798.5 ล้านบาท ในจำนวนนี้เป็นการลงทุนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กลุ่มสุขภาพและยาจำนวน 1,430 ล้านเหรียญสหรัฐ รองลงมาได้แก่ สาขาวัสดุศาสตร์ จำนวน 141 ล้านเหรียญสหรัฐ รองลงมาเป็นการพัฒนาในกลุ่ม Bio-CAD (Computer-aided design) รวมถึงซอฟท์แวร์สำหรับออกแบบและจำลองเนื้อเยื่อชีวภาพ การแสดงออกของยีน และการสร้างแบบจำลองกระบวนการทำงานของโครงสร้างทางชีวภาพ โดยมูลค่าการลงทุนในด้านนี้ประมาณ 215 ล้านเหรียญสหรัฐ มูลค่าการลงทุนเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้ามากถึง 165 ล้านเหรียญสหรัฐ รวมถึง

[42] Sana Biotechnology.(2023).PIPELINE. https://sana.com/our-pipeline/.

[43] Impossible Food. (2023). Impossible products. https://impossiblefoods.com/products/sausage.

การลงทุนใน Cloud labs ที่มีเป้าหมายเพื่อใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีด้าน AI และระบบอัตโนมัติเพื่อเสริมประสิทธิภาพ และความรวดเร็วในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์[44]



รูปที่ 3-14: เป้าหมายการลงทุนที่เกี่ยวข้องกับ Synthetic Biology ของ Venture Capital

ที่มา :SynBioBeta, 2023.

รูปแบบการนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ไปใช้ประโยชน์มีหลากหลายโดยเป้าหมายหลักเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดต้นทุนการผลิต พัฒนานวัตกรรมเพื่อเพิ่มความมั่นคงด้านอาหาร ความสามารถในการฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วต่อวิกฤติทั้งด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือการระบาดของโรค รวมไปถึงการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มความยั่งยืนของทรัพยากร ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1: ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของต่างประเทศ

สาขา	รูปแบบการใช้ประโยชน์
เกษตร	• การปรับปรุงพันธุ์ให้มีลักษณะที่ต้องการ เช่น ให้ผลผลิตสูง ทนต่อโรค และแมลง • การพัฒนาแบคทีเรียให้มีคุณสมบัติช่วยให้พืชสามารถใช้ประโยชน์จากปุ๋ยได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมถึงสร้างภูมิคุ้มเพื่อป้องกันแมลงและโรค • การพัฒนาวิธีการทางชีวภาพเพื่อฟื้นฟูและปรับสภาพดินที่เปื้อนสารเคมีตกค้าง เช่น ไกลโฟเสต • การพัฒนาสารชีวภาพในการกำจัดศัตรูพืช
อาหาร	• เนื้อสัตว์จากการเพาะเลี้ยง (cultured meat) เช่น เนื้อวัว เนื้อไก่ เนื้อเป็ด • การพัฒนาสารปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น nootkatone, valencene, vanillin and L-arabinose • ผลิตภัณฑ์นมจากกระบวนการหมักด้วยการใช้จุลินทรีย์ • กระบวนการผลิตอาหารที่ใช้พลังงานต่ำ
วัสดุคอมโพสิตชีวภาพ	• การผลิตหนังชีวภาพจากยีสต์ หรือรา • การผลิตเส้นใยด้วยการพัฒนาให้จุลินทรีย์มีคุณสมบัติพิเศษ • การพัฒนาจุลินทรีย์เปลี่ยนมีเทนเป็นพลาสติกชีวภาพ
เคมีชีวภาพ	• การพัฒนากระบวนการผลิตสารเคมีหรือส่วนประกอบทางเคมีจากพืช หรือของเสียแทนการผลิตจากปิโตรเลียม เช่น bio-BDO
สุขภาพและการแพทย์	• การพัฒนาวัคซีน เช่น โควิด-19

[44] Bünger, M. et al (2023) SynBioBeta 2023 Investment Report. Insights Into Synthetic Biology Trends, The Global Synthetic Biology Conference

สาขา	รูปแบบการใช้ประโยชน์
	• ผลิตภัณฑ์ biologicals • ผลิตภัณฑ์แอนติบอดี้ • ผลิตภัณฑ์ cell-free sensors • การออกแบบโครงสร้างโมเลกุลเพื่อควบคุมปริมาณกลูโคสในเลือดสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน
พลังงาน	• เชื้อเพลิงชีวภาพที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ติดลบ • เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เทคโนโลยีดักจับคาร์บอน

ที่มา : François Candelon et.al. (2022) , Lanteng Wang, Xin Zang, Jiahai Zhou (2022)

3.3 แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของโลก

แนวทางการพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีและส่งเสริมการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศชั้นนำ รายละเอียดดังตารางที่ 3-2 และ 3-3 โดยมีประเด็นร่วมที่สำคัญสรุปได้ดังนี้

1) ประเทศผู้นำเล็งเห็นศักยภาพของเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ต่อการพัฒนาประเทศทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และการพัฒนาที่ยั่งยืน และเมื่อประเทศมีความพร้อมด้านเทคโนโลยีมากขึ้นหลายประเทศจึงกำหนดให้เป็นเทคโนโลยีเป้าหมายสำคัญของประเทศ เช่น สหราชอาณาจักรกำหนดเป็น 1 ใน 6 เทคโนโลยีเป้าหมายของประเทศ และประเทศเกาหลีใต้กำหนดเป็น 1 ใน 12 เทคโนโลยีเป้าหมาย
2) เป้าหมายการพัฒนาในระยะแรกมุ่งเน้นสร้างความพร้อมด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ในทุก ๆ ด้าน ด้วยการเร่งสร้างความสามารถทางเทคโนโลยี การเตรียมกำลังคนเชี่ยวชาญ การเตรียมความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานด้วยการจัดสรรงบประมาณต่อเนื่อง รวมถึงการใช้กลไกเครือข่ายทั้งในและต่างประเทศ
3) การพัฒนากำลังคนด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ครอบคลุมทั้งการสร้างบุคลากรใหม่ การพัฒนาทักษะเพิ่มเติมสำหรับผู้ที่ทำงานในภาคอุตสาหกรรมหรือผู้สำเร็จการศึกษาแล้ว โดยหลักสูตรการพัฒนากำลังคนให้ความสำคัญกับการเพิ่มทักษะความเชี่ยวชาญในเชิงบูรณาการทั้งด้านชีววิทยา ด้านวิศวกรรม และการนำเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์เพื่อเร่งรัดการพัฒนานวัตกรรม
4) การสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ให้ความสำคัญกับการเพิ่มจำนวนห้องปฏิบัติการให้มีมากและหลากหลาย การสร้างสถาบันวิจัยเฉพาะทางโดยการเชื่อมโยงและทำงานร่วมกับห้องปฏิบัติการต่าง ๆ และการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานโดยบริหารในลักษณะเป็นโครงสร้างพื้นฐานเปิดเพื่อให้ทุกภาคส่วนได้ใช้ประโยชน์และเพิ่มความคุ้มค่าในการลงทุน
5) การส่งเสริมการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาให้ความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเร่งรัดพัฒนาผู้ประกอบการในกลุ่ม startup และการส่งเสริมผู้ประกอบการกลุ่ม SMEs ในการนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ไปปรับใช้ด้วยการจัดตั้งกองทุนเพื่อสนับสนุนผู้ประกอบการ การสร้างกลไกตลาดเพื่อส่งเสริมให้ผู้ประกอบการพัฒนานวัตกรรม และการจัดตั้ง Consortium เพื่อเป็นกลไกเชื่อมโยงระหว่างเอกชน-สถาบันวิจัย-รัฐบาล
6) การจัดให้มีผู้บริหารจัดการติดตาม ประเมินผลความสำเร็จของการดำเนินงานตามเป้าหมายหรือแผนงานที่กำหนดรวมถึงจัดทำข้อเสนอเพื่อการพัฒนาเพิ่มเติม เช่น Synthetic Biology Research

Center (Synberc) ของประเทศสหรัฐอเมริกา และ Department for Science, Innovation and Technology ของสหราชอาณาจักร

7) การสร้างความรู้ ความเข้าใจ และการตระหนักรู้ให้กับภาคส่วนต่าง ๆ เป็นประเด็นแรก ๆ ที่ประเทศผู้นำให้ความสำคัญควบคู่ไปกับการเร่งรัดพัฒนาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี รวมถึงการพัฒนาแนวทางการกำกับดูแลทั้งในด้านความปลอดภัยและประเด็นทางด้านจริยธรรม

ตารางที่ 3-2: กลไกการสร้างและพัฒนา synthetic biology ของประเทศสหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร และสาธารณรัฐประชาชนจีน

	สหรัฐอเมริกา	สหราชอาณาจักร	สาธารณรัฐประชาชนจีน
นโยบาย/วิสัยทัศน์	• 2012-U.S. National Bioeconomy Blueprint • 2015-National Academies Industrialization of Biology Roadmap • 2019-Engineering Biology A Research Roadmap for the Next-Generation Bioeconomy	• 2010-2012 รัฐลงทุนปีละ 100 ลบ. • 2012-Synthetic Biology Roadmap for the UK • 2023-เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์เป็น 1 ใน 6 เทคโนโลยียุทธศาสตร์ของประเทศ รัฐบาลให้คำมั่นลงทุน 2 พันล้านปอนด์ (91,240 ลบ.) ต่อเนื่อง 10 ปี	• 2006-SynBio research has been listed in National High-tech R&D Program • 2008-Key Lab of Synthetic Biology • 2010-National Basic Research Program of China • 2018-Ministry of Science and Technology initiated a national key R&D program on “synthetic biology” • 2021- เป็น cutting-edge tech. ในการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพซึ่งเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์ของชาติ • 2022- Centers for SynBio Technology Innovation • รัฐบาลท้องถิ่นส่งเสริมอุตสาหกรรม SynBio
การสร้างคน	• International Genetically Engineered Machines (iGEM) • การพัฒนาผู้สำเร็จการศึกษาด้านวิศวกรรมให้มีความเชี่ยวชาญด้านชีววิทยาสังเคราะห์เพิ่มเติม	• University-based courses • Retraining courses • iGEM • SynbiCITE's Business Education and Training	• การจัดการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี-โท-เอก และ หลักสูตรระยะสั้น • เข้าร่วมในการแข่งขันใน iGEM อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 • 2022-Synthetic Biology Innovation Competition • The Code of Conduct for Biological Scientists for SynBio governance
การสร้างความรู้	• รัฐบาลลงทุนด้าน SynBio ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 ด้วยมูลค่า 140 ล้านเหรียญสหรัฐ • การสร้างความรู้ทั้งพื้นฐาน (NSF) Synthetic Biology Engineering Research Center (SynBERC) ในปี ค.ศ. 2006 และหน่วยงานพัฒนา ด้านการประยุกต์ใช้ SynBio เช่น DOE HHS ตั้งแต่	• 7 Basic Center • UK Govt. synthetic biology for growth program • SynbiCITE Innovation and Knowledge Centre. • เน้นสร้างความร่วมมือกับต่างประเทศเพื่อยกระดับคุณภาพของผลงานตีพิมพ์ให้สูงขึ้น ผลงานตีพิมพ์ 65% เกิดจากความร่วมมือกับผู้เขียน	• 2000-จัดตั้ง SynBio research centers ทั้งในสถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัย เพื่อเร่งสร้างองค์ความรู้การพัฒนาเครื่องมือและการประยุกต์ใช้ ส่งผลให้มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมากกว่า 100 แห่งทั่วประเทศ

	สหรัฐอเมริกา	สหราชอาณาจักร	สาธารณรัฐประชาชนจีน
	ปี ค.ศ. 2007 (ลงทุนมากกว่า 700 ล้านเหรียญสหรัฐ)	ต่างประเทศอย่างน้อย 1 คน (2018-2022)	
การสร้างโครงสร้างพื้นฐาน	• มีการจัดตั้งห้องปฏิบัติการเป็นจำนวนมาก • 2012-2014 ลงทุน 35 ล้านเหรียญจัดตั้ง Living Foundries เพื่อเร่งกระบวนการ DBTL ให้เร็วขึ้น 10 เท่า พร้อมทั้งแสวงหาโอกาสใหม่ ๆ	• 5 Biofoundries กระจายอยู่ทั่วประเทศ	• China National GeneBank • China National Center for Bioinformation • 2020-Advanced Biofoundry ShenzhenNational Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.
การพัฒนาธุรกิจ	• การสนับสนุนการเงินทุนเพื่อการดำเนินการที่หลากหลายให้แก่ผู้ประกอบการที่เป็น startup และผู้ประกอบการ	• The National Industrial Translation Centre for Engineering Biology/ • Synthetic Biology (SynbiCITE) • Synthetic Biology Seed Fun	• การสนับสนุนการเงินทุนทั้งรัฐบาลกลาง รัฐบาลท้องถิ่น Venture capital เพื่อสนับสนุน ผู้ประกอบการโดยเฉพาะ startup

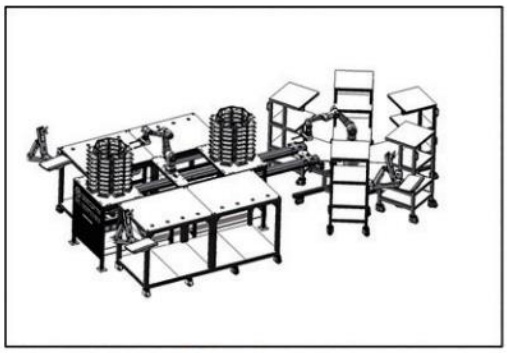
ตารางที่ 3-3: กลไกการสร้างและพัฒนา synthetic biology ของประเทศเกาหลีใต้และสิงคโปร์

	เกาหลีใต้	สิงคโปร์
นโยบาย/วิสัยทัศน์	• เทคโนโลยี SynBio เป็น 1 ใน 12 เทคโนโลยียุทธศาสตร์ของประเทศ • National Synthetic Biology Initiative & Roadmap (2023-2027)	• 2015-established NUS Synthetic Biology for Clinical and Technological Innovation (SynCTI) as the focal research program for synthetic biology at the National University of Singapore. • 2018-Singapore has set its sights on becoming a global powerhouse in SynBio. • National Research Foundation, Singapore (NRF) has invested S$34 million in synthetic biology-related R&D.
การสร้างคน	• จัดทำหลักสูตรในลักษณะ สหวิทยาการ “Bio+ AI+ Engineering”	• การจัดการเรียนการสอนทั้งในระดับปริญญาและหลักสูตรระยะสั้น และการเรียนในระดับอนุบาล • สร้างกำลังคนผ่านความร่วมมือระดับนานาชาติ และการจ้างผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศมาทำงานในสถาบันวิจัย
การสร้างความรู้	• Design of Biomolecules • Design of Circuit • Construct and Control of DNA/RNA • Construct of Biosystems • Automation speed-up using IT-Digital Tech • Scale-up	• การสร้างองค์ความรู้ในมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยชั้นนำของประเทศ เช่น NUS, NTU และ ASTAR โดยมีการดำเนินงานลักษณะ National task force • Research strategy วิจัยใน niche pathway ที่สามารถต่อยอดได้หลายผลิตภัณฑ์
การสร้างโครงสร้างพื้นฐาน	• Public K-Biofoundry • Expanding the biofoundry into the private sector • Software-Open-source IT Platform • Cell Gene Biobank	• 2015-The Synthetic Biology for Clinical & Technological Innovation (SynCTI) programme at the National University of Singapore (NUS). SynCTI is home to the Singapore Biofoundry. •
การพัฒนาธุรกิจ	• Facilitating the transition into bio-manufacturing	• มีแหล่งเงินทุนสำหรับผู้ประกอบการจำนวนมาก ≈30 Bioventures

	เกาหลีใต้	สิงคโปร์
	• Supporting the establishment and growth of innovative companies • Promoting private investment	• Consortium (Synergy) กลไกเชื่อมโยงระหว่างเอกชน-สถาบันวิจัย-รัฐบาล

<u>การลงทุนของสาธารณรัฐประชาชนจีน</u>

รัฐบาลของเซินเจิ้นลงทุนภายใต้ “โครงการ Biofoundry และโครงสร้างพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านชีววิทยาสังเคราะห์” มูลค่า 722.2 ล้านหยวน (ประมาณ 3,600 ล้านบาท) โครงสร้างพื้นฐานสำคัญประกอบด้วย “cloud lab” สำหรับผู้ใช้งาน และ “smart lab” สำหรับผู้ปฏิบัติการ โครงสร้างพื้นฐานดังกล่าวจะเปิดให้ภาควิชาการและภาคอุตสาหกรรมเข้าถึงและใช้ประโยชน์ได้ แพลตฟอร์มเป้าหมายในการลงทุนดังกล่าวประกอบด้วย 1) แพลตฟอร์มการออกแบบและการเรียนรู้ (design & learn platform) 2) แพลตฟอร์มการสังเคราะห์และการทดสอบ (synthesis & testing platform) และ 3) แพลตฟอร์มการตรวจจับและการวิเคราะห์ (detection & analysis platform)



(a) 规划图

(b) 实物示意图1

(c) 实物示意图2

(d) 实物示意图3

ตัวอย่างเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

ที่มา : www.isynbio.org/institution-detail_en.aspx?detail=1651 และ Synthetic Biology Journal 2022

3.4 สถานภาพและแนวโน้มการตลาดผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

การผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศในเชิงพาณิชย์ถือว่าเป็นเรื่องใหม่ในประเทศไทย และยังไม่มีการจัดเก็บข้อมูลไว้อย่างเป็นระบบ ในการศึกษานี้ เป็นความพยายามในการชี้ให้เห็นโอกาสและศักยภาพในการลงทุนเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยมุ่งเน้นสาขาที่ประเทศไทยเริ่มมีการลงทุนแล้ว หรือมีความพร้อมของเทคโนโลยีแล้วในต่างประเทศเป็นอันดับแรก ดังนี้

3.4.1 อุตสาหกรรมเกษตร

ภาคเกษตรเป็นฐานของความมั่นคงทางด้านอาหาร และเป็นแหล่งสร้างรายได้ของประชากรส่วนใหญ่ของประเทศ การนำเทคโนโลยีด้านชีววิทยาสังเคราะห์มาใช้เพื่อยกระดับการพัฒนาการเกษตรของประเทศไทยเป็นไปในทิศทางเดียวกับทิศทางของโลก กล่าวคือ การนำมาใช้เพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืช สัตว์เพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ เช่น การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างผลผลิต การใช้ประโยชน์จากปัจจัยการผลิต (ปุ๋ย น้ำ) ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การพัฒนาปัจจัยการผลิตเพื่อการปรับปรุงบำรุงดินโดยการออกแบบให้แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน[45] การพัฒนาวัคซีน และการผลิตสารเสริมสุขภาพสัตว์ เป็นต้น (ตารางที่ 3-4)

ตารางที่ 3-4: สถานภาพของธุรกิจเกษตรและเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ประเภทกิจการ	จำนวนบริษัท (ราย)	รายได้ (ล้านบาท)	ตัวอย่างหรือศักยภาพการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์
เมล็ดพันธุ์ และส่วนขยายพันธุ์	970	18,700	• พันธุ์พืชที่ต้านทานต่อโรคและแมลง • พันธุ์พืชที่ต้านทานสารปราบวัชพืช • พันธุ์พืชที่มีคุณสมบัติที่ดี เช่น มันสำปะหลังปริมาณไซยาไนด์ต่ำ • พันธุ์พืชที่มีช่วยลดการสูญเสียระหว่างการเก็บเกี่ยวหรือหลังการเก็บเกี่ยว • พันธุ์พืชที่นำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสร้างการเติบโต • พันธุ์พืชที่สามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากร (น้ำ ปุ๋ย) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
ปุ๋ยเคมี	1,018	90,900	• สารบำรุงพืชชีวภาพ
ยาปราบศัตรูพืชและเคมีภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อการเกษตร	254	50,800	• สารกำจัดศัตรูพืชชีวภาพ
อาหารสัตว์	391	552,450	• สารเสริมอาหาร
เภสัชภัณฑ์และเวชภัณฑ์สัตว์	7,240	200,000	• ไพรไบโอติกส์ • วัคซีนสัตว์

ที่มา : กรมพัฒนาธุรกิจการค้า

(1) เมล็ดพันธุ์

ปี พ.ศ. 2565 ธุรกิจเมล็ดพันธุ์สร้างรายได้ประมาณ 18,000 ล้านบาท ประมาณครึ่งหนึ่งของรายได้เกิดจากการส่งออก เมล็ดพันธุ์ที่ประเทศไทยส่งออกมาก ได้แก่ เมล็ดพันธุ์ข้าวโพด (3,737 ล้านบาท) เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศ (1,408 ล้านบาท) เมล็ดพันธุ์แตงโม (953 ล้านบาท) เมล็ดพันธุ์พริก (805 ล้านบาท) และเมล็ดพันธุ์แตงกวา (424 ล้านบาท)

[45] Len Calderone.(2020).Synthetic Biology in Agriculture. https://www.agritechtomorrow.com/article/2020/10/synthetic-biology-in-agriculture/12419/

ในเชิงเปรียบเทียบการนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มาใช้เพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืชถือว่าตามหลังกลุ่มแบคทีเรีย ยีสต์ และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม[46] อย่างไรก็ดี มีต้นแบบของการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชในต่างประเทศ เช่น การทำให้พืชตรึงไนโตรเจนได้ดี การปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังให้ทนต่อโรค เป็นต้น

กลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ คือ บริษัทที่มีการลงทุนวิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์ซึ่งมีจำนวนรวมกันประมาณ 30 ราย (รวมบริษัทต่างประเทศ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริษัทที่มีการนำเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่มาใช้แล้ว

โอกาสในการเข้าสู่ตลาด มีความเป็นไปได้สูงอันเนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม ขณะนี้อยู่ระหว่างการทำประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง การขอรับรองสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม เพื่อใช้ประโยชน์ในภาคการเกษตร พ.ศ. 2567 นอกจากนี้ บริษัทที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าวชั้นนำของโลก เช่น Bayer CropScience หรือ Syngenta Group เป็นบริษัทที่ได้ใช้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตเมล็ดพันธุ์ บริษัทชั้นนำของประเทศไทยมีแผนใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าวเช่นกัน รวมถึงมีการวิจัยในด้านดังกล่าวโดยนักวิจัยไทย ได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ถั่วเหลือง ถั่วเขียว กล้วย มะละกอ มะเขือเทศ กล้วยไม้หวาย พิทูเนีย ฟ้าทะลายโจร สับปะรด แตงกวา และกัญชา โดยเป้าหมายของการวิจัย ได้แก่ ต้านทานโรค ทนทานความเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิต ควบคุมการเจริญเติบโต เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ไนโตรเจน รวมถึงการสร้างองค์ความรู้ในการพัฒนาระบบการแก้ไข/ ปรับแต่งยีน และกลไกการทำงานของยีน[47]

(2) ปุ๋ย/สารเร่งการเจริญเติบโตของพืชทดแทนปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมีเป็นอุตสาหกรรมที่ประเทศไทยพึ่งการนำเข้าจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด การดำเนินธุรกิจจึงเป็นการนำเข้าวัตถุดิบเพื่อมาผลิตเป็นปุ๋ยสูตรต่าง ๆ ตามความต้องการของตลาด ปี พ.ศ. 2565 มีผู้ที่จดทะเบียนธุรกิจเป็นผู้ผลิตปุ๋ยเคมีจำนวน 1,018 บริษัท มีรายได้จากการดำเนินธุรกิจประมาณ 90,900 ล้านบาท ถือเป็นตลาดขนาดใหญ่ ประเทศไทยเริ่มนำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์มาใช้ในการพัฒนาสารชีวภาพเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืช ดังกรณีของบริษัท ไบโอม จำกัด

บริษัท ไบโอม จำกัด สตาร์ทอัพด้านเทคโนโลยีชีวภาพและชีววิทยาสังเคราะห์ ก่อตั้งและดำเนินธุรกิจเมื่อปี พ.ศ. 2563 บนฐานองค์ความรู้ของนักวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Chulalongkorn University spin-off company) ภายใต้การบ่มเพาะจาก CU innovation hub และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้พัฒนาจุลินทรีย์เพื่อเสริมการเจริญเติบโตของพืช

โอกาสในการเข้าสู่ตลาด มีความเป็นไปได้ในระดับปานกลาง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ส่งผลต่อการฟื้นฟูบำรุงสุขภาพของดินโดยใช้หลักการเพิ่มสสารอินทรียวัตถุในดินเพื่อปรับสภาพและโครงสร้างให้กลับคืนมาอุดมสมบูรณ์

[46] Marc-Sven Roell, Matias D Zurbriggen.(2020) The impact of synthetic biology for future agriculture and nutrition, Current Opinion in Biotechnology, Volume 61, 2020, p 102-109, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095816691930103X

[47] สมาคมเทคโนโลยีสัมพันธ์.(2567) สรุปผลจากการสอบงานวิจัยที่กำลังดำเนินการเกี่ยวกับการแก้ไข/ปรับแต่งยีนในพืช ระหว่างวันที่ 4 ม.ค.-1 ก.พ. 2567

รวมถึงมีโอกาสเข้าสู่ตลาดที่ผลิตไม้ประดับสำหรับอาคารที่ต้องการใช้สารปรับปรุงบำรุงดิน อย่างไรก็ดี การมีข้อจำกัดในการขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์ถือเป็นอุปสรรคสำคัญในการเข้าสู่ตลาดของผู้ประกอบการ

(3) สารชีวภัณฑ์เพื่อการกำจัดศัตรูพืชเพื่อลดการใช้สารเคมี

สารชีวภัณฑ์เป็นทางเลือกในการป้องกันศัตรูพืชให้กับเกษตรกรเพื่อความปลอดภัยตลอดห่วงโซ่อาหาร ผลิตภัณฑ์ที่เกษตรกรใช้มาก ได้แก่ บีที เอ็นพีวี และเชื้อราไตรโคเดอร์มา โดยผลิตภัณฑ์บีทีและเอ็นพีวีใช้กำจัดหนอนกระทู้หอมและหนอนเจาะสมอฝ้าย ซึ่งเป็นศัตรูสำคัญของพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น องุ่น หอมแดง หอมหัวใหญ่ ส้ม มะเขือเทศ หรือไม้ดอก เช่น กุหลาบ เบญจมาศ ดาวเรือง เป็นต้น และเชื้อราบิวเวอเรียมีคุณสมบัติกำจัดเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลหรือเพลี้ยแป้งมันสำปะหลัง อย่างไรก็ดี ในเชิงเปรียบเทียบ เห็นได้ว่าสารชีวภัณฑ์ที่ผลิตและจำหน่ายนั้นป้องกันโรคและแมลงได้เพียงบางกลุ่มเท่านั้น จึงเป็นแรงจูงใจ บริษัท ไบโอม จำกัด (สัมภาษณ์วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566) สนใจนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มาพัฒนาเป็นสารชีวภัณฑ์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับสินค้าเกษตรของไทย

กลุ่มเป้าหมายที่ศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ คือ บริษัทด้านเคมีภัณฑ์เกษตร บริษัทที่ผลิตสารชีวภัณฑ์ทางการเกษตร รวมถึงบริษัทสตาร์ทอัพที่มีแพลตฟอร์มด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

โอกาสในการเข้าสู่ตลาด มีความเป็นไปได้ในระดับปานกลาง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ดี จำนวนผู้ประกอบการที่มีศักยภาพในการรับถ่ายทอดเทคโนโลยีในประเทศไทยมีจำนวนจำกัด ดังนั้น แนวทางการขยายตลาดจึงควรใช้ความร่วมมือกับบริษัทผู้ผลิตชั้นนำของโลก

(4) สารเสริมสุขภาพสำหรับสัตว์ วัคซีนสัตว์เพื่อลดการใช้สารปฏิชีวนะ

การเลี้ยงสัตว์เป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศไทย ในแต่ละปีประเทศไทยนำเข้า สารเสริมสุขภาพสำหรับสัตว์ ยาสัตว์ และวัคซีนรวมกันไม่น้อยกว่า 10,000 ล้านบาท อย่างไรก็ดี เนื่องจากยาและวัคซีนเหล่านั้นผลิตจากเชื้อที่เป็นสายพันธุ์ของต่างประเทศ จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพในการป้องกันหรือรักษาโรค ประกอบกับการมีข้อห้ามในการใช้ยาปฏิชีวนะในการรักษาโรคในสัตว์ รวมถึงผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ และร้านอาหาร จึงเป็นแรงผลักดันให้เกิดการคิดค้นเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางเลือกในการดูแลสุขภาพสัตว์ ดังกรณีของบริษัท ยูนิฟาร์ส จำกัด ได้พัฒนาสารฆ่าเชื้อจากแบคเทอริโอเฟจ (Bacteriophage) ที่สามารถใช้กำจัดเชื้อแบคทีเรีย salmonella สายพันธุ์ก่อโรคในสัตว์ และผลิตภัณฑ์เฟจเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรีย vibrio ในสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปลา

กลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ คือ บริษัทที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับยาสัตว์ อาหารเสริมสำหรับสัตว์โดยเฉพาะที่เป็นสมาชิกสมาคมธุรกิจเวชภัณฑ์สัตว์จำนวน 79 บริษัท รวมถึงบริษัทสตาร์ทอัพที่มีแพลตฟอร์มด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

โอกาสในการเข้าสู่ตลาด มีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากกฎหมายห้ามการใช้ยาปฏิชีวนะในการเลี้ยงสัตว์ เพื่อป้องกันปัญหาการดื้อยาต้านจุลชีพ (AMR) ซึ่งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตที่มีเป็นจำนวนมาก ด้วยแนวโน้มดังกล่าว มีผู้ประกอบการนำเข้าผลิตภัณฑ์มาจำหน่ายและเริ่มมีการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมในบริษัทผู้ผลิตอาหารสัตว์รายใหญ่ของประเทศไทย

(5) การใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ในเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตรของของประเทศไทยหลายชนิดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์สูง จึงทำให้เกษตรกรมีรายได้ที่น้อย นอกจากนี้ ยังส่งผลด้านลบต่ออุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ไม่สามารถใช้กำลังการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ สถาบันอุตสาหกรรมเพื่อการเกษตร สภาอุตสาหกรรม

แห่งประเทศไทย มีข้อเสนอให้ประเทศไทยนำเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนมมาใช้ในการปรับปรุงพันธ์พืชโดยเฉพาะในกลุ่มพืช ได้แก่ อ้อย และมันสำปะหลัง[48] ซึ่งมีความต้องการใช้ในประเทศสูง เมื่อประกอบกับทิศทางนโยบายของรัฐบาลที่มุ่งส่งเสริมการยกระดับประสิทธิภาพการผลิตในภาคเกษตรให้สูงขึ้น จึงมีความเป็นไปได้อย่างมาก ที่เกษตรกรจะนำนวัตกรรมด้านการเกษตรมาใช้ในวงกว้างเพื่อการเพิ่มผลผลิต ลดการสูญเสีย หรือการสร้างคุณค่าใหม่ให้กับผลผลิตของตนเอง

3.3.2 อุตสาหกรรมอาหาร

อาหารที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว คือ ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (cultured meat) เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวร่นระยะเวลาการผลิตเนื้อสัตว์ให้เหลือเพียง 5-7 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับการผลิตเนื้อวัวที่ใช้เวลานานถึง 112 สัปดาห์ ในเชิงเปรียบเทียบ cultured meat สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการเลี้ยงปศุสัตว์ประเภทอื่น ไม่ว่าจะเป็นทรัพยากรอาหารและน้ำ พื้นที่เลี้ยง รวมถึงปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้อยกว่าการเลี้ยงปศุสัตว์ประเภทอื่น 5-20 เท่า Krungthai COMPASS (2565)[49] คาดว่า ในปี พ.ศ. 2573 ตลาด cultured Meat ของประเทศไทยจะมีมูลค่าประมาณ 2.5 พันล้านบาท โดยมีส่วนแบ่งตลาดประมาณร้อยละ 3 ของมูลค่าตลาดเนื้อสัตว์ของไทย อย่างไรก็ดี ความท้าทายสำคัญ คือต้นทุนการผลิตที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากการสัมภาษณ์บริษัทเอกชนชั้นนำด้านอาหาร ที่ระบุว่าบริษัทยังไม่พร้อมที่จะลงทุนในเทคโนโลยีดังกล่าวในเวลานี้ เนื่องจากตลาดยังมีขนาดค่อนข้างเล็ก แต่จะเริ่มต้นด้วยการนำเข้าผลิตภัณฑ์เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ทางการตลาด นอกจากนี้ ผู้ประกอบการไทยมีโอกาสพัฒนาต่อยอดใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าวดังตารางที่ 3-5

สตาร์ทอัพ Muu เป็นตัวอย่างของการนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มาผลิตนมจากโปรตีนเคซีนและเวย์ โดยใช้กระบวนการหมักจากจุลินทรีย์ชนิดพิเศษ ผลิตภัณฑ์นมที่ได้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับนมที่เลี้ยงจากฟาร์มแต่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำกว่า

สตาร์ทอัพ Muu สังเคราะห์โปรตีนหลักในนมวัว 2 ชนิด ได้แก่ โปรตีนเคซีน และโปรตีนเวย์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่ให้รสชาติและรสสัมผัสที่นุ่มนวลของนม โดยสังเคราะห์ชุดลำดับ DNA ของเซลล์ที่ทำหน้าที่ผลิตโปรตีนนมของแม่วัวและนำไปใส่ในเซลล์จุลินทรีย์ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการหมัก (fermentation) อุณหภูมิที่เหมาะสม ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ได้ผลผลิตเป็นโปรตีนนมในรูปแบบผง และเติมส่วนประกอบ ได้แก่ ไขมัน น้ำตาล และน้ำเปล่า **ได้เป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีรสชาติและรสสัมผัสเหมือนนมวัว** นอกจากนี้ โปรตีนนมดังกล่าวยังสามารถนำไป**แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมอื่น ๆ** เช่น ชีส โยเกิร์ต และไอศกรีม ได้อีกด้วย

ที่มา : จากการสัมภาษณ์ 23 มกราคม 2567

[48] สถาบันอุตสาหกรรมเพื่อการเกษตร สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (2567) สรุปรายงานการประชุมเพื่อหารือแนวทางการผลักดันการดำเนินงานตาม SynBio Roadmap และ Gene Editing Technology ในประเทศไทย ในวันอังคารที่ 4 มิถุนายน 2567 เวลา 13.00 – 15.00 น. ณ ห้องประชุม PTT GROUP (1012) ชั้น 10 สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และผ่านระบบออนไลน์ Zoom Meeting

[49] Krungthai COMPASS.(2565). ทำความรู้จัก Cultured meat แหล่งโปรตีนใหม่แห่งโลกอนาคต.

ตารางที่ 3-5: สถานภาพของธุรกิจอาหารและเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ประเภทกิจการ	จำนวนบริษัท (ราย)	รายได้ (ล้านบาท)	ตัวอย่างหรือศักยภาพการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์
เนื้อสัตว์	1,662	491,000	• การผลิตเนื้อสัตว์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
น้ำนมดิบ	62	61,125	• การผลิตนมเพื่อสุขภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
ผลิตภัณฑ์นม	418	117,000	• ผลิตภัณฑ์นมเพื่อสุขภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
ซอสและเครื่องปรุงรส	290	38,620	• การพัฒนาสารให้กลิ่นรส

ที่มา : กรมพัฒนาธุรกิจการค้า

กลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ คือ บริษัทที่ดำเนินธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับอาหาร สตาร์ทอัพในกลุ่มอาหารแห่งอนาคตซึ่งปัจจุบันมีจำนวน 31 บริษัท[50] และบริษัทที่พัฒนาแพลตฟอร์มด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

โอกาสในการเข้าสู่ตลาด มีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากประเทศไทยมีฐานการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารที่ดี รวมถึงภาคเอกชนมีความตื่นตัวในการสร้างนวัตกรรม ประกอบกับมีการสร้างระบบนิเวศเพื่อส่งเสริมการเข้าสู่อุตสาหกรรมอาหารรูปแบบใหม่ที่มีการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่สูงขึ้น ทั้งการให้สิทธิประโยชน์ในการลงทุน การจัดทำแนวทางปฏิบัติเพื่อประเมินความปลอดภัยด้านอาหารของเนื้อสัตว์เพาะเลี้ยง (cultured meat) สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ประกาศรายชื่อหน่วยประเมินความปลอดภัยอาหารใหม่ (Novel Food) โดยรวมถึงอาหารของเนื้อสัตว์เพาะเลี้ยงด้วย รวมถึงมีบริษัทที่แสดงความประสงค์ขอรับการประเมินความปลอดภัยด้านอาหารของเนื้อสัตว์เพาะเลี้ยงแล้ว และคาดว่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

3.3.3 อุตสาหกรรมพลังงานชีวภาพ

อุตสาหกรรมพลังงานมีมูลค่ารวมกว่า 4 ล้านล้านบาท โดยเป็นรายได้ที่เกิดจากการนำเข้าน้ำมันดิบเพื่อมากลั่นเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่าง ๆ ตามความความต้องการของตลาด การนำเข้าพลังงานมีสัดส่วนสูงกว่าร้อยละ 60 ของความต้องการใช้พลังงานภายในประเทศและการนำเข้าพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรและของเสียในกระบวนการผลิตจำนวนมากที่เอื้อต่อการนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทน จึงเป็นที่มาของการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนโดยมีเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานขั้นต้นเมื่อสิ้นสุดแผน (พ.ศ. 2580) ไม่เพียงแต่อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพจะสามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ แต่ยังรวมถึงผู้ประกอบการผลิตน้ำมันที่มีโอกาสสร้างการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการกลั่นน้ำมันที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากด้วย (ตารางที่ 3-6)

[50] รายงานการสำรวจข้อมูลและศึกษาแนวทางการพัฒนาระบบนิเวศวิสาหกิจเริ่มต้นด้านเทคโนโลยีอาหารปีพ.ศ.2564-2565. สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติและบริษัทไบโอ บัดดี้ จำกัด

ตารางที่ 3-6: สถานภาพของธุรกิจเชื้อเพลิงชีวภาพและเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ประเภทกิจการ	จำนวนบริษัท (ราย)	รายได้ (ล้านบาท)	ตัวอย่างหรือศักยภาพการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์
เอทานอล	27	45,000	• การพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อให้ผลผลิตสูงขึ้น
ไบโอดีเซล	14	47,000	• การพัฒนาคุณภาพของผลผลิตไบโอดีเซลให้สูงขึ้นเพื่อไปสู่การเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องบิน
น้ำมัน	149	4,154,000	• การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์[51]

ที่มา : ประเมินจากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และกรมพัฒนาธุรกิจการค้า

กลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ คือ บริษัทที่ดำเนินธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมัน การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และบริษัทที่พัฒนาแพลตฟอร์มด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

โอกาสในการเข้าสู่ตลาด มีความเป็นไปได้สูง โดยผลิตภัณฑ์ที่เข้าสู่ตลาดในช่วงแรกจะเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์เดิมที่มีการนำเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์มาปรับใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น หลังจากนั้น เป็นการพัฒนาต่อยอดไปสู่เชื้อเพลิงในกลุ่มใหม่ เช่น เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบินซึ่งมีความต้องการหาแหล่งพลังงานที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ รวมไปถึงการใช้ประโยชน์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตจากภาคพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero)

3.3.4 อุตสาหกรรมวัสดุและเคมีชีวภาพ

การส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมวัสดุชีวภาพและเคมีชีวภาพเพื่อเป็นกลไกสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตรที่ประเทศไทยมีอยู่มากโดยใช้วิทยาการความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรไปสู่ผลิตภัณฑ์สารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีมูลค่าเพิ่มสูง และตอบรับตลาดที่ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ร้อยละ 90 ของผลิตภัณฑ์เคมีที่ใช้ปิโตรเลียมเป็นวัตถุดิบสามารถเปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบจากชีวภาพได้ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์จะส่งผลต่อการร่นระยะเวลาและต้นทุนการผลิตลง รวมถึงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษตรงตามความต้องการของตลาดและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (ตารางที่ 3-7)

[51] Brooke Van Zandt.(2023).NREL Launches Synthetic Biology Project To Advance Biofuel Discovery Technologies With LanzaTech, Northwestern, and Yale. https://www.nrel.gov/news/program/2023/nrel-launches-synthetic-biology-project-to-advance-biofuel-discovery-technologies-with-lanzatech-northwestern-and-yale.html

ตารางที่ 3-7: สถานภาพของธุรกิจวัสดุและเคมีชีวภาพและเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ประเภทกิจการ	จำนวนบริษัท (ราย)	รายได้ (ล้านบาท)	ตัวอย่างหรือศักยภาพการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์
การผลิตเคมีภัณฑ์อินทรีย์ขั้นมูลฐาน	346	44,700	• การพัฒนาให้สารเคมีมีคุณสมบัติพิเศษ/เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
การผลิตเส้นใยประดิษฐ์	91	82,300	• การพัฒนาเส้นใยให้มีคุณสมบัติพิเศษ/เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
การผลิตเม็ดพลาสติก	677	490,600	• การพัฒนาเม็ดพลาสติกให้มีคุณสมบัติย่อยสลายได้

ที่มา : กรมพัฒนาธุรกิจการค้า

บริษัท Spiber จำกัด ซึ่งเป็นสตาร์ทอัพจากมหาวิทยาลัยเคโอของญี่ปุ่นผลิตเส้นใยจากโปรตีนโดย กระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ชนิดพิเศษ ผลิตออกมาเป็นผง (brewed protein) ซึ่งผงดังกล่าวนำไปผลิตเส้นใยเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลาย บริษัทดังกล่าวเลือกตั้งโรงงานในประเทศไทยเนื่องจากมีความพร้อมด้านวัตถุดิบ (น้ำตาล) ซึ่งโรงงานแห่งนี้ถือเป็นโรงงานผลิตที่ใช้กรรมวิธีการหมักโปรตีนขนาดใหญ่ที่สุดในโลกด้วยกำลังการผลิตประมาณ 100 ตัน/ปี เริ่มการผลิตจริงในปี พ.ศ. 2565 ในปีดังกล่าวบริษัทมีรายได้จากการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ประมาณ84 ล้านบาท และปี พ.ศ. 2566 บริษัทมีรายได้เพิ่มเป็น 589 ล้านบาท [52]

กลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ คือ บริษัทที่ดำเนินธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเคมีและวัสดุชีวภาพ รวมถึงบริษัทสตาร์ทอัพที่มีแพลตฟอร์มด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

โอกาสในการเข้าสู่ตลาด มีความเป็นไปได้ปานกลาง-สูง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์วัสดุและเคมีชีวภาพที่มุ่งเน้นให้มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น มีความสามารถในการย่อยสลายได้ในธรรมชาติ มีความคงทน มีคุณสมบัติในการประหยัดพลังงาน ทนความร้อน ความถึงมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายมีการกำหนดแนวทางการจัดหาวัตถุดิบโดยมุ่งเน้นวัตถุดิบที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3.3.5 อุตสาหกรรมการแพทย์และสุขภาพ

ในต่างประเทศเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์นำมาใช้เป็นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์และสุขภาพมากที่สุด สำหรับประเทศไทยยังอยู่ในขั้นตอนการวิจัยและพัฒนา เป็นต้นว่า

การประยุกต์ใช้จีโนมิกส์ในทางการแพทย์เป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน การแพทย์จีโนมิกส์ (Genomics medicine) เป็นนวัตกรรมการบริการทางการแพทย์ที่นำข้อมูลพันธุกรรมเฉพาะบุคคล (genome data) ข้อมูลทางคลินิก ข้อมูลทางสุขภาพอื่น ๆ รวมถึงข้อมูลสภาพแวดล้อมของผู้ป่วยมาใช้ในการวินิจฉัย รักษา และทำนายปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรค การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลเหล่านี้นำมาซึ่งแนวทางการรักษาที่ตรงจุด แม่นยำและเหมาะสมกับผู้ป่วย หลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร แคนาดา ได้มีการนำการแพทย์จีโนมิกส์ไปใช้รักษาผู้ป่วยได้สำเร็จ โดยเฉพาะการรักษาผู้ป่วยโรควินิจฉัยยาก โรคมะเร็งบางชนิด นอกจากนั้น ยังมีการนำการแพทย์จีโนมิกส์เข้าสู่ระบบสุขภาพของประเทศเป็นที่เรียบร้อยเพื่อให้ประชากรทั่วประเทศสามารถเข้าถึงการรักษาด้วยการแพทย์จีโนมิกส์ได้

[52] กรมพัฒนาธุรกิจการค้า.(2566)

สำหรับประเทศไทยมีการดำเนินโครงการจีโนมิกส์ประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและสร้างฐานข้อมูลพันธุกรรมขนาดใหญ่ของคนไทยที่ได้จากโครงการถอดรหัสพันธุกรรมทั่วจีโนมของประชากรไทยจำนวน 50,000 ราย เพื่อให้นักวิจัยได้ใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการศึกษาวิจัยในอนาคตที่เกี่ยวกับสุขภาพของคนไทย ทำให้ประชาชนได้รับการวินิจฉัย การรักษาอย่างจำเพาะและมีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นซึ่งถือเป็นฐานสำคัญ ในการต่อยอดใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ (ตารางที่ 3-8)

ตารางที่ 3-8: สถานภาพของธุรกิจด้านการแพทย์และสุขภาพ และเป้าหมายการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

ประเภทกิจการ	จำนวนบริษัท (ราย)	รายได้ (ล้านบาท)	ตัวอย่างหรือศักยภาพการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์
โรงพยาบาล	923	310,000	• การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนการแพทย์แม่นยำ • การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการมีสุขภาพที่ดี (wellness)
โรงพยาบาลเฉพาะทาง	177	5,200	
คลินิกเฉพาะทาง	2,189	22,800	

ที่มา : กรมพัฒนาธุรกิจการค้า

กลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ คือ บริษัทที่ดำเนินธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับด้านสุขภาพและการแพทย์ที่มีอยู่เดิม บริษัทขนาดใหญ่ที่ต้องการขยายการลงทุนเพื่อเพิ่มความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น ดังกรณีของบริษัท อินโนบิก (เอเชีย) จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทย่อยของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนธุรกิจด้าน life science ของบริษัทด้วยเล็งเห็นถึงโอกาสและศักยภาพทางการตลาดในอนาคต รวมถึงบริษัทสตาร์ทอัพที่มีแพลตฟอร์มด้านเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์

โอกาสในการเข้าสู่ตลาด มีความเป็นไปได้น้อย-ปานกลาง ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของชุดตรวจ วัคซีน และสารประกอบในการผลิตยามีความพร้อมในระดับหนึ่ง แต่สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการแพทย์แม่นยำนั้น แม้ว่าความต้องการของตลาดมากแต่ด้วยเป็นธุรกิจที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง เทคโนโลยีเข้มข้น ราคาในการให้บริการต่อครั้งอยู่ในเกณฑ์สูง จึงเป็นอุปสรรคในการลงทุนสำหรับผู้ประกอบการไทย ทั้งนี้ โอกาสการเข้าสู่ตลาดจะเพิ่มมากขึ้นหากเชื่อมโยงกับนโยบาย “medical hub” และการเชื่อมโยงกับระบบหลักประกันสุขภาพแห่งชาติที่ให้ความสำคัญของการป้องกันและการรักษาแบบแม่นยำเฉพาะบุคคล ดังกรณีที่คณะกรรมการหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (บอร์ด สปสช.) มีมติเพิ่ม “บริการตรวจคัดกรองเพื่อค้นหาการกลายพันธุ์ของยีนโรคมะเร็งเต้านม BRCA1/BRCA2” เป็นสิทธิประโยชน์ในระบบหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ มอบให้กับคนไทยอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป ที่เป็นผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่มีความเสี่ยงสูง และญาติสายตรงที่มีประวัติครอบครัวตรวจพบยีนกลายพันธุ์ เมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2564[53]

3.5 มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย เป็นการประเมินโดยอาศัยข้อมูล 4 มิติ ได้แก่ 1) ขนาดของตลาดและโอกาสในการเข้าสู่ตลาดของผู้ประกอบการ 2) จุดแข็งของประเทศ หรือผู้ประกอบการ (วัตถุดิบ ความเชี่ยวชาญ) 3) ระดับความพร้อมด้านเทคโนโลยี (เทคโนโลยีในระดับต้นแบบ หรือมีการผลิตและจำหน่ายในตลาดแล้ว) และ 4) ความคุ้มค่าในการลงทุน (เงินลงทุน ผลตอบแทน ระยะเวลาการคืนทุน สร้างความมั่นคงให้กับประเทศ)

[53] มูลนิธิภิวัฒน์สาธารณสุขไทย.2566.สปสช.แจ้งสิทธิ์ “ตรวจยีนมะเร็วเต้านมในผู้ป่วยเสี่ยงสูง” ครอบคลุมดูแลคนไทยทุกสิทธิการรักษาแล้ว. https://www.hfocus.org/content/2023/08/28250

ซึ่งเป็นการอ้างอิงจากข้อมูลทุติยภูมิร่วมกับความเห็นของผู้ประกอบการที่สัมภาษณ์ และผู้ร่วมประชุมรับฟังความคิดเห็นต่อโครงการฯ เมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2567

ทั้งนี้ ในเบื้องต้นประเมินได้ว่ามูลค่าทางเศรษฐกิจที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ใน 10 ปีข้างหน้ามีมูลค่าต่ำสุด 324,000 ล้านบาทและอาจมีศักยภาพมากที่สุด 634,000 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 2-4 ของมูลค่า GDP ตามลำดับ โดยสาขาที่คาดว่าจะได้รับประโยชน์สูง ได้แก่ 1) สาขาเกษตร 2) เคมีชีวภาพและวัสดุชีวภาพ และ 3) สุขภาพและการแพทย์ และ 4) อาหาร

ตารางที่ 3-9: มูลค่าทางเศรษฐกิจที่คาดว่าจะเกิดจากการประยุกต์ใช้ synthetic biology ใน 10 ปีข้างหน้า

	ต่ำสุด (ล้านบาท)	มากที่สุด (ล้านบาท)
เกษตร • ผลผลิตเกษตร • สารปรับปรุงบำรุงดิน สารกำจัดศัตรูพืช • อาหารสัตว์ (สารเสริมสุขภาพ)	 100,000 (0.1% ของตลาดโลก) 7,000 (5% ของตลาดในประเทศ) 15,000 (5% ของตลาดในประเทศ)	 200,000 (0.2% ของตลาดโลก) 14,000 (10% ของตลาดในประเทศ) 30,000 (10% ของตลาดในประเทศ)
อาหาร (อาหารฟังก์ชัน/สารอาหารฟังก์ชัน)	58,000 (1% ของตลาดโลก)	116,000 (2% ของตลาดโลก)
สุขภาพ การแพทย์ (API, Biobetter, วัคซีน, การแพทย์แม่นยำ)	50,000 (1% ของตลาดอาเซียน)	150,000 (3% ของตลาดอาเซียน)
เคมีชีวภาพและวัสดุชีวภาพ (Special chemical & new enzymes, Biomaterial)	32,000 (0. ของตลาดโลก)	160,000 (0. ของตลาดโลก)
พลังงานชีวภาพ (เชื้อเพลิงชีวภาพ น้ำมันเครื่องบิน)	5,000 (5% ของตลาดในประเทศ)	20,000 (10% ของตลาดโลก)
รวม	**324,000**	**634,000**

อย่างไรก็ดี โอกาสของการสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจจากการประยุกต์ใช้ synthetic biology ใน 10 ปีข้างหน้าได้เต็มศักยภาพจำเป็นต้องมีระบบนิเวศเพื่อส่งเสริมการสร้างความสามารถในการสร้างและใช้ประโยชน์

4. แผนที่นำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย

การจัดทำแผนที่นำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทยนั้น จัดทำขึ้นเพื่อเป็นกรอบและแนวทางการทำงานเบื้องต้นสำหรับประกอบการตัดสินใจในการร่วมขับเคลื่อนการดำเนินงานเพื่อการใช้ศักยภาพความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์เพื่อการพัฒนาประเทศไทยโดยมีเป้าหมายสร้างการเติบโตทางเศรษฐกิจ ยกระดับคุณภาพชีวิตและเกิดการบริหารจัดการให้มีการใช้ทรัพยากรได้อย่างยั่งยืน

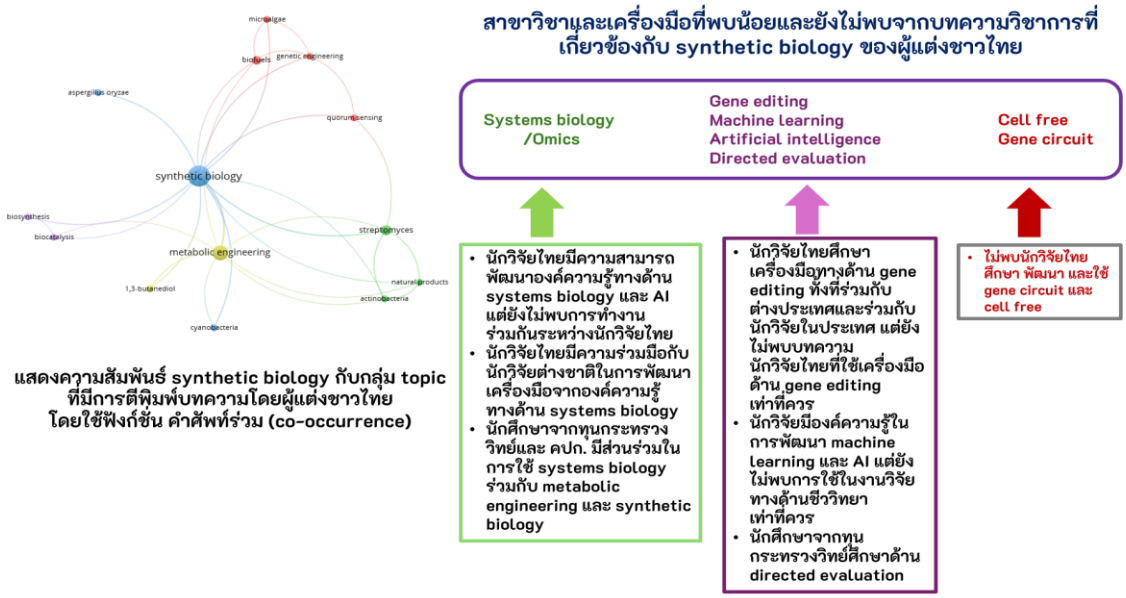
4.1 บทวิเคราะห์ความพร้อมในการพัฒนาและต่อยอดเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย

ความพร้อมในการพัฒนาและต่อยอดเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทยในการศึกษานี้ แบ่งได้ดังนี้

4.1.1 ด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านชีววิทยาสังเคราะห์

ความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวของกับชีววิทยาสังเคราะหของประเทศไทยเปรียบเทียบกับโลกและประเทศผู้นำ เมื่อพิจารณาจากจำนวนบทความวิชาการนานาชาติ และ ค่า Field-Weighted Citation Impact ในสองช่วงเวลาคือช่วงแรกระหว่างปี พ.ศ. 2556-2565 และ ช่วงที่ 2 ระหว่างปี พ.ศ. 2561-2567 (กุมภาพันธ์) พบว่าในปี พ.ศ. 2556-2565 ประเทศไทยมีบทความวิชาการนานาชาติจำนวน 30 เรื่อง และค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 0.77 ซึ่งจัดอยู่ในอันดับที่ 31 ของโลก สำหรับปี พ.ศ. 2561-2567 (กุมภาพันธ์) ประเทศไทยตีพิมพ์บทความวิชาการนานาชาติจำนวน 34 เรื่อง มีค่า Field-Weighted Citation Impact เท่ากับ 0.7 จัดอยู่ในอันดับที่ 24 ของโลก อันดับที่ 8 ของเอเชีย และอันดับที่ 2 ของอาเซียน รองจากประเทศสิงคโปร์

ประเทศไทยมีผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง metabolic engineering ซึ่งเป็นฐานองค์ความรู้ที่สำคัญสำหรับการต่อยอดของ synthetic biology แต่ยังไม่มีผลงานตีพิมพ์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยที่พัฒนาเครื่องมือ (tools) สมัยใหม่ เช่น gene circuit และการสังเคราะห์แบบ cell free รวมถึงไม่พบการศึกษาที่ใช้ computational biology เช่น deep learning และ AI มาเป็นเครื่องมือในการออกแบบและสร้าง host cell



รูปที่ 4-1: บทวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

4.1.2 ด้านการพัฒนากำลังคนเชี่ยวชาญด้านชีววิทยาสังเคราะห์

บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้าน synthetic biology ในประเทศไทยยังมีจำนวนน้อย จากการหาข้อมูลและการสัมภาษณ์พบว่าปัจจุบันมีหลักสูตรด้าน synthetic biology 2 หลักสูตร ในลักษณะที่เป็น non degree อย่างไรก็ดีมีหลักสูตรที่เนื้อหาในการเรียนการสอนเกี่ยวข้องกับ synthetic biology รวม 30 หลักสูตร ทั้งนี้ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมามีผู้สำเร็จการศึกษาแล้ว 686 คน ที่มีความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับ cell biology, systems biology, molecular biology, genetic engineering, metabolic engineering และ biotechnology ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับ synthetic biology ได้ เมื่อได้รับการพัฒนาความรู้เพิ่มเติมในรูปแบบ upskills

ในต่างประเทศมีการสร้างและพัฒนากำลังคนในสาขาด้าน synthetic biology อย่างชัดเจนต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 10 ปี โดยมุ่งเน้นการพัฒนาทักษะที่หลากหลาย ทั้งด้านเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ วิศวกรรม การพัฒนาเทคนิค AI และการขยายขนาดการผลิต

รูปที่ 4-2: บทวิเคราะห์ความพร้อมกำลังคนที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

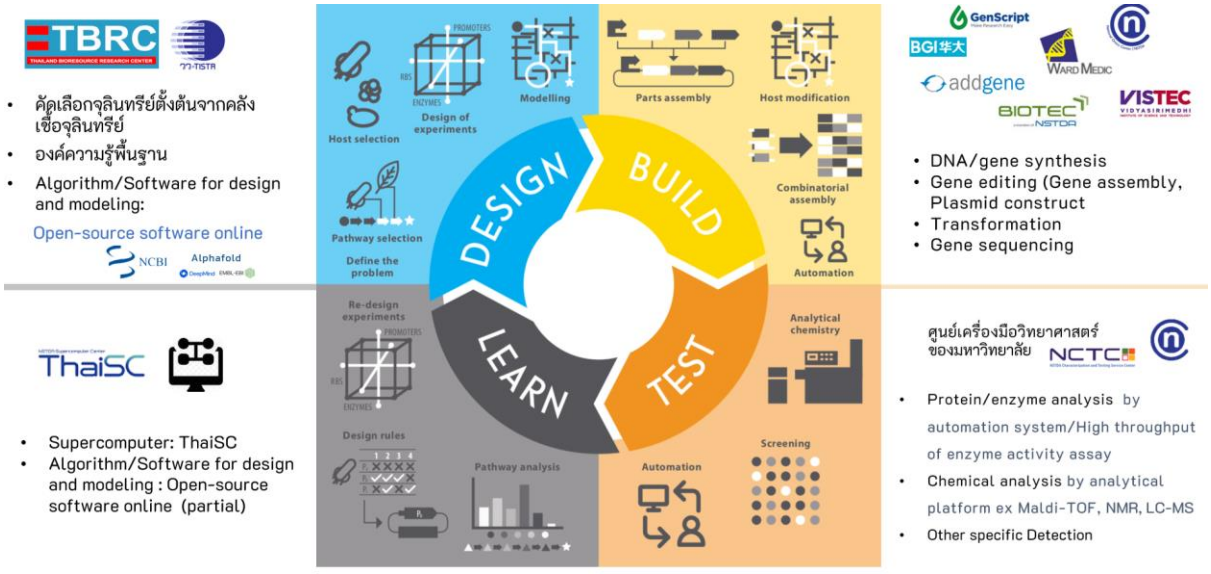
4.1.3 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์

จากการวิเคราะห์ฐานข้อมูลสิทธิบัตรด้วยฐานข้อมูล Derwent Innovation ไม่พบคนไทยยื่นคำขอสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ที่เน้นการใช้ศาสตร์ใหม่ในส่วนกระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทำงานด้านชีววิทยาสังเคราะห์ในฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติ

สำหรับการจดสิทธิบัตรจากฐานข้อมูลกรมทรัพย์สินทางปัญญาประเทศไทย พบข้อมูลสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ค่อนข้างน้อย แต่มีการจดสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับ Modern biotechnology/ genetic engineering แบบดั้งเดิม โดยเฉพาะการสร้างรีคอมบิแนนท์เซลล์ การปรับปรุงพันธุกรรมเป็นหลัก และ gene editing บางส่วน แต่ไม่พบการยื่นคำขอสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับชีววิทยาสังเคราะห์ที่เน้นการใช้ศาสตร์ใหม่ในส่วนกระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทำงานด้านชีววิทยาสังเคราะห์ในฐานข้อมูลสิทธิบัตรระดับนานาชาติ

4.1.4 โครงสร้างพื้นฐานการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์

ประเทศไทยมีความพร้อมด้านโครงสร้างพื้นฐานเพื่อการวิจัยในระดับหนึ่ง รวมถึงมีการจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐานที่ทำงานด้วยระบบอัตโนมัติอย่างน้อย 2 แห่ง ได้แก่ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพ และสถาบันวิทยสิริเมธี ทั้งนี้ ประเทศที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านดังกล่าวมีการให้ความสำคัญกับการจัดตั้งห้องปฏิบัติการและสถาบันวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน หลังจากห้องปฏิบัติการและสถาบันวิจัยมีความเชี่ยวชาญมากขึ้น จึงลงทุน biofoundry เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยใช้รูปแบบการบริหารที่เปิดโอกาสให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนได้ใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า



รูปที่ 4-3: บทวิเคราะห์ความพร้อมโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

4.1.5 ความสามารถในการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์

แนวทางการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศต่าง ๆ นั้น ถือว่าชีววิทยาสังเคราะห์เป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ และใช้กลไกกำกับดูแลความปลอดภัยทางชีวภาพเช่นเดียวกับการกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม อย่างไรก็ดี บางประเทศอาจมีกลไกการกำกับดูแลเฉพาะสำหรับสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาจากเทคโนโลยีการปรับแต่งจีโนม (genome editing technology)

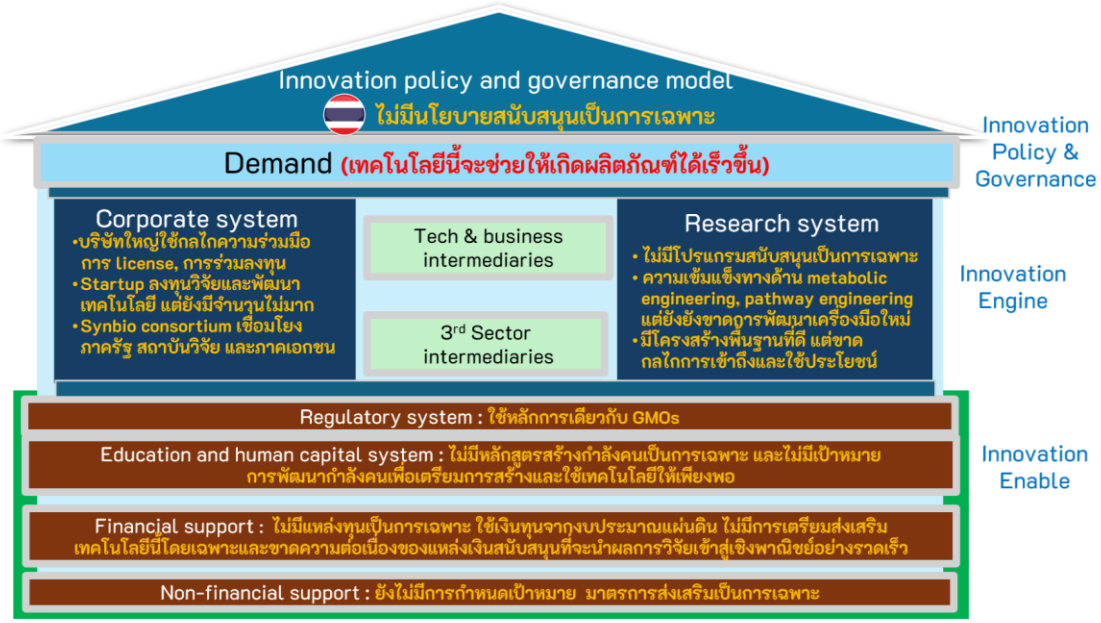
สำหรับประเทศไทย มีหลักการปฏิบัติเช่นเดียวกับนานาชาติ โดยการนำกฎหมายและกฎระเบียบที่มีอยู่ในการกำกับดูแลสิ่งมีชีวิตที่พัฒนาด้วยเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่มากำกับ และด้วยการพัฒนาด้านชีววิทยาสังเคราะห์ยังถือเป็นประเด็นใหม่สำหรับประเทศไทย จึงจำเป็นต้องเสริมสร้างขีดความสามารถทั้งหน่วยงานกำกับดูแลและภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้มีทักษะและประสบการณ์สามารถบังคับใช้กฎหมายได้ให้เกิดความสมดุลระหว่างการดูแลความปลอดภัยและการพัฒนาของภาคอุตสาหกรรม

4.1.6 สรุประบบนิเวศการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

ประเทศไทยยังไม่มีนโยบายส่งเสริมการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ ทั้งนี้ ความต้องการใช้เทคโนโลยีนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากจะช่วยเร่งรัดพัฒนาผลิตภัณฑ์และบริการให้เกิดได้เร็วขึ้น ในหลายประเทศกำหนดให้เป็นเทคโนโลยียุทธศาสตร์เพื่อการพัฒนาประเทศแล้ว เช่น สหราชอาณาจักร

Innovation Engine ของประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบการวิจัยและพัฒนามีการสร้างฐานความรู้ในส่วนของ metabolic, engineering, pathway engineering แต่ยังยังขาดการพัฒนาเครื่องมือใหม่ มีโครงสร้างพื้นฐานที่ดีแต่ยังไม่มีโปรแกรมสนับสนุนการใช้ประโยชน์เป็นการเฉพาะ 2) ระบบการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องของภาคธุรกิจ มีความแตกต่างกัน โดยบริษัทใหญ่ใช้กลไกความร่วมมือ การ license ทรัพย์สินทางปัญญา และการร่วมลงทุน สำหรับ Startup ลงทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี แต่ปัจจุบันยังมีจำนวนไม่มาก และมี SynBio consortium เป็นกลไกเชื่อมโยง ภาครัฐ สถาบันวิจัย และภาคเอกชน

สำหรับ Innovation Enabler ซึ่งควรประกอบด้วย 4 ส่วนที่สำคัญ แต่ในสภาพปัจจุบันของประเทศไทยยังมีไม่ครบถ้วน ได้แก่ 1) Regulatory system ใช้หลักการเดียวกับการกับผลิตภัณฑ์ตัดแต่งพันธุกรรม (GMOs) 2) Education and human capital system ไม่มีหลักสูตรสร้างกำลังคนเป็นการเฉพาะ และไม่มีการกำหนดเป้าหมายการพัฒนากำลังคนเพื่อเตรียมการสร้างและใช้เทคโนโลยีให้เพียงพอ 3) Financial support ไม่มีแหล่งทุนเป็นการเฉพาะ ใช้เงินทุนในการวิจัยและพัฒนาจากงบประมาณแผ่นดิน ไม่มีการเตรียมการเพื่อส่งเสริมเทคโนโลยีนี้โดยเฉพาะและขาดความต่อเนื่องของแหล่งเงินสนับสนุนที่จะนำผลการวิจัยเข้าสู่เชิงพาณิชย์อย่างรวดเร็ว และ 4) Non-financial support ยังไม่มีการกำหนดเป้าหมายมาตรการส่งเสริมการวิจัยพัฒนาธุรกิจที่เกี่ยวข้องเป็นการเฉพาะ (รูปที่ 4-4)

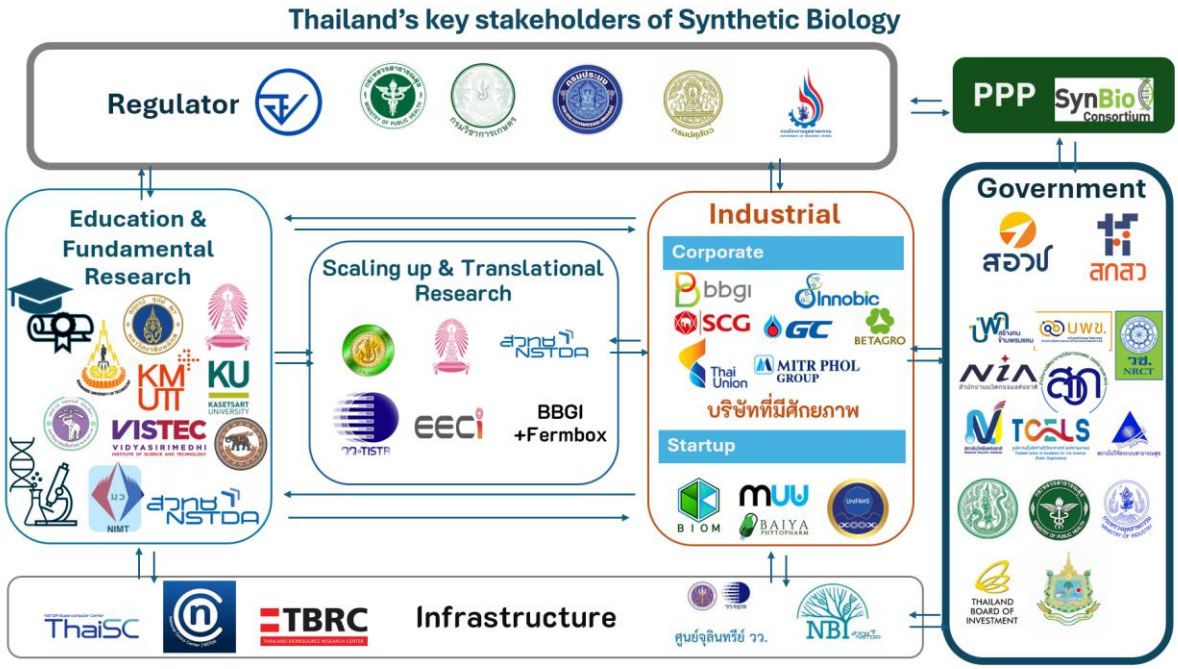


Source : ปรับจาก Arthur D. Little, Kuhlman and Arnold , Expert and stakeholder input,2020.

รูปที่ 4-4: ระบบนิเวศการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

4.2 แผนที่ทำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์

การพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เกี่ยวข้องกับหน่วยงานเป็นจำนวนมาก (4-5) ทั้งในส่วนของ 1) ภาควิชาการ ได้แก่ สถาบันการศึกษา/สถาบันวิจัย 2) ผู้ประกอบการที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดังกล่าวแล้วทั้งในส่วนของบริษัทและ startup รวมถึงบริษัทที่มีศักยภาพที่เป็นการต่อยอดจากฐานธุรกิจเดิมหรือการพัฒนาขึ้นใหม่ 3) หน่วยงานภาครัฐที่สนับสนุนทั้งด้านนโยบาย หน่วยงานด้านกฎหมาย กฎระเบียบ หน่วยงานส่งเสริมการลงทุน และการเข้าถึงตลาด และ 4) SynBio consortium ที่เป็นการรวมตัวร่วมกันระหว่างหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษา/สถาบันวิจัย ดังนั้น จึงเป็นที่มาของการจัดทำแผนที่นำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์เพื่อให้ทุกภาคส่วนได้เห็นทิศทาง เป้าหมายและกลไกของการพัฒนาร่วมกันได้อย่างชัดเจน โดยเป็นการต่อยอดจากแผนที่นำทางที่ SynBio consortium ได้ริเริ่มไว้



รูปที่ 4-5: ผู้เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

4.2.1 การวิเคราะห์ SWOT และ TOWS Matrix Strategy

การจัดทำแผนที่นำทางเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ให้เห็นจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส รวมถึงอุปสรรคในการนำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์มาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาประเทศ รายละเอียดดังรูปที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์นำมาสู่การกำหนดเป็น 4 กลยุทธ์ ได้แก่

1) กลยุทธ์ใช้จุดแข็งเข้าถึงโอกาส (SO) : เร่งรัดพัฒนาการสร้างอุตสาหกรรมและการขยายตลาดผลิตภัณฑ์และบริการที่เกี่ยวข้องกับ SynBio สู่ตลาดโลก
2) กลยุทธ์ที่เน้นการแก้ไขจุดอ่อนเพื่อเข้าถึงโอกาส (WO) : การเร่งรัดการสร้างองค์ความรู้ เทคโนโลยีนวัตกรรม และกำลังคนเชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับ SynBio ทั้งระบบ
3) กลยุทธ์ที่ใช้ในจุดแข็งเพื่อลดอุปสรรค (ST) : การใช้กลไกความร่วมมือระหว่างประเทศในการยกระดับความสามารถด้าน SynBio ของประเทศไทย
4) กลยุทธ์ที่แก้ไขจุดอ่อนเพื่อลดอุปสรรค (WT) : การสร้างและพัฒนาระบบนิเวศที่เอื้อต่อการพัฒนาและใช้ประโยชน์ SynBio อย่างก้าวกระโดด

รูปที่ 4-6: TOWS Matrix Strategy

4.3 แผนที่ทำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย ระยะ 10 ปี

4.3.1 วิสัยทัศน์ และป้าหมายการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

วิสัยทัศน์ : เป็นผู้นำด้านเศรษฐกิจชีวภาพในภูมิภาคอาเซียนด้วยการใช้ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ ต่อยอดฐานความเข้มแข็งสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์/บริการนวัตกรรม

เป้าหมาย (objective) และผลลัพธ์ที่สำคัญ (key results) มีรายละเอียด ดังนี้

<u>เป้าหมายที่ 1</u> ความสามารถการวิจัย พัฒนาเทคโนโลยีด้านชีววิทยาสังเคราะห์ในระดับแนวหน้าของภูมิภาค

<u>ผลลัพธ์ที่สำคัญ</u>

KR 1.1 สถาบันวิจัยที่มีความสามารถด้าน SynBio ไม่น้อยกว่า 10 แห่ง

KR 1.2 กำลังคนที่มีเชี่ยวชาญด้าน SynBio และศาสตร์ที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 1,000 คน

KR 1.3 จำนวนสิทธิบัตร**ที่**คนไทยหรือหน่วยงานไทยเป็นเจ้าของ ≈ 100 เรื่อง

KR 1.4 บริษัทชั้นนำของโลกด้าน SynBio ใช้ไทยเป็นฐานการวิจัย 3 บริษัท

<u>เป้าหมายที่ 2</u> ใช้วิทยากรด้านชีววิทยาสังเคราะห์พัฒนาเศรษฐกิจยกระดับคุณภาพชีวิตและใช้ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

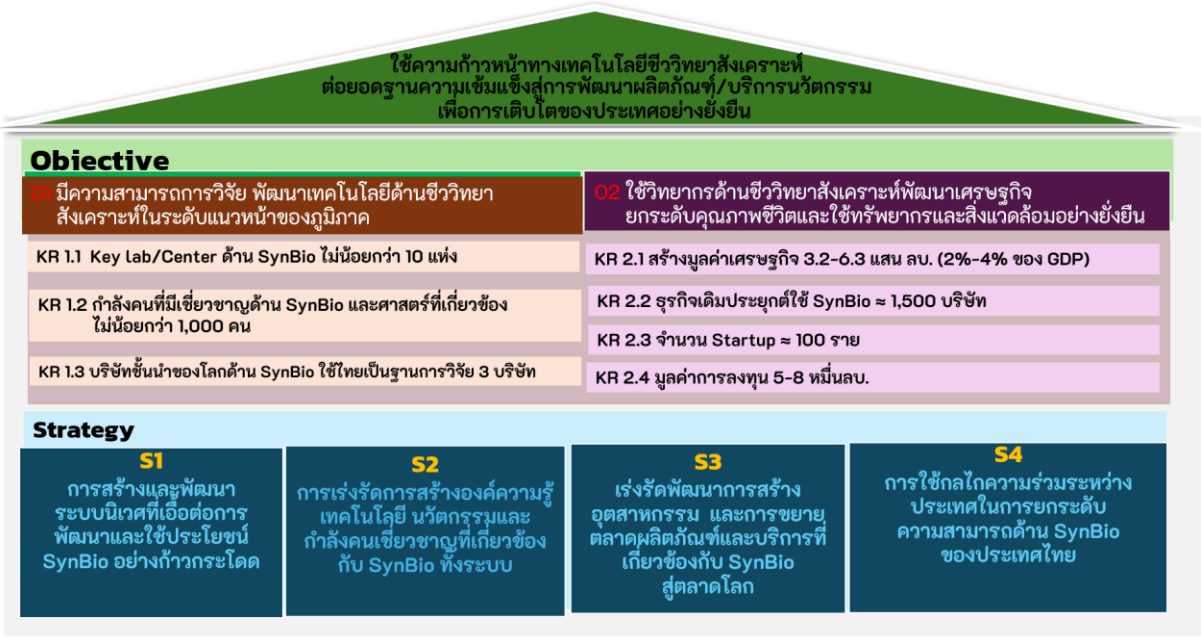
<u>ผลลัพธ์ที่สำคัญ</u>

KR 2.1 สร้างมูลค่าเศรษฐกิจ 3.2-6.3 แสนล้านบาท (2%-4% ของ GDP)

KR 2.2 ธุรกิจเดิมประยุกต์ใช้ SynBio ≈ 1,500 บริษัท

KR 2.3 จำนวน Startup ที่ใช้ SynBio ≈ 100 ราย

KR 2.4 มูลค่าการลงทุน 5-8 หมื่นล้านบาท



รูปที่ 4-7: เป้าหมายการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

4.3.2 แนวทางการดำเนินการภายใต้แผนที่นำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

การดำเนินการภายใต้แผนที่นำทางฯ เป็นการขับเคลื่อนผ่าน 4 กลยุทธ์ ที่สำคัญ ได้แก่

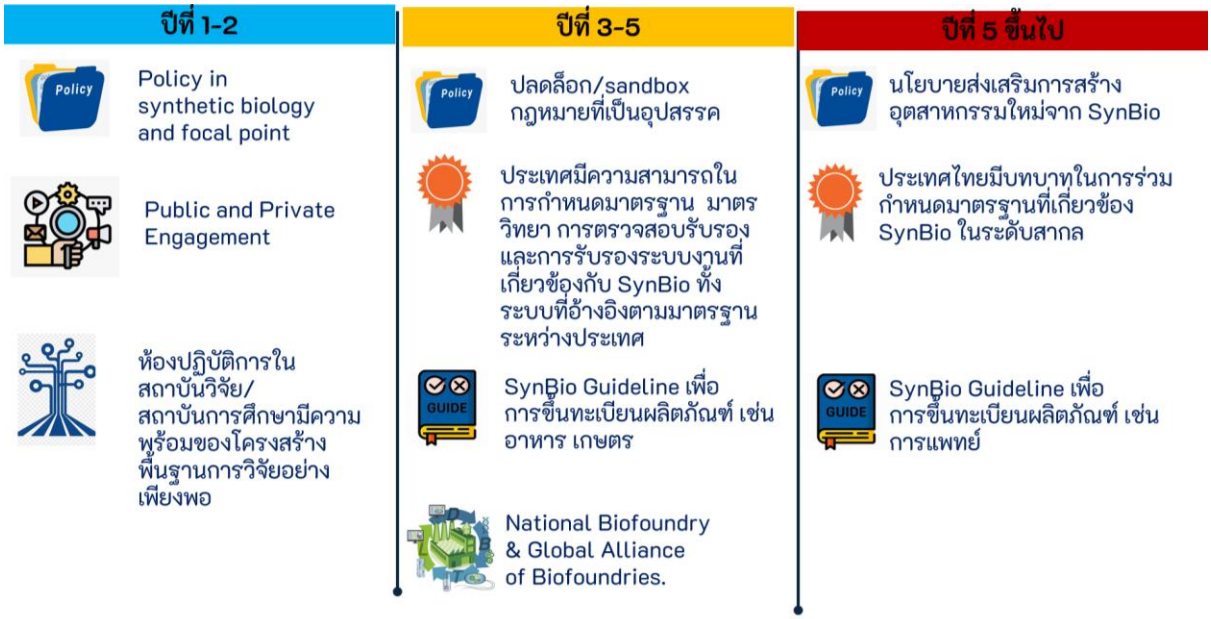
กลยุทธ์ที่ 1 การสร้างและพัฒนาระบบนิเวศที่เอื้อต่อการพัฒนาและใช้ประโยชน์ SynBio อย่างก้าวกระโดด

กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
1. **การประกาศนโยบายให้ชีววิทยาสังเคราะห์เป็นหนึ่งในเทคโนโลยี เป้าหมายแห่งอนาคตของประเทศไทย กำหนดหน่วยงานเจ้าภาพและจัดสรรงบประมาณต่อเนื่อง** (ปีละ 300-500 ล้านบาทต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 10 ปี)	—			สอวช. สกสว.
2. **การสร้าง Engagement ในทุกภาคส่วนของสังคม**ด้วยกระบวนการสื่อสาร การพัฒนาสื่อและการสร้างการมีส่วนร่วมของภาคสังคม	—	—		สอวช. สกสว. SynBio Consortium

กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
3. การยกระดับโครงสร้างพื้นฐาน Biofoundry ของสถาบันให้เป็น National- Biofoundry เพื่อเร่งรัดนวัตกรรมโดยให้บริการในรูปแบบ sharing facility ที่มีผู้เชี่ยวชาญพร้อมให้บริการ		—		สกสว. สถาบันวิจัย สถาบันการศึกษา
4. **การลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน**เพื่อการเร่งรัดพัฒนาเทคโนโลยีด้าน SynBio เพิ่มเติมในสถาบัน การศึกษา/สถาบันวิจัย เพื่อสร้างความเข้มแข็งทางการสร้างองค์ความรู้และการพัฒนาคน	—			สกสว. สถาบันวิจัย สถาบันการศึกษา
5. การยกระดับ/พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นฐานจำเป็นต่อการพัฒนา SynBio เช่น biological resources and biological data center		—		สกสว. สถาบันวิจัย สถาบันการศึกษา
6. การจัดให้มีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ตลอดกระบวนการ ได้แก่ วิธีวัดมาตรฐานเครื่องมือ /เครื่องใช้เพื่อการออกแบบ สร้าง/การทำนายโครงสร้างและคุณสมบัติของโปรตีนและ RNA เป้าหมาย**ด้วยการอ้างอิงมาตรฐานที่มีอยู่แล้วในต่างประเทศและ/หรือริเริ่มใหม่ รวมถึงการสร้างความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการดำเนินงานให้เป็นไปตามมาตรฐาน**		—		บพข. มว. สถาบันวิจัย สถาบันการศึกษา
7. การลงทุน NQI ด้านชีววิทยาสังเคราะห์ (process and products) เพื่อรองรับการพัฒนาและการใช้ประโยชน์		—		บพข. มว.
8. การจัดทำแนวปฏิบัติเพื่อการขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์/บริการที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งระบบ		—		บพข. อย. ก.เกษตรฯ

กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
9. การปลดล็อก การปรับปรุงกฎระเบียบ รวมถึง การจัดทำแนวปฏิบัติ (guideline) ให้มีความ ชัดเจนเพื่อส่งเสริมและการใช้ประโยชน์จาก การวิจัย และนวัตกรรมภายในประเทศ	———	———		สอวช. ก.เกษตรฯ อย.

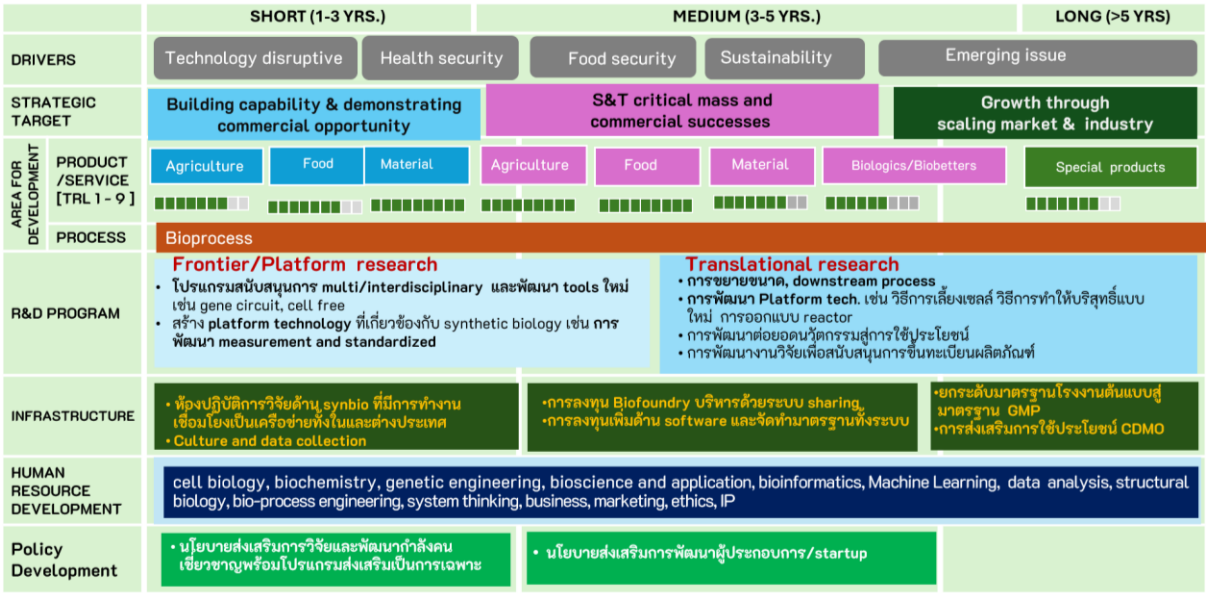
การดำเนินการในกิจกรรมดังกล่าวข้างต้นจะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายดังรูปที่ 4-8



รูปที่ 4-8: เป้าหมายการสร้างและพัฒนาระบบนิเวศที่เอื้อต่อการพัฒนาและใช้ประโยชน์ SynBio อย่างก้าวกระโดด

กลยุทธ์ที่ 2 การเร่งรัดการสร้างองค์ความรู้ เทคโนโลยี นวัตกรรม และกำลังคนเชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับ SynBio ทั้งระบบ

การเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมและกำลังคนเชี่ยวชาญถือเป็นเงื่อนไขความสำเร็จในการใช้ศักยภาพของชีววิทยาสังเคราะห์ได้เต็มศักยภาพภายใต้การมีความสามารถในการพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นแกนหลักของตนเอง รวมถึงมีความสามารถในการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย โดยแผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ดังรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9: แผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย

แนวทางการสร้างความสามารถด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย ดังนี้

กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
1. การจัดสรรงบประมาณสนับสนุนการสร้างองค์ความรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมต่อเนื่อง • **การพัฒนา Frontier research** ❖ Gene/genome engineering ❖ Protein and RNA design/engineering ❖ Cellular pathway and circuit design/ engineering ❖ Host and Consortia Engineering ❖ Data Integration, Modeling, AI, and Automation • **การพัฒนา Translational research** ❖ การปรับใช้ SynBio ในกระบวนการผลิตของพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มี การจำหน่ายแล้ว เช่น enzyme ในกระบวนการผลิตและอุตสาหกรรม ❖ ผลิตภัณฑ์ที่ประเทศมีศักยภาพในการแข่งขัน (low volume high value) เช่น special chemical & new enzymes, biomaterial,				สกสว. PMUs

กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
function ingredient, functional food, functional feed ❖ ผลิตภัณฑ์สร้างผลกระทบสูง ความท้าทายสูง เช่น biologics/therapeutics/vaccine				
2. การจัดตั้งหรือยอมรับห้องปฏิบัติการหรือศูนย์เชี่ยวชาญ (Key lab/center) ด้านชีววิทยาสังเคราะห์และที่เกี่ยวข้อง • **Key lab/center** of Microbial SynBio • **Key lab/center** of Plant SynBio • **Key lab/center** of Animal SynBio • **Key lab/center** of Medical SynBio • **Key lab/center** of SynBio Metrology and Standard				สกสว.
3. การพัฒนาหลักสูตรชีววิทยาสังเคราะห์และที่เกี่ยวข้องทั้งในรูปแบบหลักสูตรการศึกษาระดับปริญญาตรี-โท-เอก และหลักสูตรอบรมระยะสั้น (เช่น เทคโนโลยีเฉพาะด้าน/ความรู้สำหรับผู้ประกอบการ/ประเด็นชีวจริยธรรมที่เกี่ยวข้อง)				สอวช. สกอ.
4. การดึงดูดกำลังคนเชี่ยวชาญทั้งจากในและต่างประเทศให้เข้าสู่การเรียนด้านชีววิทยาสังเคราะห์และศาสตร์ที่เกี่ยวข้องด้วยการจัดให้มีทุนการศึกษา ระบบการจ้างงานรองรับเมื่อสำเร็จการศึกษา				บพค. สอวช.
5. การพัฒนาแนวปฏิบัติเพื่อจัดทำหลักสูตรชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับ อาเซียนด้วยความร่วมมือกับ UNESCO/OECD/WEF เพื่อให้มีกำลังคนเชี่ยวชาญในภูมิภาคเพียงพอต่อความต้องการในอนาคต				สอวช.
6. การสร้างและพัฒนาผู้เชี่ยวชาญเพื่อสนับสนุนการขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์และบริการทั้งในหน่วยภาครัฐและเอกชน				หน่วยงานกำกับดูแล

กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
7. การจัดประชุมและแสวงความร่วมมือระดับนาชาติด้านชีววิทยาสังเคราะห์	———	———	———	สกสว. SynBio Consortium
8. โปรแกรมความร่วมมือระหว่างประเทศด้านชีววิทยาสังเคราะห์ร่วมกับสถาบันวิจัยชั้นนำของโลกเพื่อเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยี ให้ทัดเทียมระดับโลก		———	———	บพค.
9. จัดให้มีกลไกสนับสนุนการบริหารจัดการทรัพย์สินทางปัญญาเพื่อเร่งรัดการวิจัยและใช้ประโยชน์ เช่น รวบรวม IP จากต่างประเทศ (Public IP Pools) ความอิสระในการดำเนินการ (FTO) การเจรจาเพื่อการเข้าถึงเทคโนโลยี ตัวอย่างวัตถุเพื่อการวิจัย (MTA) การคุ้มครองและใช้ประโยชน์ IP		———	———	บพข.

ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้จัดทำตัวอย่างโปรแกรมการพัฒนางานวิจัยขั้นแนวหน้า (Frontier Research) ด้านชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ที่สามารถนำไปเป็นฐานการพัฒนาร่วมเพื่อการต่อยอดอุตสาหกรรมที่หลากหลาย โดยมีตัวอย่างโปรแกรมการพัฒนางานวิจัยขั้นแนวหน้าในระยะต่าง ๆ ดังนี้

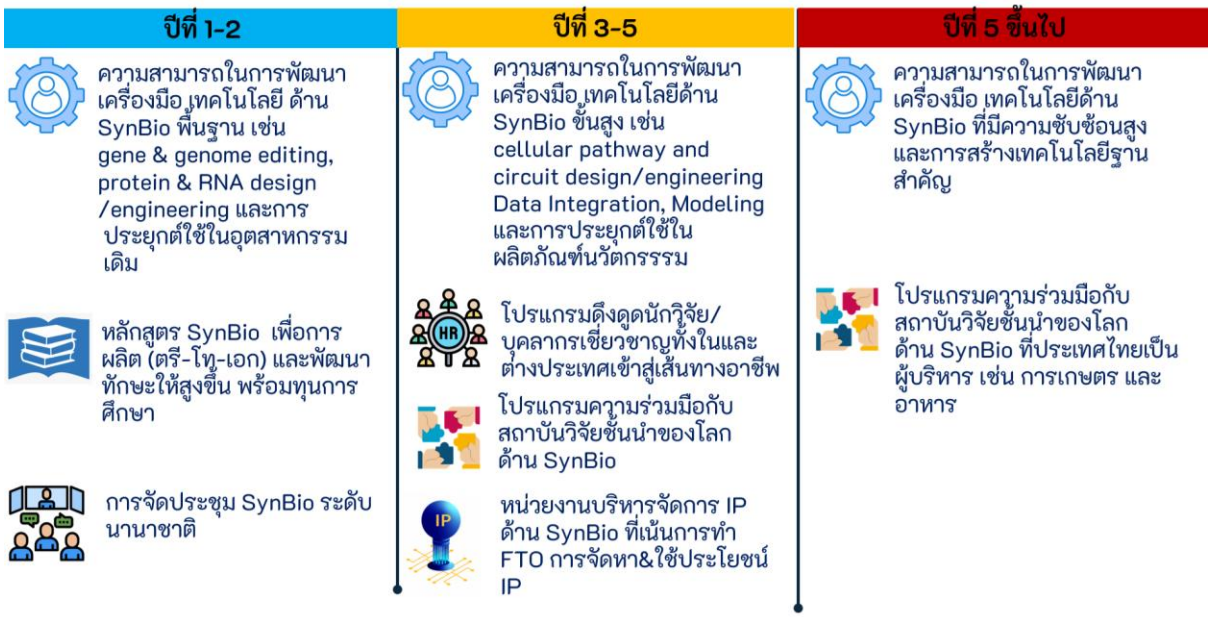
ตารางที่ 4-1: ตัวอย่างโปรแกรมการพัฒนางานวิจัยชั้นแนวหน้าขั้นแนวหน้า (Frontier Research) ด้านชีววิทยาสังเคราะห์ (Synthetic Biology)

กลุ่มงานวิจัย	เป้าหมาย (milestone)		
	1-2 ปี **สร้างความสามารถให้เกิด critical mass** **(ใช้ให้เป็น)** มีความสามารถในการใช้ engineering concept และเครื่องมือที่มีในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต	**3-5 ปี** **พัฒนาองค์ความรู้โดยนักวิจัยไทยมีส่วนร่วม** **(ทำได้เอง)** มีความสามารถในการใช้ engineering concept ในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต และใช้เครื่องมือทาง AI/big data ประมวลเข้าระบบ DBTL ให้ปรับปรุงสิ่งมีชีวิตได้รวดเร็วขึ้น พัฒนาเครื่องมือบางอย่างได้	**มากกว่า 5 ปี** **พัฒนาการประยุกต์ใช้และเกิดการวิจัยต่อเนื่องอย่างยั่งยืน** **(เกิดการประยุกต์ใช้และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง)** ใช้ engineering concept ในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต และใช้เครื่องมือทาง AI/big data ประมวลเข้าระบบ DBTL ให้ปรับปรุงสิ่งมีชีวิตได้รวดเร็วขึ้น พัฒนาเครื่องมือบางอย่างได้ ประยุกต์ใช้แก้ปัญหาเชิงลึก หรือนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่ได้
1. Gene and genome engineering	• ความสามารถในการใช้เครื่องมือสำหรับ gene editing ซึ่งอาจไม่จำกัดอยู่เฉพาะ CRISPR/Cas ทั้งนี้อาจพิจารณาในสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายและอาจไม่จำกัดเฉพาะจุลินทรีย์ • ระบบการฝึกอบรมในการใช้เครื่องมือสำหรับ gene editing และอาจเน้นความเชี่ยวชาญในการใช้ CRISPR/Cas เพื่อสร้างฐานการวิจัยทางด้านทักษะและกำลังคน	• ความสามารถพัฒนาการใช้เครื่องมือ และ/หรือเครื่องมือสำหรับ gene editing ใน platform ที่นักวิจัยไทยได้เปรียบหรือเป็นเจ้าของ • วิธีวัดและมาตรฐานของเครื่องมือใช้และ/หรือเครื่องมือสำหรับ gene editing	• ความสามารถในการใช้เครื่องมือสำหรับ gene editing ที่มีคุณสมบัติตามความต้องการ (high-efficiency gene editing และ minimal off-target effects) ในทุกสิ่งมีชีวิตที่มีความสนใจในการพัฒนา/ปรับปรุง genome • ความสามารถในการนำเครื่องมือสำหรับ gene editing ที่นักวิจัยไทยได้เปรียบหรือเป็นเจ้าของไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีแผนการพัฒนา ecosystems รองรับและนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์
2. Protein and RNA design/ engineering	• ความสามารถในการใช้เครื่องมือหรือเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน เช่น Omics technology, Bioinformatic และ machine learning ในการออกแบบและสร้าง protein และ RNA เป้าหมาย ทั้งนี้อาจพิจารณาในสิ่งมีชีวิต	• ความสามารถการทำนายโครงสร้าง และคุณสมบัติต่าง ๆ ของโปรตีนและ RNA ที่ออกแบบและสร้างขึ้น ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ • วิธีวัดและมาตรฐานของเครื่องมือใช้และ/หรือเครื่องมือสำหรับออกแบบ/สร้าง/ทำนาย	• ความสามารถในการออกแบบและสร้างโปรตีนและ RNA เป้าหมาย ได้ตรงตามความต้องการ • ความสามารถในการนำโปรตีนและ RNA ที่สร้างได้มาผลิตในขยายที่ใหญ่ขึ้น

กลุ่มงานวิจัย	เป้าหมาย (milestone)		
	1-2 ปี **สร้างความสามารถให้เกิด critical mass** **(ใช้ให้เป็น)** มีความสามารถในการใช้ engineering concept และเครื่องมือที่มีในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต	**3-5 ปี** **พัฒนาองค์ความรู้โดยนักวิจัยไทยมีส่วนร่วม** **(ทำได้เอง)** มีความสามารถในการใช้ engineering concept ในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต และใช้เครื่องมือทาง AI/big data ประมวลเข้าระบบ DBTL ให้ปรับปรุงสิ่งมีชีวิตได้รวดเร็วขึ้น พัฒนาเครื่องมือบางอย่างได้	**มากกว่า 5 ปี** **พัฒนาการประยุกต์ใช้และเกิดการวิจัยต่อเนื่องอย่างยั่งยืน** **(เกิดการประยุกต์ใช้และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง)** ใช้ engineering concept ในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต และใช้เครื่องมือทาง AI/big data ประมวลเข้าระบบ DBTL ให้ปรับปรุงสิ่งมีชีวิตได้รวดเร็วขึ้น พัฒนาเครื่องมือบางอย่างได้ ประยุกต์ใช้แก้ปัญหาเชิงลึกหรือนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่ได้
	ที่หลากหลายและอาจไม่จำกัดเฉพาะจุลินทรีย์	โครงสร้างและคุณสมบัติของโปรตีนและ RNA เป้าหมายเพื่อพัฒนาความสามารถในการทำซ้ำ	
3. Cellular pathway and circuit design/ engineering	• ความสามารถในการใช้เครื่องมือหรือเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน ในการออกแบบและสร้าง cellular pathway และ gene circuit เพื่อใช้ในการควบคุมการสร้าง Macromolecules และ small molecules	• ความสามารถในการออกแบบและสร้าง cellular pathway และ gene circuit ที่มีความซับซ้อนและสามารถใช้ควบคุมการแสดงออกของสิ่งมีชีวิตเป้าหมาย ทั้งในมิติการผลิตสารสำคัญและคุณสมบัติของสิ่งมีชีวิตเป้าหมายได้ตามที่ออกแบบไว้ • วิธีการวัดและมาตรฐานของกระบวนการออกแบบและสร้าง cellular pathway และ gene circuit เพื่อพัฒนาความสามารถในการทำซ้ำ	• ความสามารถในการออกแบบและสร้าง cellular pathway และ gene circuit ที่มีคุณสมบัติในการควบคุมการแสดงออกที่หลากหลายของสิ่งมีชีวิตเป้าหมาย เพื่อนำไปสู่ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดียิ่งขึ้น • ความสามารถในการนำผลิตภัณฑ์และสิ่งมีชีวิตที่ผ่านการปรับปรุงที่สร้างได้มาผลิตในขนาดที่ใหญ่ขึ้น
4. Hosts and consortia engineering	• ทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ของ host (microorganism) ที่มีศักยภาพพัฒนาต่อไป • กระบวนการพัฒนาให้เกิด consortia engineering เพื่อให้ได้คุณสมบัติและ/หรือฟังก์ชันตามต้องการ	• กระบวนการพัฒนา host และ consortia platform ที่มีคุณสมบัติ robust สามารถรองรับการใช้ได้หลากหลาย • ความสามารถในการใช้ model organism (single cell, consortium) และ non-model organism (cell free) ร่วมกับเครื่องมือ/	• ความสามารถในการใช้ model organism (single cell, consortium) และ non-model organism (cell free) ที่ผ่านการออกแบบและปรับปรุงทาง molecular engineering ให้ผลิตและ/หรือแสดงออกได้ตามเป้าหมายและ

กลุ่มงานวิจัย	เป้าหมาย (milestone)		
	1-2 ปี **สร้างความสามารถให้เกิด critical mass** **(ใช้ให้เป็น)** มีความสามารถในการใช้ engineering concept และเครื่องมือที่มีในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต	**3-5 ปี** **พัฒนาองค์ความรู้โดยนักวิจัยไทยมีส่วนร่วม** **(ทำได้เอง)** มีความสามารถในการใช้ engineering concept ในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต และใช้เครื่องมือทาง AI/big data ประมวลเข้าระบบ DBTL ให้ปรับปรุงสิ่งมีชีวิตได้รวดเร็วขึ้น พัฒนาเครื่องมือบางอย่างได้	**มากกว่า 5 ปี** **พัฒนาการประยุกต์ใช้และเกิดการวิจัยต่อเนื่องอย่างยั่งยืน** **(เกิดการประยุกต์ใช้และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง)** ใช้ engineering concept ในการปรับเปลี่ยนสิ่งมีชีวิต และใช้เครื่องมือทาง AI/big data ประมวลเข้าระบบ DBTL ให้ปรับปรุงสิ่งมีชีวิตได้รวดเร็วขึ้น พัฒนาเครื่องมือบางอย่างได้ ประยุกต์ใช้แก้ปัญหาเชิงลึกหรือนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่ได้
		กระบวนการที่ได้พัฒนามาแล้วเพื่อใช้ได้จริงตามที่ออกแบบ • วิธีการวัดและมาตรฐานของกระบวนการออกแบบและสร้าง model organism และ non-model organism เพื่อพัฒนาความสามารถในการใช้งานที่หลากหลายสภาวะและความต้องการ	สามารถขยายขนาดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ต่อไป
5. Data Integration, modeling, AI, and automation	• กระบวนการพัฒนาและเก็บข้อมูลเพื่อเป็นฐานข้อมูลกลางของประเทศ • ประยุกต์กระบวนการในห้องปฏิบัติการที่มีปริมาณการใช้มากให้เป็นระบบอัตโนมัติ	• ฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยด้านชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศ เช่น host genome และ omics data ให้มีการจัดการเข้าถึงข้อมูลอย่างโปรงใสและถูกต้อง • วิธีการวัด/ตรวจสอบและมาตรฐานของข้อมูล กระบวนการใช้ข้อมูลและระบบอัตโนมัติ ที่พัฒนาขึ้น	• การบูรณาการการใช้ระบบอัตโนมัติและระบบฐานข้อมูลเพื่อส่งเสริมการออกแบบและสร้างโปรแกรมการทำงานของวงจรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต หรือการสร้างเซลล์สังเคราะห์เพื่อให้ผลิตและ/หรือแสดงออกตามความต้องการภายในระยะเวลาที่กำหนด นำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์
	สร้างฐานงานวิจัยทางด้าน bioinformatics, AI และ machine learning โดยสอดแทรกให้มีการใช้เครื่องมือนี้อย่างแพร่หลาย		

การดำเนินการในกิจกรรมดังกล่าวข้างต้นจะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10: เป้าหมายการสร้างองค์ความรู้ เทคโนโลยี นวัตกรรม และกำลังคนเชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับ SynBio ทั้งระบบ

กลยุทธ์ที่ 3 เร่งรัดพัฒนาการสร้างอุตสาหกรรมและการขยายตลาดผลิตภัณฑ์และบริการที่เกี่ยวข้องกับ SynBio สู่ตลาดโลก

การเร่งรัดพัฒนาการสร้างอุตสาหกรรมและการขยายตลาดผลิตภัณฑ์และบริการที่เกี่ยวข้องกับ SynBio สู่ตลาดโลกสำเร็จได้ ภาคเอกชนต้องเป็นผู้นำในการขับเคลื่อนเนื่องจากมีความเข้าใจความต้องการของตลาดที่สามารถนำไปสู่การกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการที่ต้องวิจัยและพัฒนาที่ชัดเจน และเพิ่มโอกาสการใช้ประโยชน์จากงานวิจัยและพัฒนาที่ประเทศไทยได้ลงทุนไว้ ทั้งนี้ ภาครัฐต้องเข้ามามีบทบาทในการสนับสนุนการดำเนินงานทั้งในส่วนของการกำหนดนโยบายส่งเสริม การจัดให้มีมาตรการจูงใจทั้งด้านการเงิน การคลัง การตลาด รวมถึงการปรับปรุงกฎระเบียบให้เกิดความคล่องตัวและมีความชัดเจนในแนวปฏิบัติ โดยมีแนวทางในการดำเนินการ ดังนี้

กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
1. การผลักดันให้เอกชนเป็นผู้นำในการขับเคลื่อนการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ของประเทศไทย	———			FTI (ส.อ.ท.) SynBio Consortium สอวช.
2. จัดตั้งโปรแกรมบ่มเพาะ startup ที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ในสถาบันการศึกษา/สถาบันวิจัยที่มีประสบการณ์ Technology Incubate	———	———		NIA บพค.

กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
3. การยกระดับความสามารถด้านการขยายขนาดในระดับต่าง ๆ ให้กับสถาบันการศึกษา/สถาบันวิจัย และสนับสนุน**การใช้ประโยชน์ผลงานวิจัย/โครงสร้างพื้นฐานทั้งระบบ** เช่น Pilot Plant/ CDMO (ต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์ การประเมินความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี /ธุรกิจ/การตลาด และการขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์)		———	———	สกสว. บพข.
4. การสร้าง และขยายตลาดทั้งในและต่างประเทศ ด้วยมาตรการการเงิน การคลัง และกลไก G-G		———	———	สอวช., NIA, BOI ก.การคลัง Consortium
5. การส่งเสริมให้บริษัทขนาดใหญ่ของประเทศไทยไปลงทุนในต่างประเทศ ที่เป็นตลาดเป้าหมายเพื่อการขยายตลาด		———	———	BOI

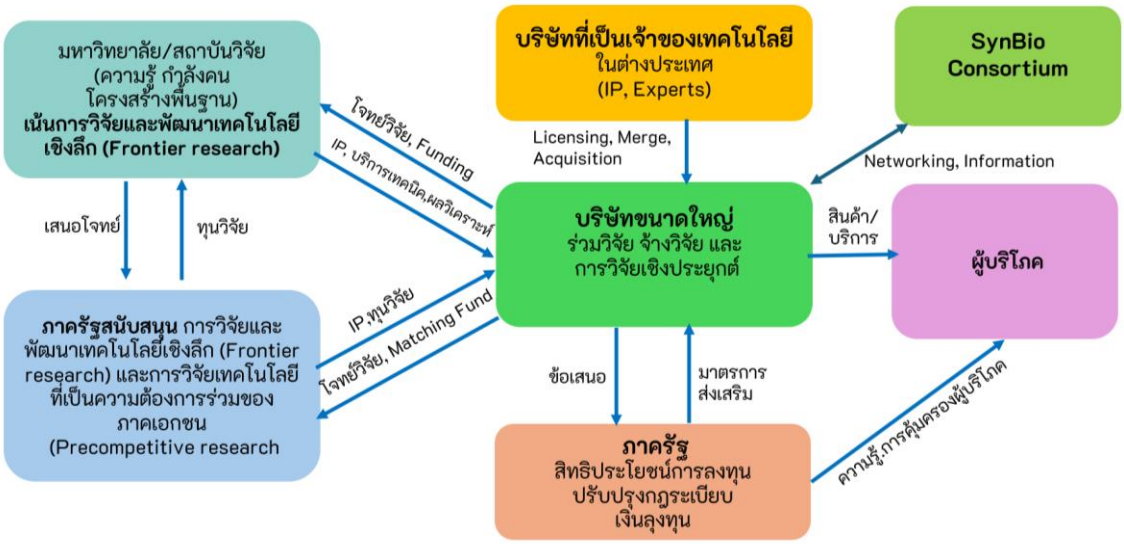
การผลักดันให้เอกชนมีบทบาทในการขับเคลื่อนการใช้ประโยชน์เทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์ มีแนวทางในการดำเนินการที่สำคัญ ดังนี้

- การจัดหารือร่วมกับสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยเพื่อบรรจุไว้เป็นส่วนหนึ่งของแผนการดำเนินงานของสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- จัดเวทีการประชุม สัมมนา ระหว่างภาคส่วนต่างๆ เพื่อนำเสนอโอกาสที่หลากหลาย (ครอบคลุมอุตสาหกรรมเป้าหมาย และผู้ประกอบการทุกกลุ่ม)
- จัดให้มีโครงการความร่วมมือนำร่องระหว่างเอกชนและรัฐที่หลากหลายรูปแบบเพื่อเพิ่มโอกาสในการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์
- การปรับปรุงกฎ ระเบียบในการดำเนินงานให้ส่งเสริมการวิจัยและใช้ประโยชน์ (smart regulators) ในวงกว้าง

สำหรับการเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางเทคโนโลยีและนวัตกรรมของเอกชนจำเป็นต้องดำเนินการด้วยรูปแบบที่แตกต่างกันตามระดับความพร้อมและความสามารถในการลงทุนการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการไทยจำเป็นต้องใช้รูปแบบที่ต่างกันเพื่อให้ผู้ประกอบการแต่ละกลุ่มได้รับประโยชน์สูงสุด ดังนี้

1. <u>บริษัทขนาดใหญ่</u>

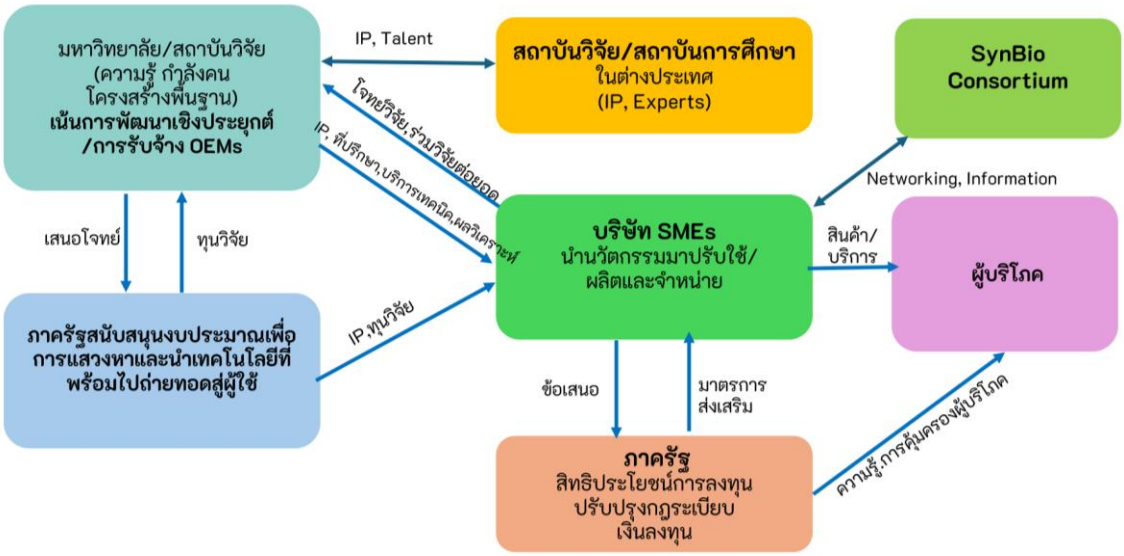
- โปรแกรมความร่วมมือกับบริษัทขนาดใหญ่โดยสถาบันวิจัยของรัฐสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีแนวหน้าเชิงลึก (Frontier/discovery research) และรัฐสนับสนุนการวิจัยเทคโนโลยีที่เป็นความต้องการร่วมของภาคเอกชน (Precompetitive research)



รูปที่ 4-11: โมเดลสนับสนุนบริษัทขนาดใหญ่ในการเร่งรัดพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์

2. <u>บริษัท SMEs</u>

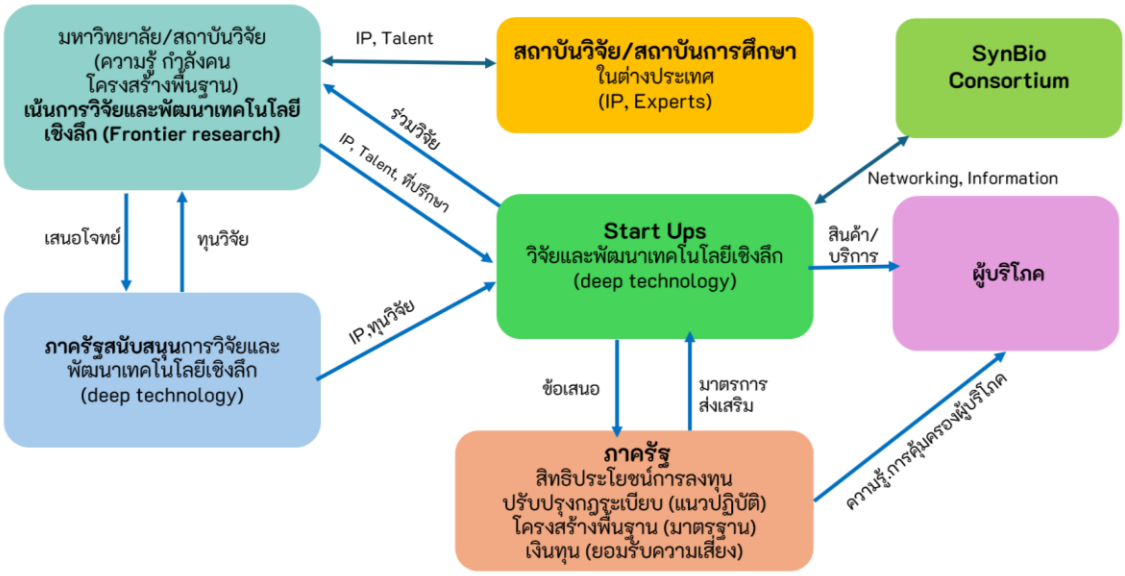
- หน่วยงาน/โปรแกรมทำหน้าที่แสวงหาเทคโนโลยีที่มีความพร้อมใช้ที่เป็นประโยชน์ต่อ SMEs และมีโปรแกรมสนับสนุนหรือช่วยเหลือทางการเงินเพื่อให้เข้าถึงและนำเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตได้



รูปที่ 4-12: โมเดลสนับสนุนบริษัท SMEs ในการนำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ไปต่อยอดธุรกิจ

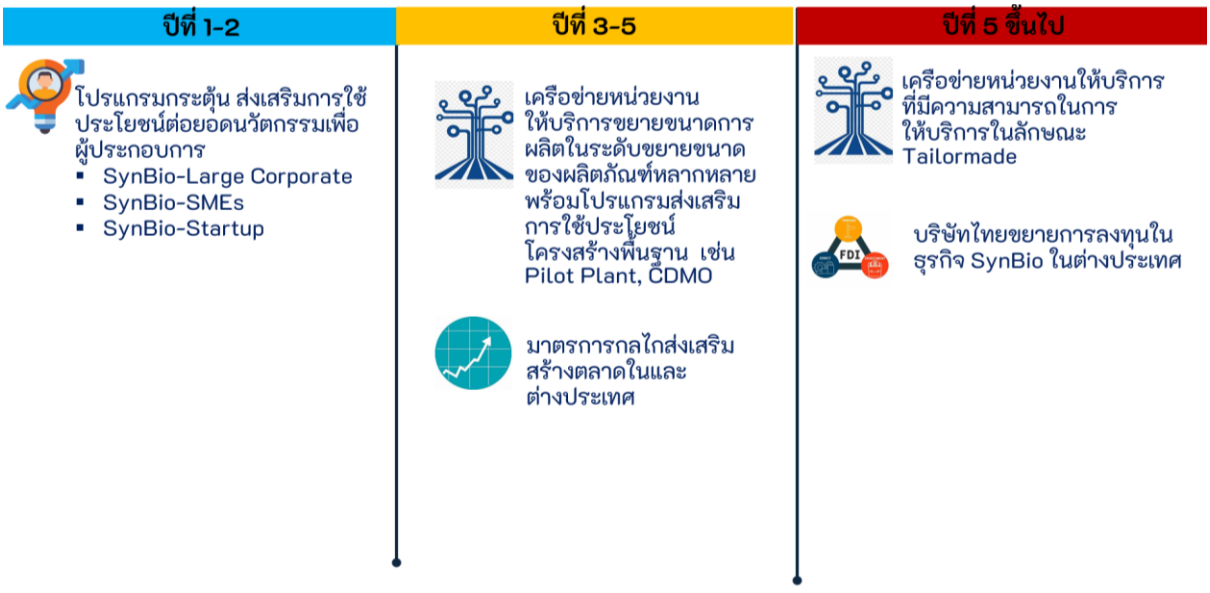
3. Startups

- โปรแกรมสนับสนุน Startup (smart funder ร่วมรับความเสี่ยง ทั้งวงจร)



รูปที่ 4-13: โมเดลสนับสนุนการสร้าง Startup ด้านชีววิทยาสังเคราะห์

การดำเนินการในกิจกรรมดังกล่าวข้างต้นจะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายดังรูปที่ 4-14



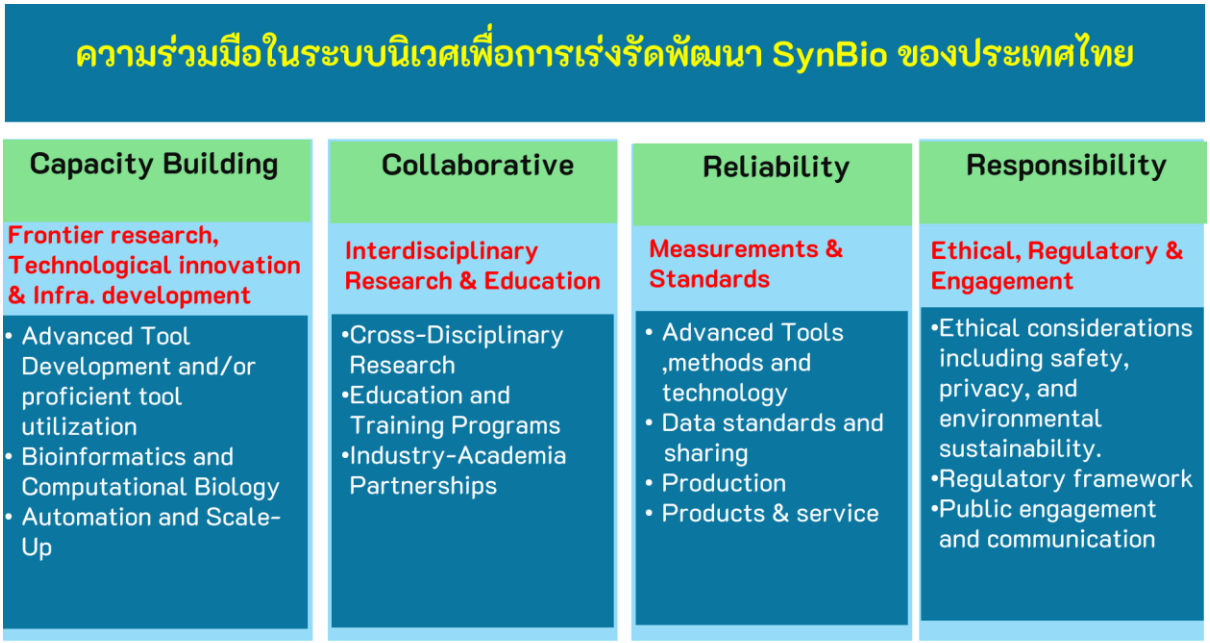
รูปที่ 4-14: เป้าหมายเร่งรัดพัฒนาการสร้างอุตสาหกรรมและการขยายตลาดผลิตภัณฑ์และบริการที่เกี่ยวข้องกับ SynBio

กลยุทธ์ที่ 4 การใช้กลไกความร่วมระหว่างในการยกระดับความสามารถด้าน SynBio ของประเทศไทย

การเร่งรัดพัฒนาการสร้างอุตสาหกรรมและการขยายตลาดผลิตภัณฑ์และบริการที่เกี่ยวข้องกับ SynBio สู่ตลาดโลก มีแนวทางในการดำเนินการ ดังนี้

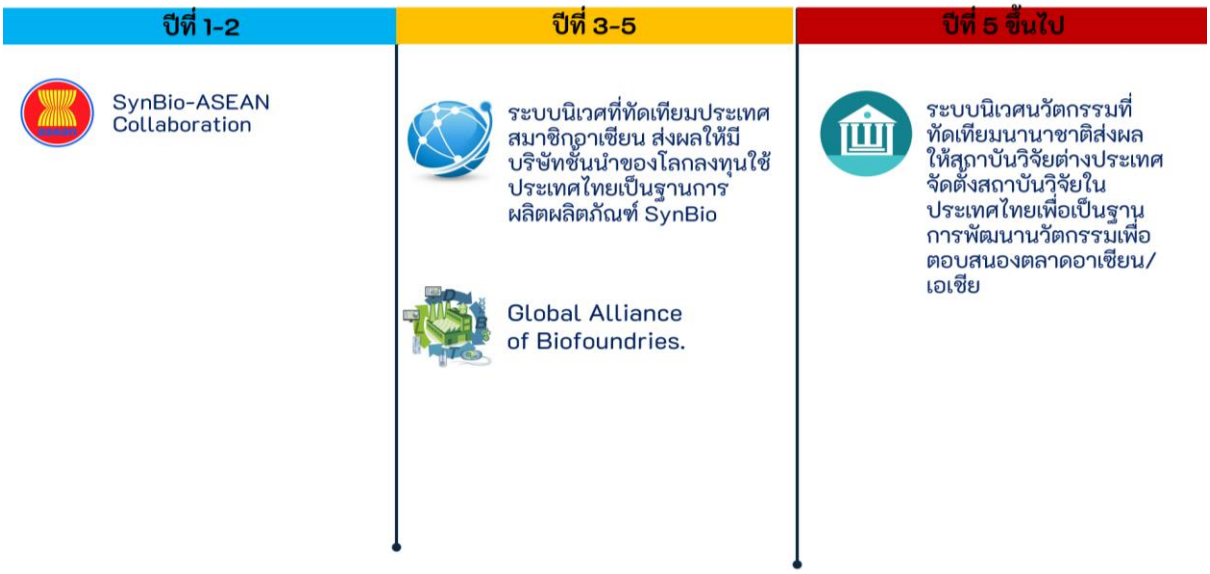
กิจกรรม	1-2 ปี	3-5 ปี	มากกว่า 5 ปี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ
1. การใช้พลังของเครือข่ายพันธมิตร เช่น Consortium ในการแสวงหา ความร่วมมือที่ส่งผลต่อการพัฒนาด้าน SynBio ของประเทศไทย	———	———	———	Consortium
2. การดึงดูดการลงทุนจากบริษัทด้านชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกให้มาตั้งฐานการผลิตในประเทศไทยด้วยกลไกสิทธิประโยชน์และ one stop services		———	———	BOI FTI (ส.อ.ท.)
3. การดึงดูดสถาบันวิจัยชีววิทยาสังเคราะห์ของโลกให้มาตั้งฐานการวิจัยในประเทศด้วยระบบนิเวศที่ทัดเทียมสากล เช่น ปลดล็อกกฎหมาย กฎระเบียบที่เป็นอุปสรรค จัดให้มีหน่วยงานที่ทำหน้าที่ one stop services เพิ่มความคล่องตัว/รวดเร็ว (work permit การขออนุญาต การขึ้นทะเบียนผลิตภัณฑ์) รวมถึงความสามารถด้าน SynBio และที่เกี่ยวข้องที่ทัดเทียมนานาชาติ			———	BOI FTI (ส.อ.ท.)
4. SyniBo-ASEAN Collaboration (knowledge, technology, resources, facilities) เพื่อให้อาเซียนเป็น landmark ใหม่ของโลก	———			The ASEAN Secretariat
5. การร่วมเป็นเครือข่ายความร่วมมือด้าน SynBio ของนานาชาติ เช่น Global Biofoundry		———	———	สกสว.

หน่วยงานภายใต้ระบบนิเวศนวัตกรรมการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ สามารถมีรูปแบบความร่วมมือร่วมกันได้ใน 4 รูปแบบ ดังนี้



รูปที่ 4-15: ความร่วมมือในระบบนิเวศเพื่อกาเร่งรัดพัฒนา SynBio ของประเทศไทย

การดำเนินการในกิจกรรมดังกล่าวข้างต้นจะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายดังรูปที่ 4-16

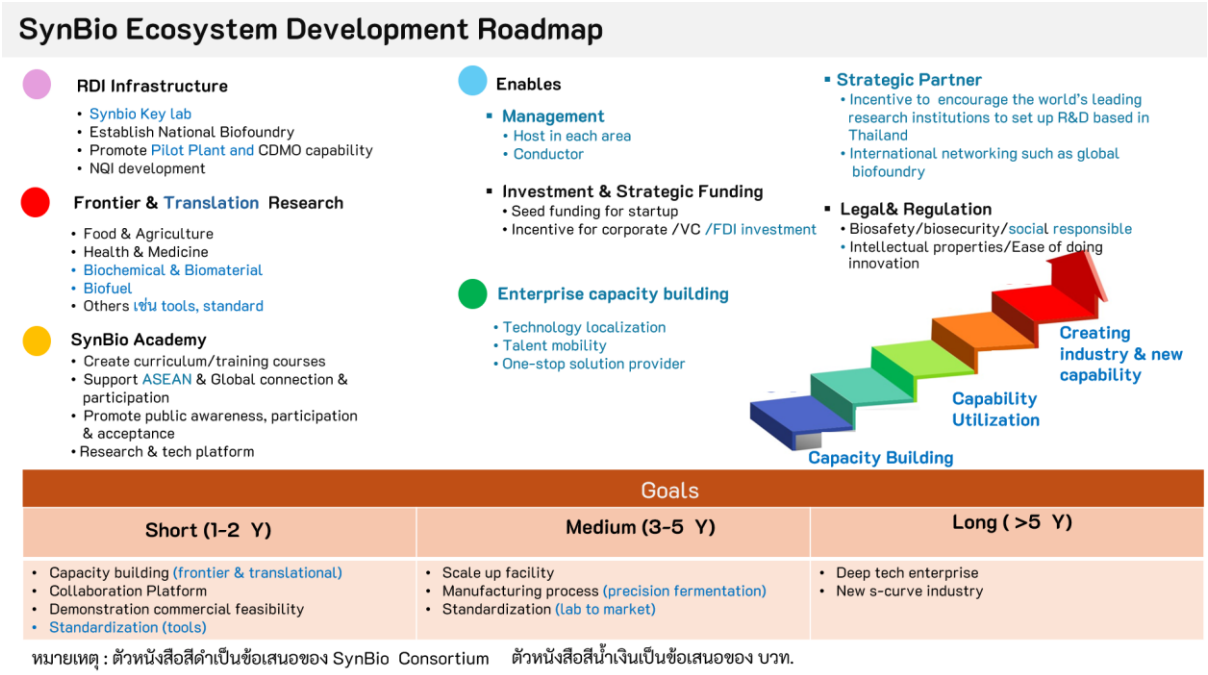


รูปที่ 4-16: เป้าหมายการใช้กลไกความร่วมมือในการยกระดับความสามารถด้าน SynBio ของประเทศไทย

4.4 การขับเคลื่อนแผนที่ทำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย ระยะ 10 ปี

เมื่อเปรียบเทียบแผนที่นำทางฯ ที่จัดทำโดย SynBio Consortium และ บวท. เห็นได้ว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยแผนที่นำทางฯ ที่จัดทำโดย บวท. เป็นการเพิ่มเติมแนวทางในรายละเอียดให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น พร้อมทั้งมีประเด็นเสนอเพิ่มเติม 3 ส่วนที่สำคัญ ดังรูปที่ 4-17

1) **การมอบหมายเจ้าภาพที่รับผิดชอบการขับเคลื่อนที่ชัดเจน**ทั้งเจ้าภาพในเรื่องต่าง ๆ (research funding, ecosystem building, หน่วยงานนอกกระทรวง) และเจ้าภาพกลางที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยง ติดตามผลของการดำเนินงานทั้งในส่วนของปัจจัยนำเข้า (input) ผลผลิต (output) ผลลัพธ์ (outcome) เพื่อนำไปสู่การปรับแผนได้เหมาะสม (rolling plan) รวมถึงการประเมินผลภาพรวมของ roadmap เช่น 3 ปี เพื่อปรับปรุง roadmap ให้เหมาะสมกับบริบทที่เปลี่ยนแปลงไป
2) **การสร้างขีดความสามารถให้กับภาคเอกชน**ในการนำและการลงทุนในเทคโนโลยีชีววิทยาสังเคราะห์เพื่อไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้สินค้าและบริการที่มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ต้นทุนการผลิตที่ลดลง ลดความสูญเสีย/ ของเสียในกระบวนการผลิต รวมถึงการสร้างผลิตภัณฑ์นวัตกรรมซึ่งในระยะแรกอาจจำเป็นต้องนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศและนำมาปรับแต่งใช้ให้เหมาะสมกับสินค้าและบริการของผู้ประกอบการเพื่อการช่วงชิงโอกาสทางการตลาด ผู้เชี่ยวชาญที่ความรู้ในเทคโนโลยีดังกล่าวเพื่อเป็นที่ปรึกษาหรือร่วมวิจัย รวมถึงการจัดให้มีบริการที่มีลักษณะเบ็ดเสร็จซึ่งหมายถึงการมีหน่วยงานกลางที่ทำหน้าที่เชื่อมประสานเครือข่ายเพื่อให้ผู้ใช้บริการได้รับบริการที่ครบถ้วนโดยไม่จำเป็นต้องมีการให้บริการทุกด้านในหน่วยงานเดียว (ต้นทุนการดำเนินงานอาจสูงเกินไป) และเน้นย้ำการที่ภาครัฐจะต้องสร้างกลไกที่ต่างกันสำหรับบริษัทขนาดใหญ่ SME และ startups ในการที่จะได้ใช้เทคโนโลยีนี้ให้เป็นประโยชน์
3) **การใช้กลไกระหว่างประเทศเพื่อเร่งรัดพัฒนาความสามารถทางด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมของประเทศไทย** โดยจำเป็นต้องมีการกำหนดพันธมิตรทางยุทธศาสตร์ทั้งในส่วนของบริษัทเอกชน สถาบันวิจัยในต่างประเทศ รวมถึงการเข้าร่วมเป็นเครือข่ายการวิจัยของโลก เช่น global biofoundry เพื่อเร่งรัดสร้างความสามารถด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมเป้าหมายของประเทศไทยด้วยกระบวนการดูดซับความเชี่ยวชาญ รวมถึงการสร้างระบบนิเวศที่เอื้อให้เกิดกระจายความเชี่ยวชาญจากประเทศไปสู่ภาคส่วนต่าง ๆ ของประชาคมวิจัยของไทยในวงกว้าง



รูปที่ 4-17: เปรียบเทียบแผนที่นำทางที่จัดทำโดย SynBio Consortium และ บวท.

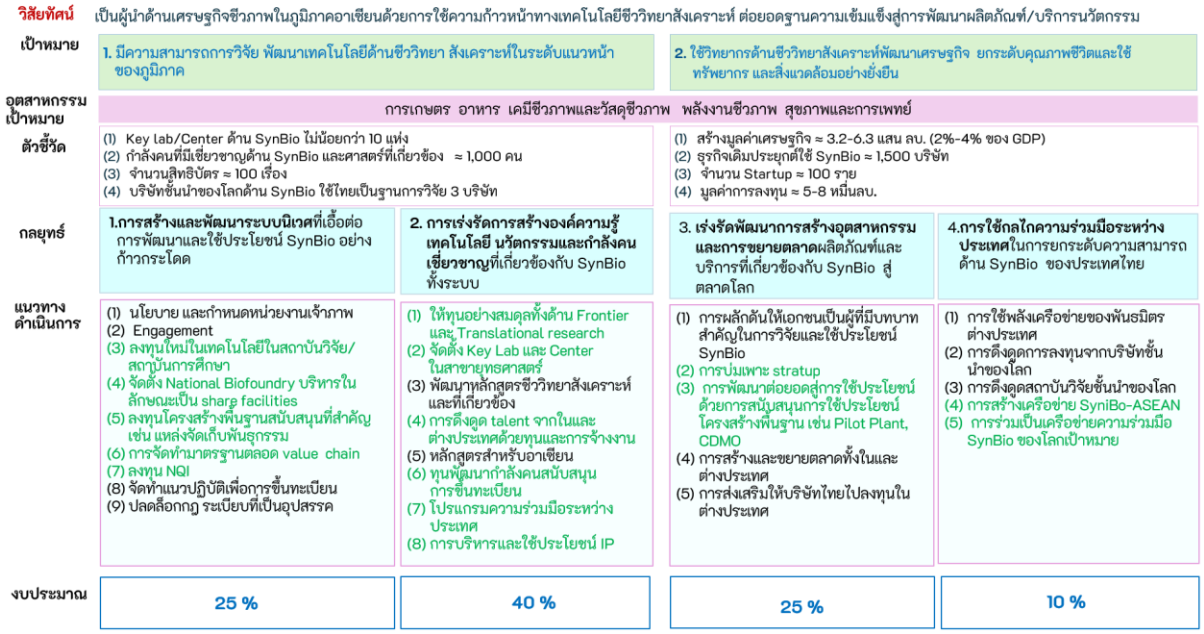
การประสบความสำเร็จตามแผนที่นำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย จำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนด้านทรัพยากรอย่างเพียงพอ โดยมีข้อเสนอแนวทางในการจัดสรรงบประมาณในแต่ละกลยุทธ์ (รูปที่ 4-19) ดังนี้

กลยุทธ์ที่ 1 การสร้างและพัฒนาระบบนิเวศที่เอื้อต่อการพัฒนาและใช้ประโยชน์ SynBio อย่างก้าวกระโดด ในส่วนนี้ควรได้รับงบประมาณสนับสนุนคิดเป็นร้อยละ 25 ของงบประมาณรวม

กลยุทธ์ที่ 2 การเร่งรัดการสร้างองค์ความรู้ เทคโนโลยี นวัตกรรมและกำลังคนเชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับ SynBio ทั้งระบบซึ่งในส่วนนี้เป็นส่วนที่ประเทศไทยยังขาดความพร้อมอยู่มากจึงควรได้รับการสนับสนุนงบประมาณคิดเป็นร้อยละ 20 ของงบประมาณรวม

กลยุทธ์ที่ 3 เร่งรัดพัฒนาการสร้างอุตสาหกรรมและการขยายตลาดผลิตภัณฑ์และบริการที่เกี่ยวข้องกับ SynBio สู่ตลาดโลก ควรได้รับงบประมาณสนับสนุนคิดเป็นร้อยละ 25 ของงบประมาณรวม

กลยุทธ์ที่ 4 การใช้กลไกความร่วมมือระหว่างประเทศในการยกระดับความสามารถด้าน SynBio ของประเทศในส่วนนี้ควรได้รับงบประมาณสนับสนุนคิดเป็นร้อยละ 10 ของงบประมาณรวม



รูปที่ 4-18: สรุปสาระสำคัญของแผนที่นำทางการขับเคลื่อนและใช้ประโยชน์จาก SynBio

หมายเหตุ : แนวทางการด้านตัวอักษรสีเขียวเป็นแนวทางการดำเนินงานที่ต้องได้รับการสนับสนุนงบประมาณในสัดส่วนที่มากกว่าแนวทางที่เป็นอักษรสีดำ

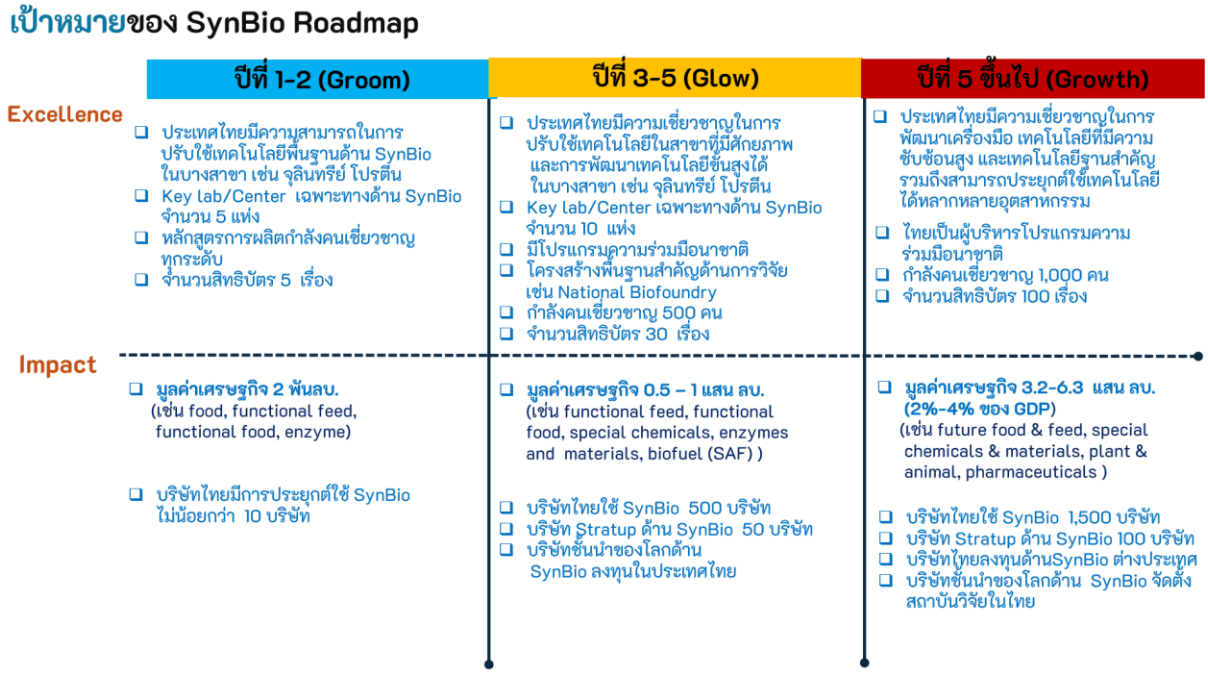
แนวทางการขับเคลื่อนฯ เบื้องต้น เป็นการเสนอแนวทางการขับเคลื่อนทั้งในระดับนโยบายและการขับเคลื่อนในสู่การปฏิบัติ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยงานเจ้าภาพและกิจกรรมที่ควรดำเนินการ ดังแสดงในรูปที่ 4-19

รูปที่ 4-19: แนวทาง (เบื้องต้น) เพื่อการขับเคลื่อนแผนที่นำทางการขับเคลื่อนและใช้ประโยชน์จาก SynBio

ความสำเร็จของแผนที่นำทางฯ ในส่วนของการสร้างความสามารถทางด้านเทคโนโลยีพื้นฐาน การสร้างความสามารถทางด้านการประยุกต์ใช้ การสร้างความสามารถในการผลิตระดับขยายขนาด และการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป้าหมาย ในระยะต่างๆ มีแนวทางการประเมินความสำเร็จ ดังรูปที่ 4-20

รูปที่ 4-20: ตัวอย่างตัวชี้วัดความสำเร็จของการพัฒนาความสามารถที่เกี่ยวข้องกับ SynBio ของประเทศไทย

การดำเนินการตามแผนที่นำทางการและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์จะส่งผลอย่างสำคัญต่อการสร้างความเป็นเลิศทางเทคโนโลยี และนำไปสู่การสร้างผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคม ดังแสดงในรูปที่ 4-21



รูปที่ 4-21: เป้าหมายแผนที่นำทางการพัฒนาและใช้ประโยชน์เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์สำหรับประเทศไทย ระยะ 10 ปี

5. ภาคผนวก

ก. หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่สืบค้นด้วย synthetic biology, metabolic engineering และ systems biology

ลำดับ	หัวข้อเรื่อง	คำค้น
1	การออกแบบและการสร้างเชื้อ *Escherichia coli* ที่ผลิตกลิ่นกุหลาบด้วยวิธีชีววิทยาสังเคราะห์	synthetic biology
2	ชีววิทยาเชิงสังเคราะห์ด้วยไซยาโนแบคทีเรีย: ความสามารถทางพันธุกรรมในการผลิตเพปไทด์ต้านจุลชีพและทรานส์-เรสเวราทรอลใน *Synechocystis* sp. PCC 6803	
3	การเพิ่มปริมาณการสังเคราะห์กรดแกมม่าลิโนเลนิคในสาหร่ายเกลียวทอง *Spirulina platensis* ด้วยวิธี Metabolic Engineering	metabolic engineering
4	การจำลองแบบโครงข่ายเมตาบอลิซึ่มโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	
5	การวิเคราะห์เมตาบอลิกฟลักซ์ของวิถีการสังเคราะห์โพลี (3-ไฮดรอกซีบิวทิเรต-โค-3-ไฮดรอกซีวาเลอเรต) ใน *Ralstonia eutropha* NCIMB 11599	
6	การโคลนและการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการชีวสังเคราะห์ของลิพิดจากสาหร่ายขนาดเล็ก	
7	การโคลนและการแสดงออกของกลุ่มยีนชีวสังเคราะห์สำหรับไมโคสปอรินจากไซยาโนแบคทีเรียทนเค็ม *Aphanothece halophytica*	
8	การเพิ่มการผลิตกรดแอล-อะมิโนอะดิพิกใน *Escherichia coli* โดยวิศวกรรมเมแทบอลิซึมของกระบวนการชีวสังเคราะห์ไลซีนและกรดอะดิพิก	
9	Metabolic engineering of shikimate pathway from *Streptomyces venezuelae* to enhance shikimic acid and chloramphenicol production	
10	วิศวกรรมเมแทบอลิกของ *Synechococcus elongatus* PCC 7942 สำหรับการผลิตไมโคสปอริน-2-ไกลซีน ภายใต้ภาวะเครียดจากเกลือ	
11	การเพิ่มการผลิตแอล-ฟีนิลอะลานีนโดยการก่อกลายพันธุ์ยีน pheA ใน *Escherichia coli*	
12	การสร้างแบบจำลองและทดสอบกระบวนการสังเคราะห์แป้งในพืชหัว	systems biology
13	การศึกษากลไกการควบคุมของยีสต์ลิปิดเมตาบอลิซึมโดยวิธีการทางชีววิทยาระบบ	
14	การจำลองการขนส่งน้ำตาลซูโครสในท่อลำเลียงอาหารของมันสำปะหลัง	
15	การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ทั้งจีโนมในข้อมูลพูลดีเอ็นเอ	
16	การทำนายกลไกการเกิดผื่นจากการแพ้ยานีวิราปีนของผู้ป่วยไทยที่ที่ติดเชื้อเอชไอวีโดยอาศัยวิธีการแบบเครือข่าย	
17	การระบุโปรตีนเป้าหมายใน Herpes simplex virus 1 (HSV-1) โดยวิธีการโมเลกุลาร์ด็อกกิงของสารซัลโฟลิปิด	
18	การปรับปรุงรูปแบบกลุ่มซัลเฟต บนโครงสร้าง แคลเซียม สไปรูแลน ที่มีฤทธิ์ต่อต้านไกลโคโปรตีนชนิด D ของ HSV-1 โดยใช้ genetic algorithm	
19	การหาโปรตีนเป้าหมายของอนุพันธ์ต้านไวรัสเอชไอวีโดยใช้โมเลกุลาร์ด็อกกิง	
20	การประยุกต์ใช้แบบจำลองระดับจีโนมเพื่อพัฒนาแลคโตแบซิลลัสที่มีคุณสมบัติเป็นออกโซโทรพ	

ลำดับ	หัวข้อเรื่อง	คำค้น
21	การสร้างแบบจำลองโครงสร้างสามมิติและการศึกษาความสัมพันธ์ของเอนไซม์ Fatty Acid Elongase ใน Oleaginous Fungi	
22	การทำนายหาอาร์เอนเอไม่แปลรหัสและเป้าหมายของอาร์เอนเอเหล่านั้นในจีโนมของ *Spirulina platensis*	
23	การออกแบบโพรบสำหรับแพนจีโนมไมโครอะเรย์ของแบคทีเรียแลคติกโดยใช้วิธีการศึกษาจีโนมเชิงเปรียบเทียบ	
24	การพัฒนาเครื่องมือบนเว็บสำหรับการแสดงผลและวิเคราะห์เอนโดจีนัสรีโทรไวรัสที่อยู่รอบยีน	
25	การทำนายปฏิสัมพันธ์ระหว่างยาและเป้าหมายของโรคเบาหวานชนิดที่ 2 และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในตำรับสมุนไพรจีนโดยใช้วิธีการพื้นฐาน	
26	A study of niche adaptation in cyanobacteria via comparative genomics	
27	การวิเคราะห์ทางพันธุศาสตร์ประชากรในคนไทย	
28	การศึกษาผลกระทบของการลดจำนวนสนิปบนพื้นฐานผลลัพธ์ของเนเบอร์จอยนิ่งแผนภูมิต้นไม้วงศ์วานวิวัฒนาการ : โดยใช้ข้อมูลสนิปจาก Bovine H	
29	การทำนายปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในสไปรูไลนากับโปรตีนเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 โดยอาศัยวิธีการทำเหมืองจีโนม	
30	อะลูไซน์และไลน์วันโพรไฟล์เลอร์ : ฐานข้อมูลและเครื่องมือสำหรับการแสดงผลและจัดกลุ่ม	
31	การระบุเครื่องหมายทางพันธุกรรมที่สามารถบอกถึงบรรพบุรุษโดยใช้กระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง	
32	การสร้างผังระบบงานทางวิศวกรรมผันกลับรูปแบบใหม่เพื่อการอนุมานโครงข่ายการควบคุมระดับยีน	
33	การศึกษาเครือข่ายการควบคุมการสะสมแป้งในพืชหัวด้วยวิธีชีววิทยาระบบ	
34	การศึกษาความหลากหลายในระดับยีนของไซยาโนแบคทีเรียโดยใช้การวิเคราะห์จีโนมเชิงเปรียบเทียบ	
35	การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการจำลองโครงสร้างสามมิติเชิงพลวัตเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพยาธิสภาพทางโครงสร้างของโปรตีน CYP2C9 p	
36	ฐานข้อมูลสำหรับอาการไม่พึงประสงค์จากยา	
37	การวิเคราะห์หาไมโครอาร์เอ็นเอในบริเวณอินตรอนจากจีโนมของมันสำปะหลังโดยใช้วิธีทางคอมพิวเตอร์	
38	การหาเปปไทด์ด้านไวรัสเอชไอวี (HIV) ชนิดใหม่ แบบที่จับกับโปรตีน gp120 โดยใช้การออกแบบเชิงประมวลผล	
39	การสร้างเครือข่ายควบคุมการทำงานของยีนในระดับทรานคริปชันของยีนที่ทำหน้าที่ในระบบเมตาบอลิซึมของการสร้างแป้งในมันสำปะหลัง	
40	โครงขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์สำหรับนำร่องการวิเคราะห์ลำดับเอ็กโซมในผู้ป่วยมะเร็งปอดชาวไทย	

ลำดับ	หัวข้อเรื่อง	คำค้น
41	การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับแสดงข้อมูลจีโนมโดยใช้โปรแกรม GBrowse และการประยุกต์ใช้ข้อมูล OMICS ในจุลินทรีย์	
42	การตรวจสอบวิถีเมตาบอลิซึมการใช้คาร์บอนของรากมันสำปะหลังด้วยวิธีการเชิงระบบ	
43	การจำแนกกลุ่มของมะเร็งลำไส้ในระดับโมเลกุลโดยใช้ข้อมูลลำดับอาร์เอ็นเอ	
44	การจำแนกอาร์เอ็นเอที่ไม่แปลรหัสในสาหร่ายขนาดเล็ก โดยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง	
45	การพัฒนาระบบสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล Whole-exome sequence เพื่อหาคำตอบที่มีความหมายทางชีววิทยา	
46	ความสัมพันธ์เชิงหน้าที่การทำงานของกลุ่มยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและตำแหน่งการจัดเรียงตัวของยีน	
47	การค้นหาเปปไทด์ออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากถั่งเช่า (*Ophiocordyceps sinensis*) โดยใช้ระบบชีวสารสนเทศแพลตฟอร์ม	
48	การวิเคราะห์ทรานสคลิปโตมทั้งหมดสำหรับค้นหาสาเหตุการเกิดโรคเอทีเอ็มในกุ้งขาวแวนาไม	
49	ชุดโปรแกรมวิเคราะห์หายีนฟิวชั่นจากข้อมูล Exome sequencing และการประยุกต์ใช้ในผู้ป่วยโรคมะเร็งในประเทศไทย	
50	การศึกษาเพื่อค้นหาลำดับเบสจำเพาะในการเกาะจับโดยโปรตีนควบคุมที่จะควบคุมการแสดงออกของยีน	
51	การพัฒนาลำดับขั้นเพื่อตรวจหาความผิดปกติของโครโมโซมในตัวอ่อน โดยอยู่บนพื้นฐานการหาลำดับเบสแบบ ultra-low coverage	
52	การค้นหาประชากรของแบคทีเรียในน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เทคนิค 16S rRNA เมต้าจีโนมิกส์	
53	การศึกษากลไกการควบคุมการแสดงออกของยีนไมโครอาร์เอ็นเอชนิดระหว่างยีนในมันสำปะหลังภายใต้สภาวะความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพและจากสิ่งมีชีวิตโดยวิธีทางชีวสารสนเทศ	
54	Exploring distribution of pathogenic gut microbiota in colorectal cancer subjects using quantitative PCR	
55	การทำนายคุณสมบัติในการแทรกผ่านโดยไม่เป็นพิษต่อเซลล์ด้วยวิทยาการทางคอมพิวเตอร์	
56	การศึกษาหน้าที่ของจีโนมและการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของระบบเอนไซม์ Lignocellulolytic ในรายย่อยไม้ *Xylaria* sp BCC 1067	
57	การสร้างแบบจำลองแบบตั้งเงื่อนไขของกระบวนการใช้คาร์บอนในใบมันสำปะหลัง	
58	การพัฒนาวิธีการทำงานแบบเชื่อมโยงโปรแกรมเพื่อทำนายนีโอแอนติเจนของมะเร็ง	
59	การค้นหาเครื่องหมายชีวภาพของโรคไตอักเสบลูปัสด้วยวิธีการศึกษาแบบชีววิทยาเชิงระบบ	
60	ชีววิทยาเชิงระบบของเซลล์มนุษย์ที่ตอบสนองต่อการติดเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ชนิด บี	
61	การจำแนกลักษณะแบคทีเรียในกลุ่มคนไทยที่เป็นผู้ป่วยโรคเมตาบอลิก โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ลำดับเบส16S rRNA เมต้าจีโนมิกส์	

ลำดับ	หัวข้อเรื่อง	คำค้น
62	การวิเคราะห์ประชาคมจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายกรดโพรพิโอนิกจากตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเกษตรแหล่งต่าง ๆ	
63	การศึกษาความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงในสายพันธุ์มันสำปะหลังที่ต้านทานโรคจากการวิเคราะห์โครงสร้างของเครือข่ายความสัมพันธ์ระหว่างยีน	
64	Computational approaches to predict human protein targets of spirulina compounds for the treatment of Systemic Lupus Erythematosus	
65	การพัฒนาการจำลองค่าฟลักซ์ของคาร์บอนในรากสะสมอาหารของมันสำปะหลังโดยบูรณาการข้อมูลการแสดงออกของยีนร่วมกับแบบจำลองเมแทบอลิซึมในระดับจีโนม	
66	การค้นหายีนใหม่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงในกลุ่มของโพรคารีโอตที่สังเคราะห์แสงด้วยวิธีการศึกษาการจัดเรียงตัวบนจีโนม	
67	การศึกษาระบบ CRISPR-Cas ใน *Arthrospira* spp. โดยวิธีจีโนมเปรียบเทียบและชีวสารสนเทศ	
68	การคัดเลือกเปปไทด์ออกฤทธิ์หลากหลายจาก *Arthrospira platensis* และ Ophiocordyceps sinensis ด้วยวิทยาการเชิงคำนวณ	
69	การสร้างเครือข่ายความสัมพันธ์ของยีนที่ตอบสนองต่อแสง และส่งผลต่อกระบวนการการเปลี่ยนแปลงเชิงสัณฐาน และกระบวนการสังเคราะห์สารทุติยภูมิของถังเช่า	
70	การทำนายความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนควบคุมและบริเวณจับจำเพาะบนจีโนมของพืชด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง	
71	การศึกษาสมดุลพลังงานในกระบวนการใช้คาร์บอนของใบมันสำปะหลังโดยใช้แบบจำลองแบบมีเงื่อนไข	
72	ชีววิทยาเชิงระบบเพื่อพัฒนาวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูกในทางสัตวแพทย์: การศึกษาโปรตีโอมิกส์ของต้นแบบเซลล์กระดูกจากเซลล์ต้นกำเนิดมีเซ็นไคม์จากไขกระดูกและเนื้อเยื่อในโพรงประสาทฟันของสุนัข	
73	การศึกษาคุณลักษณะของกลุ่มจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของคนไทย	
74	การศึกษาความสัมพันธ์เชิงหน้าที่ของยีนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของไซยาโนแบคทีเรียด้วยการวิเคราะห์Gene neighborhood และข้อมูลทรานสคริปโตม	

ข. แบบสอบถามเกี่ยวกับหลักสูตรที่เกี่ยวข้องชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ตามนิยามและคำจำกัดความที่ผู้ทรงคุณวุฒิให้ความเห็น ประกอบด้วย 2 ส่วน

ส่วนที่ 1

หลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาสังเคราะห์ (synthetic biology) ตามร่างคำนิยามของ synthetic biology ที่ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ความเห็นชอบ ความด้านล่างนี้

"Synthetic biology is the innovative discipline of designing and constructing new-to-nature biological components and systems by harnessing engineering principles. Central to this are methodologies like the Design-Build-Test-Learn cycle, programmable bio-circuits, and the development of artificial biological systems. As we shape and redefine the boundaries of biological design, the implications extend from groundbreaking research to societal transformation."

1. หน่วยงานของท่านได้มีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ Synthetic Biology ภายใต้คำจำกัดความข้างต้นหรือไม่
   - ☐ มี (ไปข้อ 2)
   - ☐ ไม่มี (ไปข้อ 3)

2. กรณี มีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ Synthetic Biology ภายใต้คำจำกัดความข้างต้น

   2.1 โปรดระบุชื่อหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ "Synthetic Biology" ตามคำจำกัดความข้างต้น

   .....

   2.2 โปรดยกตัวอย่างรายวิชาสำคัญที่เกี่ยวข้องกับ หลักสูตรข้างต้น

   .....

   2.3 หลักสูตรดังกล่าวมีลักษณะและระดับใด

   - ☐ Degree: ปริญญาตรี
   - ☐ Degree: ปริญญาโท
   - ☐ Degree: ปริญญาเอก
   - ☐ Non-degree: certificated
   - ☐ Non-degree: non-certificated (lifelong learning program)
   - ☐ อื่นๆ .....(โปรดระบุ).....

2.4 ภายใต้หลักสูตรนี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยหรือไม่ ถ้ามีโปรดเลือกตัวอย่างเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับ Synthetic Biology ที่ใช้ในงานวิจัย

- ☐ Designing biological components that don't exist in any organism
- ☐ Engineering of biological components to give them new functions
- ☐ Creation of novel genetic regulatory circuits
- ☐ Transfer of metabolic pathways between organisms
- ☐ Creation of new chromosomes or genomes
- ☐ Creation of artificial cells/compartments
- ☐ Transgenesis using a gene from an unrelated organism
- ☐ Gene drives
- ☐ CRISPR-Cas9-induced or oligonucleotide directed mutagenesis
- ☐ Cisgenesis (i.e. deliberate transfer of genes between sexually compatible organisms)
- ☐ Radiation- or chemical-induced mutagenesis
- ☐ Induced pluripotent stem cells
- ☐ Protoplast fusion
- ☐ Tissue engineering, prosthetics, pacemakers
- ☐ Biosensors using modified organisms or macromolecules
- ☐ Non-biological nanotech applications of nucleic acids (e.g. DNA origami, DNA-based sequence sensors)

2.5 จากระยะเวลา 5 ปี ย้อนหลัง (พ.ศ. 2561 - 2565) หลักสูตรข้างต้นมีผู้สำเร็จการศึกษาแล้วกี่คน
ขอความกรุณาให้ข้อมูลแยกตามระดับผู้สำเร็จการศึกษา กรณีที่หน่วยงานของท่านมีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ "Synthetic Biology" หลายระดับ เช่น ระดับปริญญาโท X คน, ระดับปริญญาเอก XX คน

.....

.....

3. กรณี ยังไม่มีหลักสูตรที่เกี่ยวข้องกับ Synthetic Biology ภายใต้คำจำกัดความข้างต้น

3.1 คณะ/สถาบันของท่านมีแผนจะพัฒนาหรือร่วมกับหน่วยงานอื่น พัฒนาหลักสูตรหรือไม่

☐ อยู่ระหว่างดำเนินการพัฒนา

☐ มีแผนจะพัฒนาและระหว่างเริ่มดำเนินการ

☐ ยังไม่มีแผน

☐ อื่นๆ .....(โปรดระบุ).....

3.2 กรณีที่เริ่มหรืออยู่ระหว่างพัฒนาหลักสูตร ท่านคิดว่ารูปแบบลักษณะของหลักสูตรนี้ ควรเป็นอย่างไร

☐ Degree: ปริญญาตรี

☐ Degree: ปริญญาโท

☐ Degree: ปริญญาเอก

☐ Non-degree: certificated

☐ Non-degree: non-certificated (lifelong learning program)

☐ อื่นๆ .....(โปรดระบุ).....

3.3 กรณีที่เริ่มหรืออยู่ระหว่างพัฒนาหลักสูตร ท่านเห็นว่าเป้าหมายสำคัญที่คาดว่าจะได้จากการดำเนินการภายใต้หลักสูตร (เลือกตาม priority)

☐ บุคลากรที่มีความรู้/ความเชี่ยวชาญตามเป้าหมายหลักสูตร

☐ บุคลากรมีทักษะความรู้ความสามารถตอบสนองต่อตลาดแรงงาน

☐ บทความวิชาการระดับนานาชาติที่เป็นที่ยอมรับในสาขาวิชา

☐ ผลงานวิจัยที่สามารถถ่ายทอดสู่ภาคเอกชน

☐ อื่นๆ .....(โปรดระบุ).....

ส่วนที่ 2

รายละเอียดผู้ให้ข้อมูล สำหรับการเรียนเชิญนัดสัมภาษณ์ focus group

1. ชื่อ-สกุล

.....

2. ภาควิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย

.....

3. อีเมล

.....

4. โทรศัพท์

.....

คณะผู้วิจัยขอบคุณทุกความร่วมมือในการให้ข้อมูล มา ณ โอกาสนี้

ค. รายชื่อผู้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลผ่านการสัมภาษณ์เชิงวิชาการและหลักสูตร

1.	ศ. ดร. พิมพ์ใจ ใจเย็น	อธิการบดี สถาบันวิทยสิริเมธี
2.	ศ. ดร. อลิสา วังใน	ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3.	รศ. ดร. วรรณวิภา วงศ์แสงนาค	ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4.	ผศ. ดร. ภาคภูมิ ทรัพย์สุนทร	ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
5.	ผศ. ดร. นฤพัฒน์ หงส์ดิลกกุล	ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
6.	รศ. ดร. สุภาภรณ์ ชีวะธนรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7.	ผศ.ดร.ดุจเดือน วราโห	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
8.	ผศ.ดร.เสาวลักษณ์ กัลปณุลักษณ์	คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
9.	ผศ. ดร. วรกฤต วรนันทกิจ	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
10.	ดร. บุญฤทธิ์ เมฆศิริพร	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11.	ดร. วีรวัฒน์ รังกุพันธุ์	กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีไบโอรีไฟเนอรีและชีวภัณฑ์ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
12.	รศ. ดร.เขมวิทย์ จันต๊ะมา	สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
13.	รศ. ดร. อุษรา ปัญญา	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
14.	ผศ. ดร. จีรพร เพกเกาะ	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
15.	ดร. สหัสชัย อินวงศ์วาร	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16.	ดร. พชร สัตยวรรธน์	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
17.	ผศ. ดร. ชญาน์ทิพ อินสมพันธ์	สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
18.	รศ. ดร. ลลิดา แชงค์	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
19.	รศ. ดร. พัชณี แสงทอง	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
20.	ผศ. ดร. วรอนงค์ ลี้วัฒนาผาสุก	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
21.	ผศ. ดร. สุภาภรณ์ โสภณพัฒนะโภคา	คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
22.	รศ. ดร. รัชดาภรณ์ เบญจวัฒนานนท์	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์บูรณาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
23.	ผศ. ดร. ญาณิศา ละอองอุทัย	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
24.	ผศ. ดร. สันติ โพธิ์ศรี	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
25.	ผศ. สพ. ญ. ดร. พรหมพร รักษาเสรี	คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
26.	ผศ. ดร. เทวิน เทนคำเนาว์	คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
27.	ผศ. ดร. ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ง. สรุปประชุมการเสวนาโดยผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศ

คณะผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมการเสวนาโดยเชิญผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศที่มีประสบการณ์ในการวิจัยและใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีทางด้าน synthetic biology ทั้งเชิงวิชาการและเชิงพาณิชย์ เพื่อให้ทราบข้อมูลความก้าวหน้าและทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีของต่างประเทศสำหรับเป็นฐานในการวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับความพร้อมทางเทคโนโลยีของประเทศไทย อีกทั้งจะเป็นการนำเสนอมุมมองของความสำเร็จของต่างชาติมาแชร์ประสบการณ์ให้แก่นักวิจัยและภาคเอกชนของไทย โดยเป็นการดำเนินงานร่วมกับทางสถานทูตอังกฤษในงานเปิดตัว “UK Science and Technology Framework” ในงาน UK – Southeast Asia Tech Week 2024 ซึ่งจัดงานที่ประเทศไทยระหว่างวันที่ 4-5 มีนาคม 2567 โดยวิทยากรจากสหราชอาณาจักรประกอบด้วย

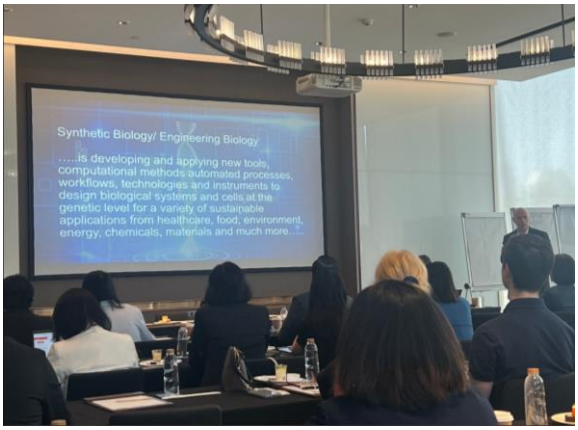
1) **Dr. Isabel Webb**
   Deputy Director for Technology Strategy and Security,
   Department for Science, Innovation and Technology
2) **Ms. Sadia Sapsard**
   Head of Critical Technologies Unit,
   International Technology Department, Foreign, Commonwealth & Development Office (FCDO)
3) **Dr. Michael Adeogun**
   Head of Life Sciences & Health, National Physical Laboratory (NPL)
4) **Dr. Yvonne Armitage**
   Principal Strategic Programme Manager, Centre for Process Innovation (CPI)
5) **Prof. Paul Freemont**
   Professor, Imperial College London
   Co-founder, Imperial College Centre for Synthetic Biology & Innovation, and Co-director of National UK Innovation and Knowledge Centre for Synthetic Biology (SynbiCITE)
6) **Prof. Tuck Seng Wong**
   Professor of Biomanufacturing, University of Sheffield
   Co-founder, Evolutor and RenewFood
7) **Prof. Martin Tangney**
   Director of Biofuel Research Centre, Edinburgh Napier University
   Founder, Celtic Renewables, UK

วิทยากรที่เข้าร่วมเป็นผู้รับผิดชอบในหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนา Synthetic Biology (Engineering Biology) ได้แก่ หน่วยงานพัฒนานโยบายที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หน่วยงานสนับสนุนให้เกิดความร่วมมือที่เกี่ยวข้องด้านเทคโนโลยีในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หน่วยงานศึกษาและจัดทำมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ Synthetic Biology (Engineering Biology) หน่วยงานศึกษาและพัฒนาการ scaling up จากงานวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพ หน่วยงานวิจัยและสถาบันการศึกษาที่เป็นผู้ผลิตองค์ความรู้และการพัฒนาการใช้

ประโยชน์เชิงพาณิชย์โดย model ที่สหราชอาณาจักรให้ความสำคัญคือการ spin-off เป็น startup และพัฒนาเป็นบริษัทที่สามารถมีรายได้เลี้ยงตัวเองได้ต่อไป

จากการเสวนาดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าบทเรียนจากการพัฒนาชีววิทยาสังเคราะห์ในสหราชอาณาจักรจนกระทั่งสามารถสร้างให้เกิดการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้นั้น เริ่มจากการผลักดันจากภาครัฐโดยมีการพัฒนานโยบาย และ implementation อย่างจริงจังผ่านการสนับสนุนทางด้านบุคลากร โครงสร้างพื้นฐาน องค์ความรู้ ecosystem และงบประมาณอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 10 ปี ซึ่งรัฐบาลดำเนินงานผลักดันให้เกิดการสร้างเครื่องมือ และโครงสร้างพื้นฐานก่อนในช่วงแรกภายใต้ “Synthetic biology: public dialogue”[54] ในปี ค.ศ. 2010 แล้วจึงพัฒนาเป็น Engineering Biology ที่มีเป้าหมายในเชิงการประยุกต์ใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามความสำเร็จและความสามารถในการตั้งเป้าหมายการสร้างผลกระทบเชิงเศรษฐกิจได้นั้นเกิดจากการพัฒนาร่วมกันจากหลาย ๆ ด้าน เช่น การพัฒนางานวิจัยทางด้านวิธีวัดและการกำหนดมาตรฐานทางชีววิทยาโดย National Physical Laboratory (NPL) และการรับไม้ต่อจากการพัฒนาให้สามารถขยายขนาดการผลิตโดย Centre for Process Innovation (CPI) ซึ่งไม่ผูกมัดการดำเนินงานเพียง step การพัฒนาใด step หนึ่ง แต่จะเข้าไปร่วมในการพัฒนาการขยายขนาดร่วมกับห้องปฏิบัติการซึ่งขึ้นกับบริบทของงานวิจัยนั้น ๆ อีกทั้งระบบสนับสนุนการพัฒนา startup ในหน่วยงานวิจัยและสถาบันการศึกษาให้สามารถ “ล้มเร็วและลุกขึ้นเร็ว” ประกอบการพัฒนาให้เกิด Entrepreneurial Mindset เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนเชิงธุรกิจได้ดียิ่งขึ้น

ทั้งนี้ ความสำเร็จการพัฒนาด้านชีววิทยาสังเคราะห์ของสหราชอาณาจักร คือการเชื่อมต่อหน่วยงานและภาคส่วนต่าง ๆ ให้ทำงานร่วมกันและสามารถเห็นเป้าหมายเดียวกันซึ่งนำไปสู่กระบวนการ monitoring และ feedback อันจะเกิดการแก้ปัญหาอย่างทันทีและเกิดการพัฒนานโยบายอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน



[54] Synthetic biology: public dialogue, https://www.ukri.org/publications/synthetic-biology-public-dialogue/