รหัสโครงการ.....

ข้อเสนอโครงงาน (Research Proposal)
การประกวดโครงงานของนักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์ ครั้งที่ XX (YSC 20XX)

ชื่อโครงงาน (ไทย) .....
(อังกฤษ) .....
โครงงานสาขา.....**สาขาย่อย**.....
ผู้พัฒนา 1. .....ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ .....
2. .....ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ .....
3. .....ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ .....
สถาบันการศึกษา.....
อาจารย์ที่ปรึกษา
1. .....โรงเรียน/สถาบัน .....
2. .....โรงเรียน/สถาบัน .....

บทสรุป (Synopsis)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นเทคโนโลยีหลักของการขยายพันธุ์พืชเชิงพาณิชย์ แต่การตัดสินใจว่าเมื่อใดจึงควรย้ายต้นออกอนุบาล (acclimatization) ยังคงอาศัยการตรวจด้วยสายตาของนักวิทยาศาสตร์เป็นรายขวด ซึ่งเป็นคอขวดด้านแรงงานและเวลา และมีความแปรปรวนระหว่างผู้ประเมิน งานนี้เสนอระบบคัดกรองความพร้อมอนุบาลของต้นกล้าเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อผ่านขวดแก้วแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive) ด้วยการแบ่งส่วนภาพ (segmentation) แบบ zero-shot จากโมเดล Segment Anything Model 3 (SAM3) — ปัญหาคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่ท้าทายจากแสงสะท้อน (glare) ไอน้ำ และความโค้งของแก้ว — ร่วมกับการออกแบบพรอมป์ข้อความ 5 คำ (plant, leaf, shoot, stem, root) การตรวจจับขอบเขตขวด (bottle ROI) และขั้นตอนวิธีตัดสินใจแบบกฎที่จัดกลุ่มขวดเป็น ยังไม่พร้อม / พร้อมอนุบาล / ตรวจเอง ระบบนี้ต่อยอดสู่การติดตามการเจริญตามเวลา (time-series monitoring) และสร้างชุดข้อมูลภาพเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อผ่านขวดแก้วชุดแรก โดยประเมินเทียบกับวิธีพื้นฐาน (SAM2, YOLO-seg, การแบ่งส่วนเชิงคลาสสิก) ด้วย mIoU, Dice และ F1 — ต้นทุนต่ำ ใช้เพียงสมาร์ตโฟน

คำสำคัญ (Keywords): การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ; ความพร้อมอนุบาล (acclimatization); SAM3; zero-shot segmentation; non-destructive phenotyping; computer vision

1. หลักการและเหตุผล (Rationale)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (plant tissue culture / micropropagation)
เป็นเทคโนโลยีการขยายพันธุ์พืชที่ใช้ชิ้นส่วนขนาดเล็กเพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อบนอาหารสังเคราะห์ และถูกใช้ในเชิงพาณิชย์ครอบคลุมพืชเกษตร อาหาร เภสัชกรรม และเครื่องสำอางทั่วโลก (Hasnain et al., 2022; Chandran et al., 2020) แม้เทคโนโลยีจะพัฒนาไปมาก
แต่กระบวนการที่ยังพึ่งพาแรงงานคนสูงคือการตัดสินใจว่าเมื่อใดจึงควรย้ายต้นกล้าออกจากขวดไปยังสภาพอนุบาล (acclimatization/hardening) ซึ่งต้องพิจารณารายขวดทุก 3–8 สัปดาห์ ขึ้นกับชนิดพืช (Pastelín Solano et al., 2019; Regni et al., 2025)

การตัดสินใจที่ผิดพลาด — ย้ายเร็วเกินไป (ต้นยังไม่สมบูรณ์ ระบบรากไม่ดี) หรือช้าเกินไป (แออัด เสี่ยง hyperhydricity) — อาจทำให้เนื้อเยื่อตาย (necrosis) และลดประสิทธิภาพการขยายพันธุ์ (Abdalla et al., 2022)
งานวิจัยก่อนหน้านำ computer vision มาใช้วัดพืชในขวดแบบไม่ทำลาย เช่น ระบบ Phenomenon (multi-sensor + random forest) วัด projected area และ canopy height (Bethge et al., 2023) และ Regni et al. (2025) ใช้ภาพ 3D จากสมาร์ตโฟนวัด canopy และ shoot density แต่ระบบดังกล่าวเป็น hardware เฉพาะราคาสูง หรือยังไม่ใช้ foundation model ที่ทำงาน zero-shot ข้ามชนิดพืช

ช่องว่างองค์ความรู้: ยังไม่มีระบบ low-cost ที่ติดตามการเจริญของต้นกล้าในขวดตามเวลา (time-series) แบบ end-to-end ตั้งแต่ถ่ายภาพ ⟶ แบ่งส่วน ⟶ เก็บ feature ⟶ วิเคราะห์อัตราการเจริญ ⟶
แจ้งเตือนความพร้อมอนุบาล และยังไม่มีงาน zero-shot foundation model ที่ถูกประเมินเทียบกับวิธีพื้นฐาน (baseline) ด้วยชุดข้อมูลภาพผ่านขวดแก้วโดยตรง
รวมทั้งยังไม่มีชุดข้อมูลเปิดของภาพเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อผ่านขวดแก้วสำหรับการวิจัยต่อ จึงเป็นที่มาของโครงงานนี้

โครงงานนี้ต่อยอดจากการทดลองนำร่องที่พิสูจน์ว่าโมเดล SAM3 แบบ zero-shot (Segment Anything Model 3) สามารถแบ่งส่วนต้นพืชภายในขวดแก้วได้แม้มีแสงสะท้อน ไอน้ำ และความโค้งของแก้ว
ด้วยการใช้พรอมป์ข้อความ (text prompt) และปรับใช้ข้ามชนิดพืชได้โดยไม่ต้องฝึกโมเดลใหม่

ทั้งนี้ หากเป็นโครงการต่อเนื่อง: โครงงานนี้ต่อยอดจากงานรุ่นก่อนหน้า (VitroVision v1) อย่างชัดเจน โดยเปลี่ยนจากงานเฉพาะพืชไปเป็นระบบ zero-shot ข้ามชนิด + การติดตามตามเวลา และมีองค์ความรู้/ผลการวิจัยใหม่ในปีปัจจุบัน

1 — acclimatization (การอนุบาล/การปรับสภาพ): การย้ายต้นกล้าออกจากสภาพปลอดเชื้อสู่สภาพแวดล้อมจริง
2 — zero-shot segmentation: การแบ่งส่วนภาพโดยไม่ต้องฝึกโมเดลกับข้อมูลป้ายกำกับของงานนั้น
3 — SAM3 (Segment Anything Model 3): โมเดล foundation สำหรับการแบ่งส่วนภาพตามพรอมป์
4 — coverage_ratio: สัดส่วนพื้นที่ต้น/ใบ ต่อพื้นที่ขวด (ROI)
5 — root_ratio: สัดส่วนระบบราก — ตัวชี้วัดอันดับ 1 ของความพร้อมอนุบาล

2. วัตถุประสงค์ (Objective/s) / เป้าหมายทางวิศวกรรม (Engineering Goal/s)

1. สร้างชุดข้อมูลภาพถ่ายจริงของพืชเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อผ่านขวดแก้ว ($\geq$ 100 ขวด พร้อม metadata และการกำกับภาพโดยมนุษย์บางส่วน) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลใหม่ที่ยังไม่มีในงานวิจัยก่อนหน้า

2. พัฒนาระบบติดตามการเจริญตามเวลา (time-series monitoring) ถ่ายภาพขวดซ้ำรายรอบ ⟶ แบ่งส่วนด้วย SAM3 ⟶ เก็บ feature ⟶ วิเคราะห์ growth curve ⟶ แจ้งเตือนเมื่อต้นพร้อมอนุบาล

3. ประเมินเปรียบเทียบกับวิธีพื้นฐาน (SAM2, YOLO-seg, การแบ่งส่วนเชิงคลาสสิก) ด้วย mIoU, Dice, precision, recall, F1 พร้อมวิเคราะห์ความไวของพรอมป์และเกณฑ์

4. ตรวจสอบความถูกต้องของระบบกับค่าอ้างอิงจากผู้ประเมิน (ground truth) และปรับปรุงการตรวจจับขวด ROI ที่เป็นข้อจำกัดของผลนำร่อง

3. สมมติฐาน (Hypothesis/es)

H1 (เชิงเทคนิค — segmentation): SAM3 ที่ใช้ text prompts 5 คำ (plant, leaf, shoot, stem, root) สามารถแบ่งส่วนต้นพืชเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อผ่านขวดแก้วที่มี glare, condensation และ reflection ได้ โดยมี mIoU เฉลี่ย $\geq$ 0.65 เทียบกับ ground truth ที่ annotate โดยมนุษย์ และสูงกว่า baseline (SAM2, YOLO-seg, การแบ่งส่วนเชิงคลาสสิก) อย่างมีนัยสำคัญ

H2 (เชิงการประยุกต์ — การจัดกลุ่ม): ชุด feature 6 กลุ่มที่คำนวณจาก SAM3 mask ผนวกกับ metadata (days_since_last_subculture) โดยเฉพาะสัดส่วนระบบราก (root_ratio) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดอันดับ 1 ของความพร้อมอนุบาล สามารถจำแนกขวดออกเป็นกลุ่ม ยังไม่พร้อม / พร้อมอนุบาล / ตรวจเอง ได้ถูกต้อง $\geq$ 70% เทียบกับการประเมินโดยนักวิทยาศาสตร์ห้องปฏิบัติการ โดยมี minimum sensitivity $\geq$ 0.6 สำหรับกลุ่มพร้อมอนุบาล

4. ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับ (Benefits and Expected Results)

1. เพิ่มประสิทธิภาพห้องปฏิบัติการ: ระบบช่วยคัดกรองขวดที่พร้อมอนุบาลก่อน แล้วให้นักวิทยาศาสตร์ตรวจเฉพาะขวดที่ confidence ต่ำ

2. ติดตามแบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive) ไม่ต้องเปิดขวดหรือสัมผัสพืช ลดความเสี่ยงการปนเปื้อน

3. เครื่องมือช่วยตัดสินใจ (decision-support) ที่ทำงานข้ามชนิดพืช โดยไม่ต้อง retrain โมเดลต่อชนิด

4. จัดลำดับความสำคัญงานในห้องปฏิบัติการ ลดการสูญเสียจาก overcrowding และ hyperhydricity

5. ต้นทุนต่ำ ใช้เพียงสมาร์ตโฟน Android + Google Colab + โมเดล open-source และสร้างชุดข้อมูลเปิด (open dataset) ตามหลัก FAIR

5. วัสดุอุปกรณ์และสถานที่ดำเนินงาน (Materials and Workplace/s)

รายการวัสดุอุปกรณ์ (List of Materials):

• สมาร์ตโฟน Android (กล้อง 12–50 MP, ใช้ถ่ายภาพ) • ขาตั้งกล้อง + พื้นหลังสีขาว/ดำด้าน (matte) • ตัวอย่างพืชเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในขวดแก้ว ($\geq$ 100 ขวด พริกจินดา) • บัญชี Google Colab (GPU) • บัญชี Hugging Face + Roboflow ที่มีสิทธิ์เข้าถึงโมเดล SAM3 PCS • ซอฟต์แวร์: Python, OpenCV, ultralytics (YOLO-seg), pandas, matplotlib

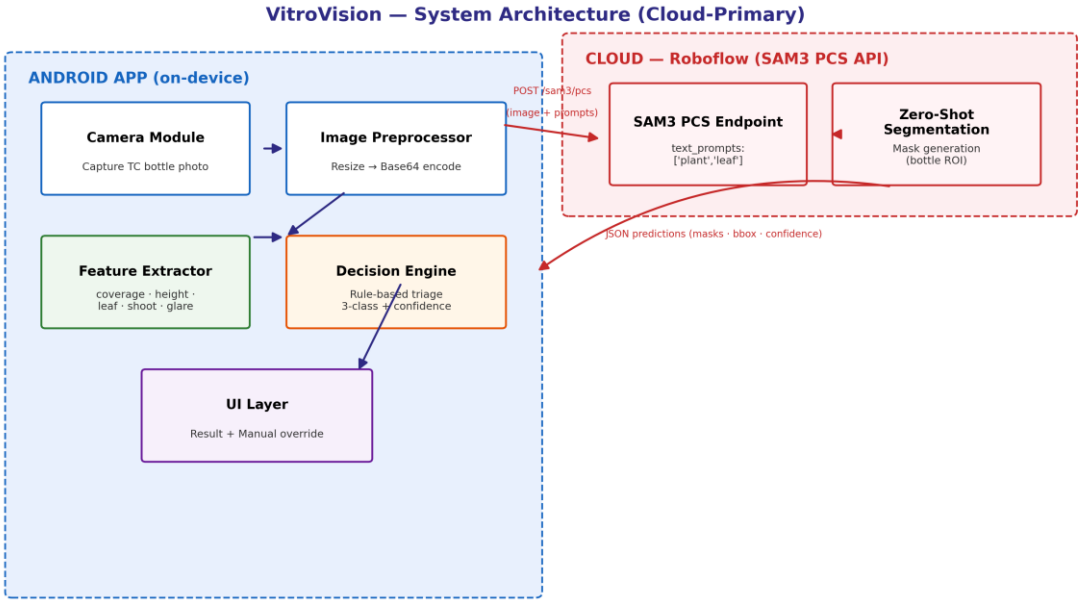
รายชื่อสถานที่ดำเนินงาน (List of Workplace/s):

• ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย บุรีรัมย์ (PCSHSBR) • Google Colab (cloud GPU) — ดำเนินการประมวลผลภาพด้วยโมเดล SAM3

หมายเหตุ: งานนี้เป็นการศึกษาพืช ไม่มีการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง จึงไม่เข้าข่ายแบบฟอร์ม 4 (Human Participants), 5 (Animal Research) และ 2B (Qualified Scientist)

6. ระเบียบวิธีการทดลอง (Methodology)

การเก็บข้อมูล (Data Collection): ถ่ายภาพขวดเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบนพื้นหลัง matte ด้วยสมาร์ตโฟนระยะคงที่ 20–30 ซม. จัดแสงด้านข้าง 45° หลีกเลี่ยงแสงหน้าเพื่อลด glare ถ่ายซ้ำ 2–3 ครั้งต่อขวด พร้อมบันทึก metadata (วันที่ถ่าย, days_since_last_subculture, ชนิดพืช, การประเมินground truth โดยนักวิทยาศาสตร์)



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมระบบ (cloud-primary: Android app ⟶ Roboflow SAM3 PCS API ⟶ on-device feature extraction + decision)

ขั้นตอนการประมวลผลภาพ: (1) รวบรวมภาพ ⟶ (2) ตรวจจับขอบเขตขวด (bottle ROI) ⟶ (3) รัน SAM3 PCS (facebook/sam3) บน GPU แบบ headless batch ด้วยพรอมป์ ['plant','leaf','shoot','stem','root'], score/mask threshold ≥ 0.5 ⟶ (4) รับ binary mask ต่อพรอมป์พร้อม confidence และ bbox ⟶ (5) นับใบแบบ merged กัน over-segmentation และ fallback นับจาก plant+shoot

การคำนวณ feature 6 กลุ่ม: โครงสร้าง (coverage_ratio, height_proxy, hull_ratio, total_area_px), อวัยวะ (shoot_count, stem_count, root_count, leaf_count), ความซับซ้อน (leaf_merged, leaf_density), สี (green_pct, yellow_ratio, brown_ratio, dark_green_ratio, healthy_color), คุณภาพภาพ (glare_score, condensation_score), และ verdict (readiness_index, confidence)

ขั้นตอนวิธีตัดสินใจ (Decision Algorithm): ใช้ rule-based algorithm ที่อธิบายได้ (interpretable) จัดกลุ่ม 3 คลาส (ยังไม่พร้อม / พร้อมอนุบาล / ตรวจเอง) ด้วยเกณฑ์ coverage_ratio, days_since_last_subculture และ shoot_growth โดยคำนวณ confidence = base × (1 − glare_penalty) และรองรับ manual override เสมอ — หมายเหตุ: เกณฑ์ความพร้อมอนุบาลต้อง calibrate กับข้อมูลจริงและผู้เชี่ยวชาญ ไม่ใช้ coverage สูงเพียงอย่างเดียว (เสี่ยง hyperhydricity)

หมายเหตุ: โมเดล SAM3 เป็น gated model ต้องยืนยันสิทธิ์ผ่าน Hugging Face และใช้ GPU (Colab T4) จึงรันการประมวลผลบนคลาวด์

7. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

การประเมิน segmentation (เทียบ baseline): คำนวณ mIoU, Dice, precision, recall, F1 ที่ระดับพิกเซล เทียบ mask ของ SAM3 กับ ground truth และเทียบกับ SAM2, YOLO-seg, การแบ่งส่วนเชิงคลาสสิก บนชุดภาพเดียวกัน พร้อมบันทึกเวลาประมวลผลต่อภาพ

การประเมินการจัดกลุ่ม: ใช้ confusion matrix, accuracy (เป้าหมาย $\geq$ 70%), precision/recall ต่อกลุ่ม (minimum sensitivity $\geq$ 0.6 สำหรับกลุ่มพร้อมอนุบาล) และ F1

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์: scatter/box plot ของแต่ละ feature จำแนกตามกลุ่ม + correlation matrix เพื่อตรวจ multicollinearity และหาอำนาจจำแนกของ feature; การปรับเทียบ threshold ด้วย validation set (coverage 0.25–0.85 step 0.05, days 14–70 step 7) เลือกชุดที่ให้ MCC สูงสุด

คอลัมน์ 1	**คอลัมน์ 2**	**คอลัมน์ 3**
แถว 1		
แถว 2		
แถว 3		
แถว 4		

หมายเหตุ:

8. ความเสี่ยงและความปลอดภัย (Risk and Safety)

ความเสี่ยงด้านเทคนิค: การตรวจจับขวด (ROI) ไม่ชัดในบางภาพ (≈36% ในผลนำร่อง) และแสงสะท้อน/ไอน้ำรบกวนการแบ่งส่วน — แก้โดยการจัดฉากถ่ายมาตรฐาน, กัน ROI ไม่ชัดไม่ให้ verdict ผิด, และใช้ fallback การนับใบ

ความเสี่ยงด้านความถูกต้อง: เกณฑ์ความพร้อมอนุบาลยังต้องยืนยันกับผู้เชี่ยวชาญ (ระบบรากเป็นตัวชี้วัดหลัก) และต้อง calibrate ต่อชนิดพืช — ใช้ validation กับ ground truth และ iterative threshold tuning

ความปลอดภัยด้านเคมี/ชีวภาพ: อาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและสารเคมี (สารควบคุมการเจริญเติบโต/Hormone) จัดการตามหลักปฏิบัติของห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานความปลอดภัย (risk assessment) และเก็บข้อมูลภาพแบบไม่สัมผัสตัวอย่าง (non-invasive) ลดความเสี่ยงการปนเปื้อน

หมายเหตุ: ในโครงการนี้ เนื่องจากเป็นการศึกษาพืชในสภาพเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแบบไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่มีการดำเนินการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง จึงไม่เข้าข่ายข้อกำหนดด้านจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์/สัตว์

เครื่องมือที่ใช้และการเปิดเผยการใช้ Generative AI (Tools Used & Generative AI Disclosure)

ผู้พัฒนาโครงงานใช้เครื่องมือ Generative AI ในหลายขั้นตอนของกระบวนการพัฒนาและเขียนข้อเสนอโครงงาน โดยมีการเปิดเผยรายละเอียดดังนี้ เพื่อความโปร่งใสและสอดคล้องกับแนวปฏิบัติของเวทีการประกวด

ขอบเขตการใช้งาน: (1) การสังเคราะห์วรรณกรรมและตรวจสอบการอ้างอิง — ใช้ Claude, Consensus AI และ PubMed MCP ในการค้นหา/ยืนยันบทความ; (2) การเขียนข้อเสนอ — ใช้ Claude ในการเรียบเรียง/จัดโครงสร้าง; (3) การสร้างโค้ด — ใช้ Claude ในการช่วยเขียนโค้ดต้นแบบ; (4) การสร้างไดอะแกรม/ตาราง

หมายเหตุ: เนื้อหาทั้งหมดได้รับการตรวจทานและปรับแก้โดยผู้พัฒนาโครงงาน
และผู้พัฒนาเป็นผู้รับผิดชอบต่อเนื้อหาในข้อเสนอทั้งหมด แม้ส่วนที่เขียนโดยใช้เครื่องมือ Gen-AI ก็ตาม

เครื่องมือ	**เวอร์ชัน / บทบาท**	**การใช้งาน**
Claude (Anthropic)	Claude Opus 4.8	AI assistant — เขียน/เรียบเรียงข้อเสนอ, ช่วยเขียนโค้ด
Roboflow	SAM3 PCS API	zero-shot segmentation (text prompts)
Google Colab	T4 GPU	รัน pipeline/batch processing
Hugging Face	SAM3 model (gated)	เข้าถึงโมเดล facebook/sam3

9. แผนการดำเนินงาน (Research Plan)

กิจกรรม	ส.ค. 6X	ก.ย. 6X	ต.ค. 6X	พ.ย. 6X	ธ.ค. 6X	ม.ค. 6X	ก.พ. 6X	มี.ค. 6X	**ผู้รับผิดชอบ**
ค้นหาปัญหาที่สนใจ		X							
จัดทำข้อเสนอโครงการ	X	X							
...									

10. การจัดการและการกำจัด (Disposal)

11. การเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับ Generative AI และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่ช่วยในกระบวนการเขียน (Disclosure of Generative AI and AI-Assisted Technologies in the Writing Process)

12. บรรณานุกรม (Bibliography)

Abdalla, N., El-Ramady, H., Seliem, M. K., El-Mahrouk, M. E., Taha, N., Bayoumi, Y., Shalaby, T. A., & Dobránszki, J. (2022). An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae, 8*(8), 677. https://doi.org/10.3390/horticulturae8080677

Amanlou, A., Suratgar, A. A., Tavoosi, J., Mohammadzadeh, A., & Mosavi, A. (2022). Single-image reflection removal using deep learning: A systematic review. *IEEE Access, 10*, 29937–29953. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3156273

Barua, K. N., Singha, B. L., Bordoloi, S., & Bora, B. (2022). In vitro seed propagation and mass multiplication of some magnificent orchids of Northeast India. *Journal of Medicinal Plants Studies, 10*(2c), 208–213. https://doi.org/10.22271/plants.2022.v10.i2c.1411

Bethge, H., Winkelmann, T., Lüdeke, P., & Rath, T. (2023). Low-cost and automated phenotyping system "Phenomenon" for multi-sensor in situ monitoring in plant in vitro culture. *Plant Methods, 19*, 42. https://doi.org/10.1186/s13007-023-01018-w

Carion, N., Gustafson, L., Hu, Y.-T., Debnath, S., Hu, R., Suris, D., Ryali, C., Alwala, K. V., Khedr, H., Huang, A., Lei, J., Ma, T., Guo, B., Kalla, A., Marks, M., Greer, J., Wang, M., Sun, P., Rädle, R., … Feichtenhofer, C. (2025). SAM 3: Segment anything with concepts. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/2511.16719

Chandran, H., Meena, M., Barupal, T., & Sharma, K. (2020). Plant tissue culture as a perpetual source for production of industrially important bioactive compounds. *Biotechnology Reports, 26*, e00450. https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00450

Gatkal, N., Dhar, T., Prasad, A., Prajwal, R., Santosh, Jyoti, B., Roul, A. K., Potdar, R., Mahore, A., Parmar, B. S., & Vala, V. (2024). Development of a user-friendly automatic ground-based imaging platform for precise estimation of plant phenotypes in field crops. *Journal of Field Robotics, 41*(7), 2355–2372. https://doi.org/10.1002/rob.22254

Hasnain, A., Naqvi, S. A. H., Ayesha, S. I., Khalid, F., Ellahi, M., Iqbal, S., Hassan, M. Z., Abbas, A., Adamski, R., Markowska, D., Baazeem, A., Mustafa, G., Moustafa, M., Hasan, M. E., & Abdelhamid, M. M. A. (2022). Plants in vitro propagation with its applications in food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches. *Frontiers in Plant Science, 13*, 1009395. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1009395

Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., Xiao, T., Whitehead, S., Berg, A. C., Lo, W.-Y., Dollár, P., & Girshick, R. (2023). Segment anything. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) 2023*. https://arxiv.org/abs/2304.02643

Muhammad, A., Hussain, I., Saqlan Naqvi, S. M., & Rashid, H. (2004). Banana plantlet production through tissue culture. *Pakistan Journal of Botany, 36*, 617–620. https://www.musalit.org/seeMore.php?id=9468

Murphy, R., & Adelberg, J. (2021). Physical factors increased quantity and quality of micropropagated shoots of *Cannabis sativa* L. in a repeated harvest system with ex vitro rooting. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant, 57*(6), 923–931. https://doi.org/10.1007/s11627-021-10166-4

Nongdam, P., Beleski, D. G., Tikendra, L., Dey, A., Varte, V., El Merzougui, S., Pereira, V. M., Barros, P. R., & Vendrame, W. A. (2023). Orchid micropropagation using conventional semi-solid and temporary immersion systems: A review. *Plants, 12*(5), 1136. https://doi.org/10.3390/plants12051136

Pastelín Solano, M. C., Salinas Ruíz, J., González Arnao, M. T., Castañeda Castro, O., Galindo Tovar, M. E., & Bello Bello, J. J. (2019). Evaluation of in vitro shoot multiplication and ISSR marker based assessment of somaclonal variants at different subcultures of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks). *Physiology and Molecular Biology of Plants, 25*(2), 561–567. https://doi.org/10.1007/s12298-019-00645-9

Ravi, N., Gabeur, V., Hu, Y.-T., Hu, R., Ryali, C., Ma, T., Khedr, H., Rädle, R., Rolland, C., Gustafson, L., Mintun, E., Pan, J., Alwala, K. V., Carion, N., Wu, C.-Y., Girshick, R., Dollár, P., & Feichtenhofer, C. (2024). SAM 2: Segment anything in images and videos. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/2408.00714

Regni, L., Calisti, S., Cesarini, A., Marconi, L., Proietti, P., Zollini, S., & Brigante, R. (2025). Micropropagation of blackberry and blueberry: Assessing the effects of subculture duration and explant density through the integration of traditional measurements and smartphone 3D imaging. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 163*, 63. https://doi.org/10.1007/s11240-025-03267-0

Suarez, E., Blaser, M., & Sutton, M. (2025). Automating leaf area measurement in citrus: The development and validation of a Python-based tool. *Applied Sciences, 15*(17), 9750. https://doi.org/10.3390/app15179750

Thammasiri, K. (2015). Current status of orchid production in Thailand. *Acta Horticulturae, 1078*, 25–33. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1078.2

ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สวทช. (2563, 12 มิถุนายน). *ไบโอเทค สวทช. พัฒนาระบบเพาะเลี้ยงพืชในอาหารเหลว เพิ่มกำลังการขยายพันธุ์ต้นกล้า*. https://www.nstda.or.th/home/news_post/biotec-bioreactor/

ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สวทช. (2565, 3 พฤษภาคม). *ความสำเร็จในการขยายผลการผลิตต้นกล้าอินทผลัมในเชิงพาณิชย์ ด้วยเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสู่เกษตรกรไทย*. https://www.biotec.or.th/home/tissueculture-dates/

Orvati Nia, F., Peeples, J., Murray, S. C., McFarland, A., Vann, T., Salehi, S., Hardin, R., Baltensperger, D. D., Ibrahim, A. M. H., Thomasson, J. A., Fadamiro, H., Subramanian, N. K., Pillai, S. D., Roston, R., Ishimwe, J., Basak, D., Oladepo, N., & Vysyaraju, U. (2026). *A data-driven image extraction and analysis pipeline for plant phenotyping in controlled environments* (preprint). bioRxiv. https://doi.org/10.64898/2026.02.25.707797

Abbey, A., & Meroz, Y. (2026). *Segment any plant (SAP): Foundation-model segmentation for plant time-series phenotyping* (preprint). bioRxiv. https://doi.org/10.64898/2026.03.11.711099

Dubois, R., Bousset, L., Jumel, S., Leclerc, M., Parisey, N., & Joly, A. (2026). *Text guidance is powerful but prompt-sensitive for weakly-supervised leaf symptom segmentation* (preprint). bioRxiv. https://doi.org/10.64898/2026.07.10.737680

ประวัติของผู้พัฒนา

ผู้พัฒนาคนที่ 1

ชื่อภาษาไทย .....

ชื่อภาษาอังกฤษ .....

ระดับชั้น .....สถาบัน/โรงเรียน.....

ประวัติการศึกษา

2560–2562 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียน.....จังหวัด.....

2554–2559 ประถมศึกษา โรงเรียน.....จังหวัด.....

รางวัลและผลงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2562

ปีการศึกษา 2561

ชื่อภาษาไทย .....

ชื่อภาษาอังกฤษ .....

ระดับชั้น .....สถาบัน/โรงเรียน.....

ประวัติการศึกษา

2560–2562 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียน.....จังหวัด.....

2554–2559 ประถมศึกษา โรงเรียน.....จังหวัด.....

รางวัลและผลงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2562

ปีการศึกษา 2561

ผู้พัฒนาคนที่ 3

ชื่อภาษาไทย .....

ชื่อภาษาอังกฤษ .....

ระดับชั้น .....สถาบัน/โรงเรียน.....

ประวัติการศึกษา

2560–2562 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียน.....จังหวัด.....

2554–2559 ประถมศึกษา โรงเรียน.....จังหวัด.....

รางวัลและผลงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2562

ปีการศึกษา 2561

ประวัติอาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาคนที่ 1 (อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก)

ชื่อภาษาไทย .....

ชื่อภาษาอังกฤษ .....

ตำแหน่ง.....สังกัด.....

สถาบัน/โรงเรียน.....

สถานที่ทำงาน.....

ประวัติการศึกษา

2555–2561 (ใส่วุฒิการศึกษาที่ได้รับ).....

สถาบันการศึกษา .....จังหวัด.....

2551–2554 (ใส่วุฒิการศึกษาที่ได้รับ).....

สถาบันการศึกษา .....จังหวัด.....

ความเชี่ยวชาญ

อาจารย์ที่ปรึกษาคนที่ 2 (อาจารย์ที่ปรึกษาพิเศษ)

ชื่อภาษาไทย .....

ชื่อภาษาอังกฤษ .....

ตำแหน่ง.....สังกัด.....

สถาบัน/โรงเรียน.....

สถานที่ทำงาน.....

ประวัติการศึกษา

2555–2561 (ใส่วุฒิการศึกษาที่ได้รับ).....

สถาบันการศึกษา .....จังหวัด.....

2551–2554 (ใส่วุฒิการศึกษาที่ได้รับ).....

สถาบันการศึกษา .....จังหวัด.....

ความเชี่ยวชาญ