

การปรับปรุงคุณภาพของดินดวงจันทร์จำลอง (TLS-01) เพื่อความมั่นคงด้านอาหารแห่งอนาคต

ฐิติวัฒน์ จิระศิริโชติ และ ปราชญา เกียรติภูมิชัยศิริ
โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ปทุมธานี
51 หมู่6 ตำบลบ่อเงิน อ.ลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี 12140
อีเมลล์ : thitiwat.jir@pccp.ac.th, prachya.kia@pccp.ac.th

บทคัดย่อ

ด้วยความก้าวหน้าของการศึกษาทางด้านอวกาศ ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์มีแนวคิดใช้ดินจากดวงจันทร์เป็นสารตั้งต้นในการเกษตรกรรมยังต่างดาว เพื่อเป็นแนวทางสร้างความมั่นคงด้านอาหารแห่งอนาคตให้กับมนุษยชาติ เมื่อต้องเปลี่ยนที่อยู่อาศัย จึงนำดินดวงจันทร์จำลอง Thailand artificial lunar regolith Simulant (TLS-01) ผลิตโดยบริษัทสเปซ แชน จำกัด โดยใช้ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) เป็นพืชทดสอบ พบว่า ดิน TLS-01 สามารถปลูกพืชได้ แต่มีลักษณะทางกายภาพไม่เหมาะสม จึงปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยไมโครแคปซูลชีวมิติและซูมมะพร้าว เพื่อให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช พบว่าสัดส่วน ดิน TLS-01:ซูมมะพร้าว (1:1) ร่วมกับการเติมสารชีวมิติ 2 เท่าของอัตราแนะนำสามารถส่งเสริมให้ต้นอ่อนทานตะวันมีเปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนีการเจริญเติบโต เท่ากับ 85% และ 6.62 ซึ่งส่งเสริมการเจริญเติบโตได้เทียบเท่าดินทางการเกษตร ทั้งนี้ การปลดปล่อยสารชีวมิติจากไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้ม Whey Protein Isolate (WPI) และ Gum Arabic (GA) พบว่า สอดคล้องกับการแพร่แบบฟิกเกียน และ จากการทดสอบประสิทธิภาพการห่อหุ้มของไมโครแคปซูลชีวมิติที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI และ GA พบว่าประสิทธิภาพในการห่อหุ้มคิดเป็น 90 และ 88 % ตามลำดับ

คำสำคัญ ดินดวงจันทร์จำลอง (TLS-01), ต้นอ่อนทานตะวัน, ไมโครแคปซูล, ซูมมะพร้าว, สารชีวมิติ

1. บทนำ

ตลอดหลายปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์มีการศึกษาการทดลองปลูกพืชในสถานอวกาศจำนวนมาก เช่น งานวิจัยโดย De Pascale et al., (2021) ที่ศึกษาเรื่องความท้าทายและโอกาสผลิตพืชในสภาพแวดล้อมอวกาศ พบว่า พืชที่ควรปลูกในอวกาศ คือ พืช “microgreen” ที่เจริญเติบโตเร็วและแตกใบภายใน 1-2 สัปดาห์หลังปลูก เช่น พืชในวงศ์พลับพลึง บานไม่รู้โรย รวมถึงพืชในวงศ์ทานตะวัน อีกทั้งกิจการด้านอวกาศมีต้นทุนการขนส่งมหาศาล จึงมีแนวคิดที่จะใช้ดินจากดวงจันทร์เป็นสารตั้งต้นในการเกษตรกรรมยังต่างดาว (astroculture) นอกจากนี้ Chang & Ann, (2019) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างดินดวงจันทร์ที่เก็บรวบรวมจากโครงการอะพอลโล พบว่ามีความเป็นไปได้ในการพัฒนาแนวทางการนำดินจากดวงจันทร์มาใช้ในการปลูกพืช ทำให้องค์การอวกาศนานาชาติประเทศเล็งเห็นถึงความสำคัญจึงพัฒนาดิน

ดวงจันทร์จำลองของชาติตนเองขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาการเพาะปลูกพืชบนดวงจันทร์ เช่น ดินดวงจันทร์จำลอง JSC-1A ของประเทศญี่ปุ่น รวมถึงประเทศไทยก็ได้พัฒนาดินดวงจันทร์จำลอง TLS-01 โดยบริษัทสเปซ แชน จำกัด

ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) เป็นหนึ่งในผักรับประทานสดที่ได้รับความนิยม มีสารที่มีคุณค่าทางอาหารหลายชนิด จากเหตุผลข้างต้น ทางคณะผู้จัดทำโครงการค้นคว้า จึงนำดิน TLS-01 มาทดสอบปลูกต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า พืชสามารถเจริญเติบโตได้แต่คุณภาพของพืชไม่สมบูรณ์ตามลักษณะทางสรีรวิทยา เนื่องจากดินดังกล่าวมีลักษณะเป็นผงคล้ายซีเมนต์ และเมื่อผสมน้ำจะยึดเกาะตัวกันแน่น ทำให้ระบายน้ำไม่ดี รวมทั้งมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้ ในปัจจุบันมีวิธีการปรับปรุงดิน ดวงจันทร์จำลองหลากหลายรูปแบบ เช่น การเติมยิปซัม (CaSO_4) ในดินดวงจันทร์จำลองเพื่อการปลูกมะเขือ

เทศราชินี (Wamelink et al., 2014) การเติมไฮยาโนแบคทีเรีย *Synechococcus* Sp. สายพันธุ์ PCC 7002 ในดินดวงจันทร์จำลองเพื่อการปลูกหัวผักกาดแรดิช ผักกาดหอม และ อัลฟัลฟา (Kasiviswanathan et al., 2022) เป็นต้น ทางคณะผู้จัดทำคำนึงถึงความสะดวกต่อการขนส่งในอุตสาหกรรมอวกาศ และการประยุกต์ใช้ จึงพัฒนาสารชีวมีคเป็นไมโครแคปซูลด้วยกระบวนการเอนแคปซูเลชัน และนำขุยมะพร้าวมาปรับปรุง

เนื่องจาก เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีน้ำหนักเบา และสามารถนำมาทดแทนวัสดุปลูกที่นำเข้าจากต่างประเทศเพื่อลดต้นทุนในการผลิตได้ จึงเป็นที่มาของแนวทางการปรับปรุงคุณภาพทั้งด้านกายภาพและเคมีด้วยไมโครแคปซูลชีวมีคและขุยมะพร้าว เพื่อให้เหมาะสมต่อการปลูกต้นอ่อนทานตะวันเพื่อสร้างแหล่งอาหาร (พืชสด) ให้กับนักบินอวกาศ

2. วิธีการทดลอง

การศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการของดิน TLS-01

นำตัวอย่างดินเข้าเครื่องเคลือบตัวอย่างด้วยผงโลหะ ด้วยเครื่อง HITACHI E102 Ion Sputter จากนั้นนำตัวอย่างที่เคลือบเสร็จมาวิเคราะห์รูปร่างและเปรียบเทียบขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

นำตัวอย่างดิน TLS-01 มาวิเคราะห์ปริมาณและการกระจายตัวขององค์ประกอบทางเคมีด้วย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX) และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืช

ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน TLS-01 เพื่อการเพาะต้นอ่อนทานตะวัน

วางแผนการทดลองแบบ 6X3 Factorial in CRD ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 ชนิดวัสดุปลูก ประกอบด้วย 1) ดิน TLS-01 2) ขุยมะพร้าว 3) ดินทราย 4) ดินทางการเกษตร 5) ดิน TLS-01 ผสมขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 และ 6) ดิน TLS-01 ผสมทราย อัตราส่วน 1:1 และปัจจัยที่ 2 ปริมาณสารชีวมีค ประกอบด้วย 1) ความเข้มข้นอัตราแนะนำ (อัตราแนะนำ ฮิวมีค 1 มล./น้ำ 1 ลิตร) 2) ความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า และ 3) ความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า เติมสารชีวมีคในปริมาณ

ที่แตกต่างกันหลุมละ 20 มิลลิลิตร ปิดฝาภาชนะรดน้ำทุกวัน ประเมินประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ดังนี้ 1) ความยาวลำต้น 2) ความยาวราก 3) พื้นที่ใบ และ 4) น้ำหนักสดของผลผลิต หลังทดสอบ 3 วัน จากนั้นคำนวณดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโต (Growth parameter) ของต้นอ่อนทานตะวันด้วยสมการดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโต (Growth parameter) ของต้นอ่อนทานตะวันด้วยสมการดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโต (Growth parameter) = (ความยาวลำต้น + ความยาวราก + พื้นที่ใบ + น้ำหนักสดของผลผลิต) / 4 (Chuaboon et al., 2008) โดยมีรายละเอียดชุดทดลอง ดังตารางที่ 1

ทดสอบประสิทธิภาพการเพาะต้นอ่อนทานตะวันของดิน TLS 01 เทียบกับดินทางการเกษตร

นำต้นอ่อนทานตะวันไปวัดความยาวลำต้นเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ย และความยาวรากเฉลี่ย ด้วยโปรแกรม ImageJ Fiji บันทึกจำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละกล่องปลูกของแต่ละวัน เพื่อบันทึกเปอร์เซ็นต์การงอกของต้นอ่อนทานตะวันครั้งแรก (first count) เมื่ออายุ 5 วัน และครั้งสุดท้าย (final count) เมื่ออายุ 10 วัน

Code	Treatment details ¹⁴
T1	ดิน TLS-01+ ฮิวมีคความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T2	ดิน TLS-01+ ฮิวมีคความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T3	ดิน TLS-01+ ฮิวมีคความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T4	ขุยมะพร้าว + ฮิวมีคความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T5	ขุยมะพร้าว + ฮิวมีคความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T6	ขุยมะพร้าว + ฮิวมีคความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T7	ดินทราย + ฮิวมีคความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T8	ดินทราย + ฮิวมีคความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T9	ดินทราย + ฮิวมีคความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T10	ดินทางการเกษตร + ฮิวมีคความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T11	ดินทางการเกษตร + ฮิวมีคความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T12	ดินทางการเกษตร + ฮิวมีคความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T13	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ฮิวมีคความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T14	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ฮิวมีคเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T15	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ฮิวมีคเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า
T16	ดิน TLS-01 : ทราย (1:1) + ฮิวมีคความเข้มข้นอัตราแนะนำ
T17	ดิน TLS-01 : ทราย (1:1) + ฮิวมีคเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า
T18	ดิน TLS-01 : ทราย (1:1) + ฮิวมีคเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า

ตารางที่ 1 รายละเอียดชุดทดลอง. ¹⁴ Humic substance (ฮิวมีค น้ำ ตราทองกวาว) อัตราแนะนำ (ฮิวมีค 1 มล./น้ำ 1 ลิตร)

น้ำหนักสดซึ่งโดยนำต้นอ่อนทานตะวันไปล้างบนเครื่องล้าง ส่วนน้ำหนักแห้งซึ่งโดยนำต้นอ่อนทานตะวันมาอบให้น้ำระเหยไปจนหมดด้วยตู้อบเพื่อให้เหลือแต่น้ำหนักแห้งที่แท้จริง และชั่งบนเครื่องชั่ง

บดตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันให้เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งน้ำหนักและนำตัวอย่างที่ได้บรรจุไว้ในหลอด conical tube แยกประเภทตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืชด้วยเครื่อง Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MP-AES) และเครื่อง Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)

ย่อยตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันโดยการเติม HNO_3 และ H_2O_2 แล้วนำสารไปใส่ใน microwave digestion vessel rotor MAXI-44 ของเครื่องย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ (microwave digestion) นำสารละลายที่ได้ไปเจือจางแล้ววัดปริมาณแร่ธาตุ Fe และ P ด้วยเครื่อง MP-AES และนำสารไปวัดปริมาณแร่ธาตุ Na, Mg, Al, K, Ca, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ag, Cd และ Pb ด้วยเครื่อง ICP-MS

ลักษณะไมโครแคปซูลชีวมิติและการเพาะต้นอ่อนทานตะวันด้วยการใช้ชีวมิติในรูปแบบต่างๆ

เตรียมไมโครแคปซูลชีวมิติผ่านกระบวนการเอนแคปซูลเลชันจากพอลิเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ polyvinyl alcohol (PVA), gum arabic (GA) และ whey protein isolate (WPI) ละลายสารห่อหุ้มแต่ละชนิดในน้ำ DI ที่ 1 คิน เติมน้ำ Tween 80 ลงในสารละลายสารห่อหุ้ม นำชีวมิติเติมน้ำ DI ที่ 30 นาที นำสารละลายสารห่อหุ้มผสมกับชีวมิติในอัตราส่วน 1:2 (v/w) และทำให้แห้งด้วยเครื่อง Freeze dried ที่ -20°C

ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูล เช่น สี กลิ่น เนื้อสัมผัส ลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X ตรวจสอบสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลด้วยเครื่อง Benchtop scanning electron microscope (Benchtop SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JCM-6000 ที่กำลังขยาย 200X (Pakthongchai, 2020)

นำชีวมิติห่อด้วยถุงเซลโลเฟนที่มีสารละลาย Tween 80 ความเข้มข้น 0.1 M เขย่าเมื่อเวลาต่างๆ นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว

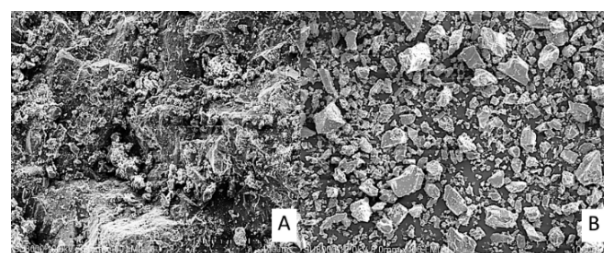
คลื่น 254 nm-คำนวณค่าการปลดปล่อยสารที่ได้ด้วยสมการของ Ritger-Peppas (Pakthongchai, 2020)

สกัดชีวมิติที่ผิวไมโครแคปซูล กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารที่กรองได้ระเหยด้วยเครื่อง Rotary evaporation สกัดสารชีวมิติทั้งหมดของไมโครแคปซูล โดยนำไมโครแคปซูลผสมกับไดคลอโรมีเทน และเมทานอล และคำนวณประสิทธิภาพการห่อหุ้มของไมโครแคปซูล สกัดสารชีวมิติทั้งหมดของไมโครแคปซูล โดยผสมกับไดคลอโรมีเทน เมทานอลและคำนวณประสิทธิภาพการห่อหุ้มของไมโครแคปซูล ตามวิธีการของ Jiraporn Pakthongchai, (2020)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1 ชนิดวัสดุปลูก ประกอบด้วย ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) และ ปัจจัยที่ 2 ปริมาณสารชีวมิติ ประกอบด้วย 1) ความเข้มข้นอัตราแนะนำ 2) ความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า และ 3) ความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 6 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด (ตารางที่ 6) และคำนวณดัชนีชี้วัดการเจริญเติบโตเหมือนเดิมทุกประการ

3. ผลการทดลองและอภิปรายการทดลอง การศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีบางประการของดิน TLS-01

จากการวิเคราะห์รูปร่างและเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของดิน TLS-01 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งอนุภาคมีการกระจายตัวสม่ำเสมอไม่เกาะกลุ่ม (ภาพที่ 1) เช่นเดียวกับขนาดอนุภาคของดินดวงจันทร์จำลอง JSC-1A และดินดวงจันทร์จากโครงการอะพอลโลและโครงการลูนา (Neves et al., 2020 ; Goulas et al., 2019) ดังนั้น ดิน TLS-01 ที่นำมาเพาะต้นอ่อน



ภาพที่ 1 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของอนุภาคของดิน TLS-01 กำลังขยาย 400x แบบไม่บด (A) และบด (B)

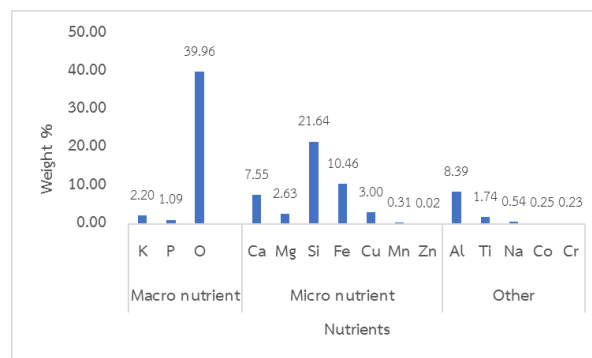
สมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์	การแปลผล*
1. ความเป็นกรด-ด่าง	5.6	กรดปานกลาง
2. ค่าการนำไฟฟ้า	0.09 dS/m	ไม่เค็ม ไม่เป็นอันตรายต่อพืช
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	2.25 %	ปานกลาง
4. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	1.17 %	ปานกลาง
5. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	18.8 mg/kg	ปานกลาง
6. ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	207 mg/kg	สูงมาก
7. ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	388 mg/kg	ปานกลาง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืช (Department of Land Development, (2010); Faculty of the Department of Soil Science, (1998))

ทานตะวันในการศึกษานี้ จึงมีขนาดอนุภาคเม็ดดินใกล้เคียงกับผลการศึกษานี้ ทั้งนี้ขนาดของอนุภาคขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของดินโดยพบว่าดินดวงจันทร์จำลอง TLS-01 มีความหนาแน่นของดินก่อนบด และหลังบด เท่ากับ 1.72 และ 2.30 g/cm³ ตามลำดับ และไม่มีสมรรถนะการอุ้มน้ำสูงสุดของดิน คุณสมบัติข้างต้นแสดงให้เห็นว่าลักษณะทางกายภาพของดิน TLS-01 มีลักษณะที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดิน TLS-01 พบว่าประกอบด้วยธาตุ 15 ชนิดแบ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และธาตุอาหารรอง 2 ธาตุ (ภาพที่ 2) นอกจากนี้ พบว่าผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของพืชได้ผลดังตารางที่ 2 ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่า ดิน TLS-01 เป็นที่มีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของพืช โดยเฉพาะมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ปริมาณสูงมาก ค่าต่างๆเหล่านี้เป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินที่นำมาเพาะ ซึ่งค่า pH ของดินที่ต้นอ่อนต้องการ ต้องเป็นกลาง 5.5 - 6.5 โดยค่า pH ที่วัดได้แสดงถึงว่าดิน TLS-01สามารถนำมาเพาะต้นอ่อนทานตะวันได้ (Chinsaen, et al., (2018); Siri-Ngam (2014))

ประสิทธิภาพการเพาะต้นอ่อนทานตะวันของดิน TLS 01 เทียบกับดินทางการเกษตร

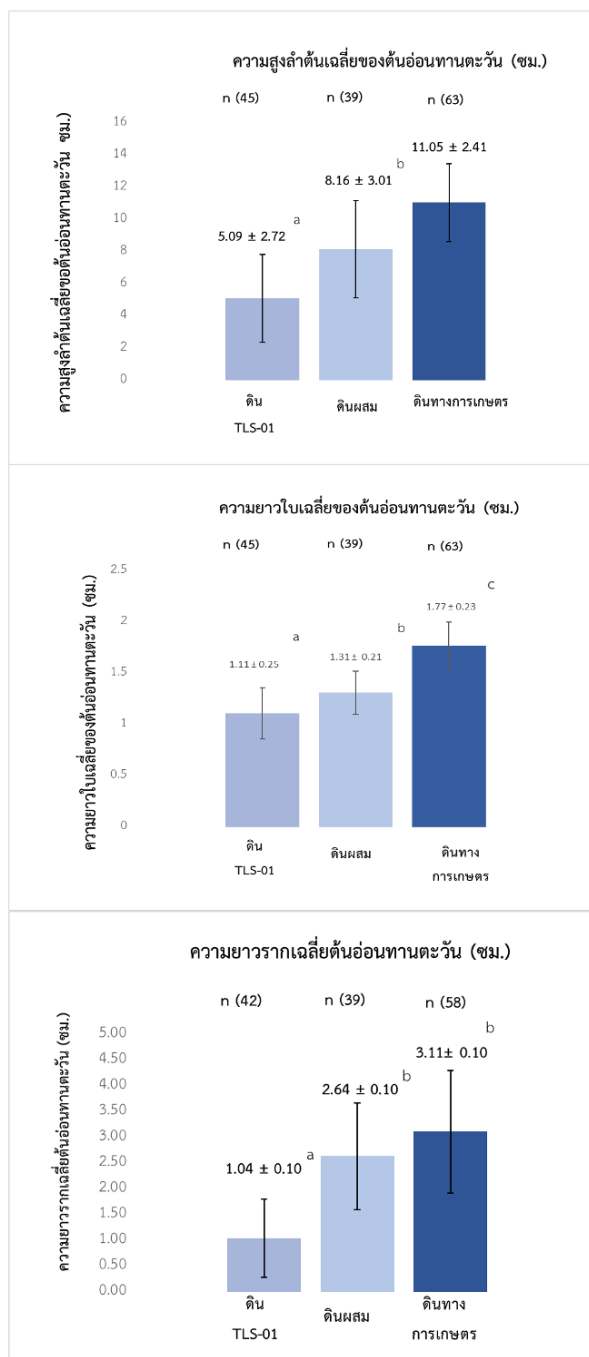


ภาพที่ 2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของดิน TLS-01 โดย Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX)

ต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะด้วยดินทางการเกษตร มีเปอร์เซ็นต์การงอกในแต่ละวัน ความสูงลำต้นเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ย ความยาวราก และ น้ำหนัก เฉลี่ยมากที่สุด (ภาพที่ 3, ตาราง 3 และ 4) รองลงมา คือ ต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะด้วยดินผสม และ ดิน TLS-01 ในทางกลับกัน อนุภาคนาโน SiO₂ ในดิน TLS-01 มีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราการงอก และอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตที่มากขึ้นของต้นทานตะวัน (Sabaghnia et al., 2018; Sabaghnia & Janmohammadi, 2017) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO₂ ในดินที่เพาะ (Jurga et al, 2013) รวมถึงเพิ่มความยาวรากและลำต้น นอกจากนี้ อนุภาคของธาตุ Fe ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดลดลง (Verma et al., 2020) ซึ่งงานวิจัยของ Ilay et al., (2013) พบว่า เมื่อเพาะต้นทานตะวันด้วยดินร่วนเหนียว ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดินทางการเกษตรในงานวิจัยนี้ มีแนวโน้มว่า เมื่อคณะผู้จัดทำเพาะต้นอ่อนทานตะวันด้วยดินทางการเกษตรในระยะเวลาที่นานขึ้น ต้นอ่อนทานตะวันจะมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น

ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน TLS-01 เพื่อการเพาะต้นอ่อนทานตะวัน

วัสดุปลูกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความเข้มข้นของสารฮิวมิกไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะด้วยดิน TLS-01 ผสมขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 และเติมสารฮิวมิกความเข้มข้น 2 เท่า ของอัตราแนะนำ (อัตราแนะนำ ฮิวมิก 1 มล./น้ำ 1 ลิตร) สามารถส่งเสริมให้ต้นอ่อนทานตะวัน มีเปอร์เซ็นต์ความงอก และดัชนีการเจริญเติบโต เท่ากับ 85% และ 6.62 หลังปรับปรุงคุณสมบัติทั้งด้านกายภาพ



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงลำต้น ความยาวรากเฉลี่ย ความยาวใบเฉลี่ยของต้นอ่อนทานตะวัน (ซม.) ต่อประเภทดินที่ใช้เพาะต้นอ่อนทานตะวัน

และเคมีของดินส่งผลให้การเพาะด้วยดิน TLS-01 มีคุณลักษณะที่ดีขึ้นโดยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันได้ดีเทียบเท่าดินทางการเกษตร ($p \leq 0.05$) โดยดินทางการเกษตรมี Growth parameter เท่ากับ 8.29 (ภาพที่ 5) การเพาะด้วยดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) สามารถลดข้อต่อของทางกายภาพของดิน TLS-01 ที่มีสมรรถนะ

ประเภทดินที่ใช้เพาะต้นอ่อนทานตะวัน	น้ำหนักใบเฉลี่ย (g)	น้ำหนักลำต้นเฉลี่ย (g)	น้ำหนักรวมเฉลี่ย (g)
ดิน TLS-01	0.230	0.222	0.452
ดินผสม	0.216	0.193	0.409
ดินทางการเกษตร	0.363	0.345	0.707

ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักสดของใบ ลำต้นเฉลี่ย และน้ำหนักเฉลี่ยรวมของต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้เพาะในดินแต่ละประเภท

ประเภทดินที่ใช้เพาะต้นอ่อนทานตะวัน	น้ำหนักใบเฉลี่ย (g)	น้ำหนักลำต้นเฉลี่ย (g)	น้ำหนักรวมเฉลี่ย (g)
ดิน TLS-01	0.036	0.015	0.051
ดินผสม	0.025	0.019	0.044
ดินทางการเกษตร	0.038	0.037	0.075

ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้นเฉลี่ย และน้ำหนักเฉลี่ยรวมของต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้เพาะในดินแต่ละประเภท

การอุ้มน้ำต่ำ และลดการจับตัวเป็นก้อนทำให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนช่องบรรจุอากาศ (air-filled porosity) ของวัสดุปลูกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ธาตุอาหารในเม็ดดินละลายตัวและเป็นประโยชน์กับพืชได้สูงขึ้น ซึ่งเมื่อเติม ฮิวมิคความเข้มข้นต่าง ๆ ในวัสดุปลูกทุกชนิดพบว่าให้ประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญของต้นทานตะวันอ่อนได้ดีไม่แตกต่างกัน จากคุณสมบัติทางเคมีของดิน TLS-01 มีองค์ประกอบธาตุสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชค่อนข้างดี แต่ไม่สามารถปลดปล่อยออกมาได้เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่เหมาะสม และการเติมฮิวมิคช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารได้มากขึ้น พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับ TLS-01 ก่อนปรับปรุง (ภาพที่ 4A) โดยทั้งสองสภาวะนี้ถูกควบคุมอยู่ในสภาวะเดียวกันทุกประการ เช่น แสง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำจำนวนเมล็ดที่เพาะที่เหมือนกัน อีกทั้งสารฮิวมิคเพิ่มความสามารถในการซึมซับน้ำและความพรุนของดินได้ ตลอดจนมีส่วนช่วยปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน โดยเป็นแหล่งของธาตุอาหาร และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชและจุลินทรีย์ (ตารางที่ 5)

วัสดุปลูก (A)	Concentration of humic substance (B)			Average ^{2/}
	B1	B2	B3	
1) ดิน TLS-01	5.31	6.36	5.88	5.85b
2) ขุยมะพร้าว	4.26	3.96	3.94	4.05c
3) ดินทราย	6.82	9.81	7.74	8.12a
4) ดินทางการเกษตร	5.86	6.08	6.01	5.98b
5) ดิน TLS-01: ขุยมะพร้าว (1:1)	7.45	8.54	6.10	7.36a
6) ดิน TLS-01: ทราย (1:1)	4.33	5.59	3.20	4.37c
Average	5.67	6.73	5.48	
F-Test				
A			*	
B			ns	
AXB			ns	

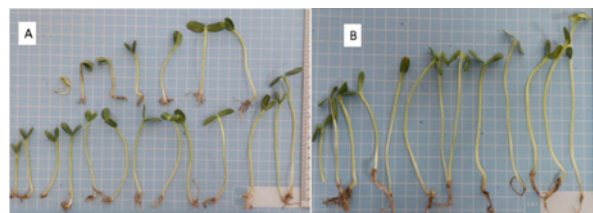
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุปลูก(A) และปริมาณสารฮิวมิก (B) ^{1/} ns=Not significant, *= Significant at 95% confidence level.

1/ B1= ฮิวมิกความเข้มข้นอัตราแนะนำ, B2= ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 1 เท่า, และ B3= ฮิวมิกความเข้มข้นความเข้มข้นมากกว่าอัตราแนะนำ 2 เท่า

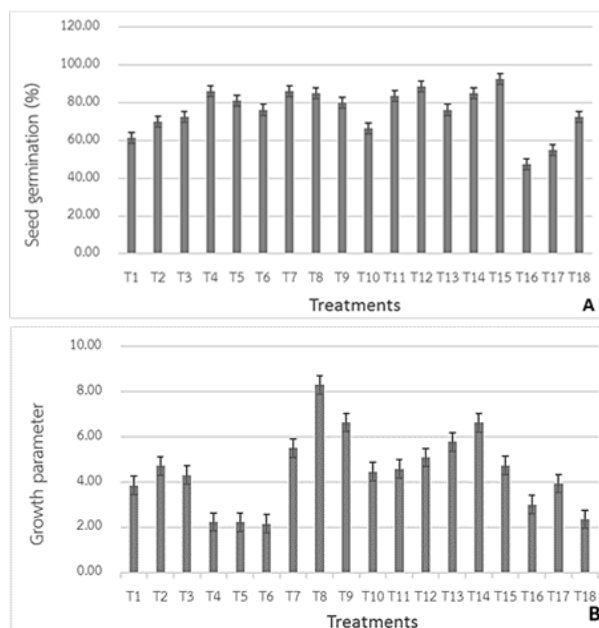
2/ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกัน คือ ไม่มีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทวัสดุปลูก

ลักษณะไมโครแคปซูลฮิวมิกและการเพาะต้นอ่อนทานตะวันด้วยการใช้ฮิวมิกในรูปแบบต่างๆ

ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม Gum Arabic (GA) มีสีผงสีน้ำตาลเข้ม ขณะที่ไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม Whey protein isolate (WPI) เป็นเกล็ดสีน้ำตาลเข้มเหมือนกันไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม PVA มีลักษณะเป็นโพลีสีน้ำตาลซึ่งไม่สามารถมองเห็นลักษณะได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เนื่องจากคุณสมบัติในการขึ้นรูปไม่ดี เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 4 เท่า พบว่า ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มด้วย WPI และ GA มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำเหมือนแผ่นแยกชิ้นส่วนออกจากกัน ส่วนกำลังขยาย 10 เท่า มีลักษณะคล้ายเหมือนแผ่นหลายชั้นที่มีรูปร่างผิดปกติ ส่วนการศึกษาลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า

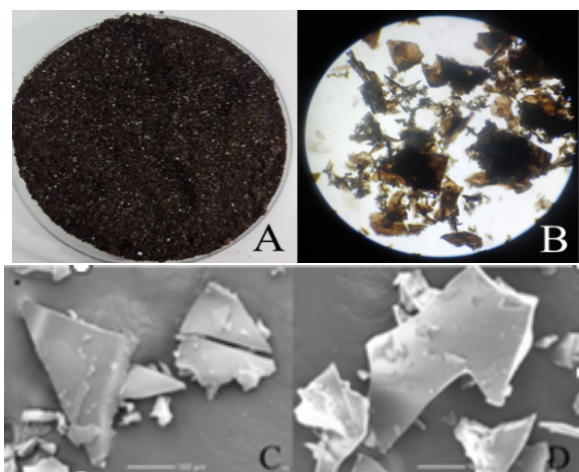


ภาพที่ 4 ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกด้วยดิน TLS-01 (A) เปรียบเทียบกับดินทางการเกษตร (B) ก่อนการปรับปรุงคุณภาพดิน

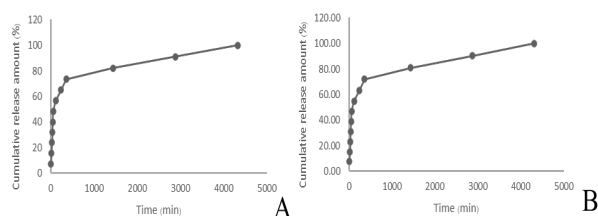


ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพของดิน TLS-01 หลังการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพและธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูก A) เปอร์เซนต์การงอก และ B) ดัชนีการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน

ไมโครแคปซูลฮิวมิกแบบห่อหุ้ม WPI และ GA (ภาพที่ 6) มีลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลแบบแผ่นที่มีพื้นผิวเรียบ ไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI มีค่า R^2 เท่ากับ 0.6033 และมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (diffusion exponent) เท่ากับ 0.0027 ตรงกับการแพร่แบบฟิกเกียน ซึ่งเป็นการแพร่จากความเข้มข้นมากไปความเข้มข้นน้อย โดยที่ระยะเวลาก่อน 360 นาที มีการปลดปล่อยสารฮิวมิกออกมา 73.50 % และหลังจากนั้นมีการปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ ส่วนไมโครแคปซูลฮิวมิกที่ใช้สารห่อหุ้ม GA มีค่า R^2 เท่ากับ 0.5846 และมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (diffusion exponent) เท่ากับ 0.0214 ตรงกับการแพร่แบบฟิกเกียน ซึ่งเป็นการแพร่จากความเข้มข้นมากไปความเข้มข้น



ภาพที่ 6 สารชีวโมเลกุลห่อหุ้มแคปซูล A) ภาพไมโครแคปซูลห่อหุ้มชีวโมเลกุลภายใต้ 4X B) และภายใต้กล้อง Benchtop SEM ที่กำลังขยาย 200x C) สารห่อหุ้ม WPI และ D) สารห่อหุ้ม GA



ภาพที่ 7 จลนศาสตร์การปลดปล่อยของชีวโมเลกุลจากไมโครแคปซูลสารห่อหุ้ม WPI (A) และ GA (B)

น้อย โดยที่ระยะเวลาก่อน 360 นาที มีการปลดปล่อยสารชีวโมเลกุลออกมา 72 % และหลังจากนั้นมีการปลดปล่อยออกมาอย่างช้า ๆ (ภาพที่ 7)

จากการทดสอบประสิทธิภาพการห่อหุ้มของไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI และ GA พบว่าประสิทธิภาพในการห่อหุ้มคิดเป็น 90 และ 88 % ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zang, B. et al. (2022) เรื่อง Encapsulation of Capsaicin in Whey Protein ที่ว่า Gum Arabic มีความสามารถในการทำให้เป็นอิมัลชันและคงตัวในขั้นตอนการห่อหุ้ม นอกจากนี้ยังสามารถสร้างชั้นห่อหุ้มรอบ ๆ สารแกนกลางซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพการห่อหุ้มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของกัมอาร์บิกที่เพิ่มขึ้นในวัสดุเคลือบ และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zang, B. et al. (2022) เรื่อง Fabrication and Characterization of Whey Protein. ในส่วนของการเลือกใช้สารห่อหุ้ม WPI เพียงอย่างเดียว (เทียบเท่ากับชุดการทดลอง WPI:OS = 10:0 ในงานวิจัยข้างต้น) ซึ่งจากการศึกษาของ พบว่าประสิทธิภาพ

Code	Treatment details ^{1/}	Germination index ^{2/}
T1	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ชีวโมเลกุลความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 1 เท่า	9.49a
T2	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI ความเข้มข้นอัตราแนะนำ	8.07b
T3	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI ความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 1 เท่า	8.71ab
T4	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI ความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 2 เท่า	7.67b
T5	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม GA ความเข้มข้นอัตราแนะนำ	7.73b
T6	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม GA ความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 1 เท่า	8.59ab
T7	ดิน TLS-01 : ขุยมะพร้าว (1:1) + ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลที่ใช้สารห่อหุ้ม GA ความเข้มข้นมากกว่าอัตรา แนะนำ 2 เท่า	8.15b

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของดัชนีการงอกในแต่ละชุดการทดลองหลังจากใช้ไมโครแคปซูลชีวโมเลกุลรูปแบบต่างๆ

^{1/}WPI is whey protein isolate, GA is gum arabic.

^{2/} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกัน คือ ไม่มีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทวัสดุปลูก

การห่อหุ้มของไมโครแคปซูลสารแคปไซซินจากพริกที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI มีค่าอยู่ระหว่าง 50% ถึง 94 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างในงานวิจัยข้างต้นที่มีการผสมระหว่าง WP และ OS ที่อัตราส่วนน้ำหนักร้อยละ 10:0, 9:1 และ 7:3 ให้ผลที่มีความแตกต่างที่เห็นได้อย่างชัดเจน ดังนั้น จึงบ่งบอกถึงวัสดุมีความสามารถในการขึ้นของชั้นห่อหุ้มที่ดีเยี่ยม และ WP และ OS ด้วยอัตราส่วน 10:0, 9:1, และ 7:3 นำเสนอปฏิสัมพันธ์ที่ดี

เมื่อปรับปรุงการปลูกต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า การใช้สารชีวมิคความเข้มข้น 2 เท่าของอัตราที่แนะนำ เพิ่มในการทดลองดินดวงจันทร์จำลองด้วยใยมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 ให้ดัชนีความงอกสูงสุดที่ 9.49 รองลงมาคือการใช้ไมโครแคปซูลที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI มีดัชนีการงอก 8.71 และ ไมโครแคปซูลที่ใช้ชีวมิคโดยใช้สารห่อหุ้ม GA มีดัชนีการงอก 8.59 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยวิธีการที่กล่าวมาสามารถลดข้อจำกัดของดิน TLS-01 ได้ทั้งด้านกายภาพและเคมี โดยการใช้ไมโครแคปซูลชีวมิคที่ใช้สารห่อหุ้ม WPI และ GA ความเข้มข้น 2 เท่าสามารถส่งเสริมให้ต้นอ่อนทานตะวันมีการเจริญเติบโตได้ดีใกล้เคียงกับการใช้ชีวมิคน้ำความเข้มข้น 2 เท่า

4.สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการเพาะต้นอ่อนทานตะวันด้วยดิน TLS-01 สำหรับการเกษตรอวกาศ โดยต้นอ่อนทานตะวันที่เพาะด้วยดินทางการเกษตร มีเปอร์เซ็นต์การงอกในแต่ละวันมากที่สุด อยู่ที่ $68.00 \pm 3.70\%$ ในทางตรงกันข้าม ต้นอ่อนทานตะวันทั้งต้นที่เพาะด้วยดิน TLS-01 มีปริมาณรงควัตถุ และ มีร้อยละความเข้มข้นของธาตุ Na, Mg, Mn และ Cu โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) มากที่สุด การงอกจนถึงขนาดต้นอ่อนทานตะวันโดยรวม สามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงคุณภาพดิน TLS-01 มีความเป็นไปได้ด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน จึงปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและธาตุอาหารของดิน TLS-01 เพื่อการเพาะต้นอ่อนทานตะวันโดยใช้ขุยมะพร้าวร่วมกับสารชีวมิคพบว่า เมื่อเพาะด้วยดิน TLS-01 ผสมขุยมะพร้าวอัตราส่วน 1:1 และเติมสารชีวมิคความเข้มข้น 2 เท่าของอัตราแนะนำ สามารถส่งเสริมให้ต้นอ่อนทานตะวัน มีเปอร์เซ็นต์ความงอก และดัชนีการเจริญเติบโตได้ดีเทียบเท่าดินทางการเกษตร ลดข้อด้อยทางกายภาพของดิน TLS-01 ที่มีสมรรถนะการอุ้มน้ำต่ำ และลดการจับตัวเป็นก้อนได้

ต่อมาได้พัฒนาสารชีวมิคเป็นไมโครแคปซูลชีวมิค เนื่องจาก คำนึงถึงความสะดวกต่อการขนส่งในอวกาศและเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน ผลการทดลอง พบว่า การใช้ไมโครแคปซูลชีวมิคที่มีการห่อหุ้ม WPI ผนวกความเข้มข้นชีวมิค 2 เท่าของอัตราที่แนะนำ สามารถส่งเสริมดัชนีการงอกของต้นอ่อนทานตะวันที่ใกล้เคียงกับชีวมิคน้ำที่ใช้ข้างต้น

พบว่า 73 % ของสารชีวมิคที่อยู่ภายในไมโครแคปซูลถูกปล่อย

ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถนำแนวทางนี้ไปปรับคุณสมบัติของดินดวงจันทร์จริงให้มีความเหมาะสมกับการเพาะปลูกได้ในอนาคต เพื่อสร้างแหล่งอาหาร (พืชสด) ให้กับนักบินอวกาศ และเป็นแนวทางสร้างความมั่นคงด้านอาหารแห่งอนาคตให้กับมนุษยชาติเมื่อต้องเปลี่ยนที่อยู่อาศัยไปยังดวงจันทร์หรือดาวดวงอื่น หากโลกของเราถึงคราวสิ้นอายุขัย

5. เอกสารอ้างอิง

- Chang, B. C., & Ann, K. Y. (2019). Development of assessment methods of lunar soil simulants with respect to chemical composition. *Advances in Space Research*, 63(8), 2584–2597. doi.org/10.1016/j.asr.2019.01.015
- Chinsaen, T., K. Khamkula, N. Vejkama & K. Sangmanee (2018). Seed germination promotion yam with the way Hydropriming. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 46(1).
- Chuaboon, W., S. Kasem & Pratuangwong, S. (2007). Efficacy of beneficial bacteria in combination with natural biological substances in promoting growth and stimulating disease resistance of cauliflower production in field conditions. *Agriculture Housing* 30(5): 264-265.
- De Pascale, S., Arena, C., Aronne, G., De Micco, V., Pannico, A., Paradiso, R., & Roupheal, Y. (2021). Biology and crop production in Space environments: Challenges and opportunities. *Life Sciences in Space Research*, 29(February), 30–37. doi.org/10.1016/j.lssr.2021.02.005
- Department of Land Development. (2010). Soil Chemical Analysis Process. Retrieved April 1, 2022, from <https://www.ddd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>.
- Faculty of the Department of Soil Science (1998). Introduction to Soil Science. Print the 8th time, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University.

- Huang, L., Dong, B. C., Xue, W., Peng, Y. K., Zhang, M. X., & Yu, F. H. (2013). Soil Particle Heterogeneity Affects the Growth of a Rhizomatous Wetland Plant. *PLoS ONE*, 8(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069836>
- Ilay, R., Kavdir, Y., & Sümer, A. (2013). The effect of olive oil solid waste application on soil properties and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Int'l Biodeterioration and Biodegradation*, 85, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.07.008>
- Jiraporn Pakthongchai (2020). Cellulose film mixed with micropencapsulation of essential oil to prolong the storability longkong (*Aglaia dookoo* Griff.), Master of science (Organic Farming Management), Thammasat University, Thailand.
- Jurga, M., Martin, K., Piret, L., Svetlana, M., Ingrida, P. L., Darius, S., & Asta, U. (2013). *Botanica lithuanica*. 19(1), 3–7.
- Kasiviswanathan, P., Swanner, ED., Halverson, L.J., Vijayapalani, P. (2022). Farming on Mars: Treatment of basaltic regolith soil and briny water simulants sustains plant growth. *PLoS ONE* 17(8): e0272209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.e0272209>
- Kong-ek Siri-Ngam (2014). Effect of potassium on the physiological response of lettuce grown in soilless system. *Phranakhon Rajabhat Research Journal* 9 (1) January-June 2014.
- Neves, J. M., Ramanathan, S., Suraneni, P., Grugel, R., & Radlinska, A. (2020). Characterization, mechanical properties, and microstructural development of lunar regolith simulant-portland cement blended mixtures. *Construction and Building Materials*, 258(2020), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120315>
- Verma, D. K., Patel, S., & Kushwah, K. S. (2020). Effects of Nanoparticles on Seed Germination, Growth, Phytotoxicity and Crop Improvement. *Agricultural Reviews*. doi.org/10.18805/ag.r-1964
- Wamelink GWW, Frissel JY, Krijnen WHJ, Verwoert MR, Goedhart PW (2014) Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants. *PLoS ONE* 9(8): e103138. [doi:10.1371/journal.pone.0103138](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103138)
- Zang, B. et al. (2022). Encapsulation of Capsaicin in Whey Protein and OSA-Modified Starch Using Spray-Drying: Physicochemical Properties and Its Stability. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods11040612>
- Zang, B. et al. (2022). Fabrication and Characterization of Whey Protein—Citrate Mung Bean Starch—Capsaicin Microcapsules by Spray Drying with Improved Stability and Solubility. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods11071049>

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นางสาวทิตากร สัตย์จริง ครูที่ปรึกษาโครงงาน นางสาวประดับ มีสวัสดิ์ นางสาวจิราภรณ์ ปักธงไชย ดร. ทัญพงศ์ ตูลยานนท์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิลาวรรณ เชื้อบุญ สำหรับการให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.วเรศ จันทร์เจริญ และบริษัทสเปซ แชน จำกัด ที่มอบตัวอย่างดินดวงจันทร์จำลอง TLS-01 เพื่อใช้ศึกษาในการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณ “การประกวดโครงงานของนักวิทยาศาสตร์รุ่นเยาว์ ครั้งที่ 24” (Young Scientist Competition 2022) ที่มอบทุนและสนับสนุนการทดลอง