

ฟิล์มถุงเพาะชำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเปลี่ยนสีตามค่า pH ของดิน Carboxymethyl Cellulose Seedling Bag Film with Soil pH Indicator

ภักจิรา ดำรงมุกดาธรรม ชลธิชา ดีบุตร

อรรวรรณ ศรีไตรรัตน์¹ และ ธนัยชนก ศิริรักษ์²

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ชลบุรี, ตำบลหนองซาก, อำเภอบ้านบึง, จังหวัดชลบุรี 20170, ประเทศไทย

²ภาควิชาเกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ตำบลแสนสุข, อำเภอเมืองชลบุรี, จังหวัดชลบุรี 20131, ประเทศไทย

E-mail: 6706403@pccchon.ac.th

บทคัดย่อ

จากค่านิยมปลูกพืชในเมืองที่เน้นความสะดวกสบาย ไม่เสียเวลาในการดูแลรักษา นำไปสู่การพัฒนาฟิล์มถุงเพาะชำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเปลี่ยนสีตามค่า pH ของดินที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและสามารถเปลี่ยนสีตามค่า pH ของดิน เพื่อให้ผู้ปลูกสามารถควบคุมปัจจัยค่า pH ของดินที่เหมาะสมต่อการเติบโตของต้นกล้าได้อย่างเหมาะสม

ขั้นตอนการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) จากเส้นใยมะพร้าว โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ในกระบวนการอีเทอร์ิฟิเคชัน (Etherification) ต่อการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR และค่าระดับการแทนที่ (Degree of Substitution: DS) ตามมาตรฐาน ASTM D1439-03 ร่วมกับการพัฒนาฟังก์ชันการเปลี่ยนสีฟิล์มตามค่า pH ของดิน โดยศึกษาความเข้มข้นของสารสกัดดอกอัญชันที่ส่งผลต่อความเข้มข้นแอนโทไซยานิน ด้วยวิธี pH differential เพื่อหาความเข้มข้นที่สามารถทำให้ฟิล์มเปลี่ยนสีตามค่า pH ได้อย่างชัดเจน พบว่าสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 20% w/v ส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันของ CMC สังเคราะห์ สอดคล้องกับ CMC เชิงพาณิชย์มากที่สุด โดยมีค่า DS ที่เหมาะสมต่อการอุ้มน้ำของฟิล์ม และสารสกัดดอกอัญชันที่มีความเข้มข้น 5% w/v มีความเข้มข้นของแอนโทไซยานินสูงสุดคือ 24.8 mg/L ซึ่งสามารถสังเกตการเปลี่ยนสีฟิล์มตามค่า pH ได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, เทคนิค FTIR, ค่าระดับการแทนที่ (DS), วิธี pH differential, แอนโทไซยานิน

1. บทนำ

กระแสความนิยมการปลูกพืชและเกษตรกรรมเมืองในปัจจุบัน ส่งผลให้ปริมาณขยะพลาสติกทางการเกษตรเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะ "ถุงเพาะชำพลาสติกพอลิเอทิลีน" ซึ่งเป็นพลาสติกใช้ครั้งเดียวทิ้งและใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า 400–500 ปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2565) จากรายงานของ FAO (2021) ระบุว่า ขยะพลาสติกจากการเกษตรทั่วโลกมีปริมาณสูงกว่า 12.5 ล้านตันต่อปี และมีอัตราการรีไซเคิลต่ำ ก่อให้เกิดปัญหา

ไมโครพลาสติกตกค้างและปนเปื้อนในระบบนิเวศดินอย่างรุนแรง

ในด้านการเพาะปลูก ระยะต้นกล้าเป็นช่วงที่เปราะบางที่สุด โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินเป็นปัจจัยวิกฤตต่อการละลายและการดูดซึมธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ซึ่งพืชส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 5.5–6.5 (Brady & Weil, 2016) หากค่า pH ของดินเบี่ยงเบนไปจากช่วงดังกล่าว จะส่งผลให้เกิดสภาวะขาดธาตุอาหารหรือเกิดพิษจากแร่ธาตุบางชนิดส่งผลให้อัตราการรอดชีวิตของต้นกล้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม



กลุ่มผู้เพาะปลูกระดับครัวเรือนและคนเมืองที่ไม่ใช่เกษตรกรอาชีพ มักประสบข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ตรวจวัดเนื่องจากมีราคาสูง ทั้งยังมองว่ากระบวนการตรวจสอบดินด้วยวิธีทางเคมีดั้งเดิมมีความซับซ้อน ยุ่งยาก และรบกวนระบบรากที่อ่อนแอของต้นอ่อนส่งผลให้ผู้เพาะปลูกกละเลยการตรวจสอบสภาพดิน จนนำไปสู่ความล้มเหลวในการอนุบาลต้นกล้า

คณะผู้จัดทำจึงพัฒนาถุงเพาะชำผสม CMC จากเส้นใยมะพร้าวและสารสกัดจากดอกอัญชันขึ้น โดยนำเส้นใยมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาสังเคราะห์เป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) อนุพันธ์ของเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำ จึงช่วยรักษาความชื้นให้รากของต้นกล้าและดินได้ดี นำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพที่ย่อยสลายได้และเพิ่มฟังก์ชันอัจฉริยะด้วยสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันเพื่อทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีตามค่า pH (Siriwong et al., 2018) นวัตกรรมนี้จึงเป็นเซนเซอร์อัจฉริยะแบบแสดงผลด้วยตาเปล่าที่ช่วยให้การดูแลต้นกล้ากลายเป็นเรื่องง่าย สะดวก และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

2.1.1 สังเคราะห์เซลลูโลส ทำการต้มด้วยด่าง (Alkalization) โดยนำเส้นใยมะพร้าว 80 g เติมสารละลาย NaOH เข้มข้น 6% w/v ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองล้างเยื่อด้วยน้ำสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2.1.2 ทำการฟอกสี โดยนำเส้นใยจากกระบวนการอัลคาไรเซชัน (Alkalization) แช่ในสารละลาย H₂O₂ เข้มข้น 20% v/v ที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน กรองและล้างด้วยน้ำสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2.1.3 สังเคราะห์ CMC (Etherification) นำเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้ปริมาณ 5 g มาทำปฏิกิริยากับ NaOH ความเข้มข้นที่กำหนดไว้ 4 ความเข้มข้น ได้แก่ 10, 20, 30, 40 และ 50% w/v จำนวน 40 cm³ และไอโซโพรพานอล 20 cm³ คนผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

2.1.4 เติม MCA 7 g คนผสมเป็นเวลา 30 นาที ปิดคลุมสารละลายด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำเข้าไอบอปที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.1.5 กรองสารละลายและล้างตะกอนด้วย น้ำสะอาด, ethanol 70% v/v และ methanol 70% v/v ปรับค่า pH ของสารละลายให้เป็นกลางด้วยกรดอะซิติก อบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2 การวิเคราะห์สมบัติของ CMC

2.2.1 นำ CMC เชิงพาณิชย์และ CMC

สังเคราะห์มาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

2.2.2 หาค่าระดับการแทนที่ (DS) ตามมาตรฐาน ASTM D1439-03

2.2.3 นำ CMC ที่ได้ 1 g ละลายกับ NaOH 0.1 M จำนวน 10 cm³ คนผสมกัน 2 นาที

2.2.4 นำสารละลายข้างต้นไทเทรตกับ HCl เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นคำนวณ ค่า DS ตามมาตรฐาน ASTM D1439-03 ดังสมการ (รัตนกร ยวงสวัสดิ์, 2566)

$$A = \frac{(BC - DE)}{F} \quad (1)$$

แทน A จาก (1) ในสมการ

$$DS = \frac{0.1620 \times A}{1 - (0.058 \times A)} \quad (2)$$

A คือ มิลลิอิกวาเลนซ์ของกรดต่อกรัมตัวอย่าง

B คือ ปริมาตรของสารละลาย NaOH (cm³)

C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (M)

D คือ ปริมาตร HCl ที่ใช้ในการไทเทรต (cm³)

E คือ ความเข้มข้นของสารละลาย HCl (M)

F คือ ปริมาณตัวอย่าง CMC ที่ใช้ (g)

2.3 การสกัดอินดิเคเตอร์จากดอกอัญชัน

2.3.1 นำดอกอัญชันหั่นละเอียด ต้มในน้ำสะอาด เป็นระยะเวลา 20 นาที กรองเศษออกให้เหลือแค่ของเหลว ให้ได้สารสกัดดอกอัญชันเข้มข้น 1, 3 และ 5 % w/v (คณะผู้จัดทำได้ทดลองการเปลี่ยนสีของฟิล์มเมื่อผสมสารสกัดดอกอัญชันความเข้มข้น 7 % w/v พบว่าฟิล์มมีสีเข้มเกินไปจนทำให้สังเกตการเปลี่ยนสีจาก pH ได้ไม่ชัดเจน จึงสรุปว่าความเข้มข้น 5 % w/v คือความเข้มข้นสูงสุดที่นำมาทดสอบ)

2.3.2 หาความเข้มข้นของแอนโทไซยานิน โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer วัดค่าการดูดกลืนแสง บนช่วงความยาวคลื่น 450-700 nm ที่ pH 1.0 และ pH 4.5 เพื่อ จากสมการดังนี้ (Arusa Chaovanalikit, 2011)

$$A = (A_{\lambda_{\max}} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{\lambda_{\max}} - A_{700})_{pH4.5} \quad (1)$$

แทน A จาก (1) ใน (2)

$$TA \text{ (mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (2)$$

$A_{\lambda_{\max}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารสกัด

A_{700} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีความยาวคลื่น 700 nm

MW คือ มวลโมเลกุลของ anthocyanin คือ cyanidin-3-glucoside มีค่าประมาณ 449.2 g/mol

DF คือ อัตราการเจือจางของตัวอย่าง

1000 คือ ค่าคงที่เพื่อแปลงหน่วยเป็น mg/L

ϵ คือ molar extinction coefficient ของ anthocyanin คือ cyanidin-3-glucoside มีค่า 26,900 L·mol⁻¹·cm⁻¹

l คือ ความยาวคิวเวตต์

2.4 การขึ้นรูปฟิล์ม

2.4.1 นำตัวอย่าง CMC ที่มีสมบัติเหมาะสมที่สุดเป็นสารตั้งต้น โดยผสม CMC 10 g ในน้ำกลั่น 100 cm³ ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์

2.5.2 เทสารสกัดดอกอัญชันจาก 200 cm³ ผสมขึ้นรูปฟิล์ม เติม PVA 20 g คนพร้อมทั้งให้ความร้อนจน PVA ละลายหมด เทลงพิมพ์ขนาด 20 cm x 20 cm เกลี่ยให้มีความหนาสม่ำเสมอ นำเข้าอบ 60 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

2.5.3 ขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกตัน 1 ด้าน ความสูง 8 cm เส้นผ่านศูนย์กลางยาว 10 cm

2.6 ทดสอบการสลายตัวของฟิล์มในดินและการเปลี่ยนสีตามค่า pH ของฟิล์ม

2.6.1 วัดร้อยละการสลายตัวของฟิล์มด้วยการฝังกลบดิน โดยนำฟิล์มขึ้นมามีภาพถ่ายทุกวันเพื่อสังเกตการย่อยสลายจนถึงวันที่ฟิล์มย่อยสลายหมดและชั่งน้ำหนักหาอัตราการย่อยสลายของฟิล์มจากร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ดังสมการ

$$\%Weight \text{ loss} = \frac{(W_o - W_i)}{W_o} \times 100$$

W_o = น้ำหนักก่อนฝังดิน, W_i = น้ำหนักหลังฝังดิน

2.6.2 วัดช่วงการเปลี่ยนสีของฟิล์มที่ pH ต่าง ๆ โดยใช้ Colorimeter วัด 3 ตำแหน่งบนฟิล์มเพื่อหาค่าเฉลี่ยค่า L^* , a^* และ b^* จากเครื่อง Colorimeter

3. ผลการทดลอง

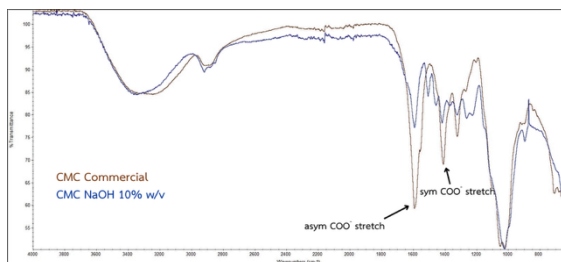
3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของ CMC

3.1.1 ค่าระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิล ของเซลลูโลสตามมาตรฐาน ASTM D1439-03 (รัตนกร ยวงสวัสดิ์, 2566)

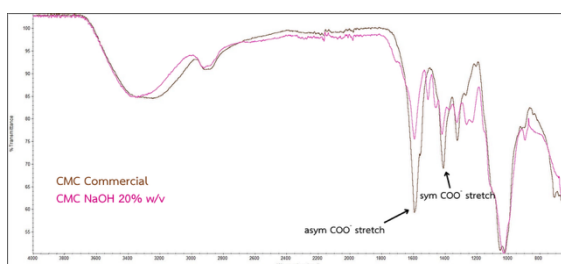
ตารางที่ 1 แสดงค่าระดับการแทนที่ (DS) ของ CMC ที่สังเคราะห์โดยสารละลาย NaOH ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นสารละลาย NaOH (%w/v)	ค่าระดับการแทนที่ (DS)
CMC เชิงพาณิชย์	0.47
10	0.34
20	0.43
30	0.35
40	0.29
50	0.22

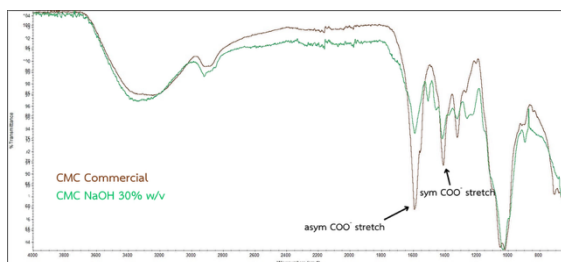
3.1.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของ CMC ด้วยเทคนิค FTIR



รูปที่ 1 กราฟสเปกตรัม FTIR ของ CMC เชิงพาณิชย์เปรียบเทียบกับ CMC ที่สังเคราะห์ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 10%



รูปที่ 2 กราฟสเปกตรัม FTIR ของ CMC เชิงพาณิชย์เปรียบเทียบกับ CMC ที่สังเคราะห์ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 20%



รูปที่ 3 กราฟสเปกตรัม FTIR ของ CMC เชิงพาณิชย์เปรียบเทียบกับ CMC ที่สังเคราะห์ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 30%

จากการหาค่าระดับการแทนที่ (DS) ตามมาตรฐาน ASTM D1439-03 และการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR พบว่า CMC ที่สังเคราะห์โดย NaOH ความเข้มข้น 20% w/v ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับ CMC เชิงพาณิชย์มากที่สุด โดยมีค่า DS สูงที่สุดเท่ากับ 0.43 (ใกล้เคียงกับสารมาตรฐานที่มีค่า 0.47) และปรากฏพีกสัญญาณของหมู่คาร์บอกซิเลตแอนไอออน ($-\text{COO}^-$)

บริเวณช่วงความยาวคลื่นประมาณ 1590 cm^{-1} และ 1410 cm^{-1} เด่นชัดที่สุด

ในส่วนของการสังเคราะห์โดย NaOH ความเข้มข้น 10% w/v มีค่า DS และความเข้มพีก FTIR ต่ำ เนื่องจากปริมาณต่างไม่เพียงพอสำหรับการเปลี่ยนโครงสร้างเซลลูโลส ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแทนที่ได้ อย่างจำกัด อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH เป็น 30%, 40% และ 50% w/v พบว่าแนวโน้มค่า DS และความชัดของพีก FTIR ลดลง เนื่องจากต่างที่เข้มข้นมากไปเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (Side reaction) ได้โซเดียมไกลโคเลต (Sodium glycolate) และส่งผลให้เกิดการย่อยสลายโครงสร้างพอลิเมอร์ (Degradation) (Rachtanapun et al., 2012)

3.2 ความเข้มข้นของแอนโทไซยานินที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารสกัดดอกอัญชัน

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} และ 700 นาโนเมตร ของสารสกัดดอกอัญชันความเข้มข้น 1, 3, 5% w/v ที่ pH 1.0 และ pH 4.5

ความเข้มข้นของสารสกัดดอกอัญชัน (% w/v)	pH 1.0		pH 4.5	
	ค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max}	ค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 700 nm.	ค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max}	ค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 700 nm.
1	0.488	0.007	0.216	0.006
3	0.587	0.005	0.300	0.006
5	0.764	0.010	0.393	0.010

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นของแอนโทไซยานินที่ความเข้มข้นของสารสกัดดอกอัญชัน คำนวณโดยวิธี pH differential (Arusa Chaovanalikit, 2011)

ความเข้มข้นของสารสกัดดอกอัญชัน (%w/v)	ความเข้มข้นของแอนโทไซยานินจากสารสกัด (mg/L)
1	18.1
3	22.8
5	24.8

สารสกัดดอกอัญชันที่ความเข้มข้น 5 % w/v มีค่าความเข้มข้นของแอนโทไซยานินมากที่สุด สารสกัดที่เข้มข้นจะพบทิศทางการเปลี่ยนแปลงสีเด่นชัดขึ้นกว่าสารสกัดที่เข้มข้นน้อยกว่า ซึ่งสามารถสังเกตเปลี่ยนสีตามค่า pH ที่เปลี่ยนไปได้อย่างชัดเจน ตามงานวิจัยของ Kuntapas Kungsuwan, et al (2014)

3.3 การสลายตัวของฟิล์มในดินและการเปลี่ยนสีตามค่า pH ของฟิล์ม

3.3.1 ร้อยละการสลายตัวของฟิล์มในดิน

ตารางที่ 4 น้ำหนักของฟิล์ม ร้อยละการสลายตัวของฟิล์มในดิน

วันที่	น้ำหนักฟิล์มหลังฝังดิน (กรัม)	ร้อยละการสลายตัวของฟิล์ม (%)
0	8.2	-
3	6.9	15.8
7	5.1	37.2
10	3.4	58.4
14	1.8	78.0
17	0.5	93.9

ฟิล์มสามารถย่อยสลายจากการฝังกลบในดินได้ร้อยละ 100 ในวันที่ 18

3.3.2 การเปลี่ยนสีตามค่า pH ของฟิล์ม

ตารางที่ 5 แสดงสีฟิล์มที่ pH ต่าง ๆ วัดด้วย Colorimeter

pH	L* (ค่าเฉลี่ย)	A* (ค่าเฉลี่ย)	B* (ค่าเฉลี่ย)	สีที่สังเกตได้
1	44.3	29.7	13.0	แดง
3	44.0	22.7	-3.3	แดงม่วง
5	53.0	20.0	-7.7	ม่วง
7	51.7	18.0	-8.0	น้ำเงิน
9	61.3	-22.0	-9.7	เขียวฟ้า
11	55.7	-22.7	50	เขียว
13	58.0	-32.0	54.5	เขียวเหลือง



ภาพที่ 4 สีของฟิล์มที่ pH 1.0, 3.0, 5.0 (ภาพบน จากซ้ายไปขวา), 7.0 (กลาง), 9.0 ,11.0 และ 13.0 (ภาพล่าง จากซ้ายไปขวา)

4. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการสังเคราะห์ CMC จากเส้นใยมะพร้าวในกระบวนการ Etherification ด้วย NaOH เข้มข้น 20% w/v เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่าระดับการแทนที่ (DS) สูงที่สุดเท่ากับ 0.43 และมีหมู่ฟังก์ชันจำเพาะของ CMC สอดคล้อง CMC เชิงพาณิชย์ ในขณะที่การใช้ความเข้มข้น NaOH ที่ต่ำหรือสูงเกินไปส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ลดลงตามลำดับ สารสกัดดอกอัญชันความเข้มข้น 5% w/v มีค่าความเข้มข้นของแอนโทไซยานินที่สูงสุดเท่ากับ 24.8 mg/L ฟิล์มถูกเพาะชำสามารถสลายตัวได้ 100% ด้วยการฝังกลบดินในเวลา 18 วันและสามารถสังเกตการเปลี่ยนสีของฟิล์มตามค่า pH ได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 5 ฟิล์มถูกเพาะชำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเปลี่ยนสีตามค่า pH ของดิน



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์อรรณพ ศรีไตรรัตน์ และ รศ.ดร.ญ.ธัญชนก ศิริรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและ อาจารย์ที่ปรึกษาพิเศษ ที่ได้ชี้แนะแนวทาง ให้คำปรึกษา และองค์ความรู้ที่สำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนานวัตกรรมมา โดยตลอด ขอขอบคุณสาขาเคมี โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ชลบุรี และคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ ตลอดจนนวัตกรรมฟิล์มถุงเพาะชำคาร์บอนซีเมติกส์ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- รัตนกร ยวงสวัสดิ์. (2566). การสังเคราะห์และสมบัติของฟิล์มผสมคาร์บอนซีเมติกส์เซลลูโลสที่ได้จาก ฟางข้าว. *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*. 13(37): 94-108.
- อรุณรัตน์ สัจญิตติกวินสกุล. (2563). สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์. สืบค้นจาก <http://pws.npru.ac.th/arunrat/data/files/ตำรา%20สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์.pdf>.
- อรุษา เชาวนลิขิต. (2558). การสกัดและวิธีการวิเคราะห์แอนโทไซยานิน (Extraction and analysis of anthocyanin). สืบค้นจาก <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/1826>.

- FAO. (2021). Assessment of agricultural plastics and their sustainability: A call for action. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 3(6): 50-56.
- Kungsuwan, et al. (2014). Effects of pH and anthocyanin concentration on color and antioxidant activity of Clitoria ternatea extract. *Food and Applied Bioscience Journal*. 2(1): 31-46.
- Rachtanapun, P., Yoksan, R., & Wonggala, M. (2012). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from agricultural wastes. *Journal of Applied Polymer Science*. 125(1): 400-407.
- Saifur Rahman, et al. (2021). Recent Developments of Carboxymethyl Cellulose. *Polymers*. 13(8): 13-45.
- Siriwong, N., et al. (2018). Natural pH indicator film based on polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose blended with butterfly pea flower extract. *Key Engineering Materials*. 777(1): 243-247.