



โครงการวิทยาศาสตร์

เรื่อง การศึกษาสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนิน

โดย

นาย เอกอมร มหาวรรณ

โรงเรียน บุญยวาทยวิทยาลัย

รายงานนี้เป็นส่วนประกอบของการนำเสนอโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์

เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ตามหลักสูตรของ สพฐ. ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สาขาฟิสิกส์

ในการประชุมวิชาการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 13

วันที่ 24 - 26 กรกฎาคม 2568

ณ โรงเรียนพริยาลัย จังหวัดแพร่



โครงการวิทยาศาสตร์

เรื่อง An Investigation into Limonin-Based Surface Coatings.

โดย

นายเอกอมร มหาวรรณ

ครูที่ปรึกษา

คุณครู ชนกกานต์ เนตรรัมย์

คุณครู นันทวัน โชติวนารวรรณ

รายงานนี้เป็นส่วนประกอบของการนำเสนอโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์

เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ตามหลักสูตรของ สพฐ. ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 สาขาฟิสิกส์

ในการประชุมวิชาการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 13

วันที่ 24 - 26 กรกฎาคม 2568

ณ โรงเรียนพิริยาลัย จังหวัดแพร่

Project	An Investigation into Limonin-Based Surface Coatings.
Subject	Physics
Authors	Akeamorn Mahawan
School	Bunyawatwittthayalai
Advisor	Ms. Chanokkarn Netrasamee Ms. Nantawan Chotiwanawan
Supervisor	-
Academic year	Semester 1, Academic Year 2025

Abstract

The growing need for environmentally friendly surface coatings has led to interest in natural substances that can replace synthetic chemicals. This study explores the use of limonin, a limonoid compound abundantly found in citrus fruits and commonly treated as waste from juice production. Due to its bioactive properties and molecular structure, limonin was investigated for its potential to act as a surface coating agent that reduces surface tension. The research was divided into three experiments. In the first experiment, limonin was tested at concentrations of 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% v/v, mixed with 60% ethanol and 5 grams of cellulose nanofiber, then applied to glass slides by submersion for 10 minutes and dried for one hour. Water droplets were then placed on the surface, and the diameter of the droplets was measured using Tracker software to determine the contact angle. The results showed that the 100% v/v concentration was the most effective in reducing surface tension. In the second experiment, the coating was tested on different surface types, including glass, plastic, cardboard, and cotton fabric. After dipping and drying, a droplet test was performed, and it was found that the coating worked best on low-absorbent materials such as glass and plastic. The third experiment assessed the durability of the coating by pouring 500 mL of water over the coated surfaces daily for seven days, followed by droplet analysis each day. The coatings with 0–60% v/v limonin gradually lost effectiveness, while those with 80–100% v/v maintained their surface tension-reducing ability throughout the testing period. From these results, the 100% v/v limonin coating showed the highest and most stable performance, making it a strong candidate for further development as a natural and eco-friendly alternative to conventional surface coatings.

Keyword : Limonin surface tension cellulose nanofiber

ชื่อโครงการ	การศึกษาสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนิน
ชื่อโครงการ	An Investigation into Limonin-Based Surface Coatings.
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ผู้จัดทำโครงการ	นาย เอกอมร มหาวรรณ
โรงเรียน	บุญวาทย์วิทยาลัย
ครูที่ปรึกษา	คุณครู ชนกกานต์ เนตรรัศมี คุณครู นันทวัน โชติวนาวรรณ
ครูที่ปรึกษาพิเศษ	-

บทคัดย่อ

ปัจจุบันความต้องการสารเคลือบพื้นผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกำลังเพิ่มขึ้น เพื่อลดการพึ่งพาสารเคมีสังเคราะห์ ผู้จัดทำจึงได้นำ Limonin ซึ่งเป็นสารประกอบลิโมนอยด์ที่พบได้มากในพืชตระกูลส้ม และมักเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้ มีคุณสมบัติทางชีวภาพและโครงสร้างที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนิน โดยมุ่งเน้นประสิทธิภาพในการปรับลดแรงดึงผิวของสารเคลือบ โดยมีการแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 ลิโมนินในความเข้มข้นต่างๆ นั่นคือ ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80, 100%v/v แล้วนำมาผสมกับเอทานอลความเข้มข้น 60%v/v และเซลลูโลสนาโนไฟเบอร์ 5 กรัม จากนั้นจึงนำแผ่นกระจกมาจุ่มไว้ในสารเคลือบที่เตรียมไว้ 10 นาที และนำไปตากให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อจากนั้นจึงนำมาหามุมวัดสัมผัสด้วยการหยดน้ำ 1 หยดลงบนแผ่นกระจก แล้วนำเข้าโปรแกรม Tracker เพื่อหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ พบว่า ที่ความเข้มข้น 100%v/v มีผลในการลดแรงดึงผิวของพื้นผิววัสดุมากที่สุด ในการทดลองที่ 2 ทดสอบสารเคลือบบนพื้นผิวต่างชนิดกัน ได้แก่ แผ่นกระจก, แผ่นพลาสติก กระจกฉลึง และผ้าฝ้าย โดยนำวัสดุไปจุ่มลงในสารเคลือบ 10 นาที และนำมาตากให้แห้งภายใน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาหามุมวัดสัมผัสทดสอบด้วยหยดน้ำ 1 หยดแล้วนำเข้าโปรแกรม Tracker เพื่อหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำได้ผลการทดลองว่า สารเคลือบพื้นผิวใช้ได้ดีกับพื้นผิวที่มีการดูดซับน้ำได้น้อยนั่นคือ แผ่นกระจก และ พลาสติก การทดลองที่ 3 ทดสอบความคงทนของสารเคลือบ โดยนำวัสดุที่ผ่านการเคลือบและตากให้แห้งแล้วนำมาปล่อยให้น้ำไหลผ่านจากบิวเรตต์ปริมาตร 500 ml จากนั้นนำไปหยดทดสอบด้วยหยดน้ำแล้วนำเข้าโปรแกรม Tracker เพื่อหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำเป็นเวลาทั้งสิ้น 7 วันได้ผลการทดลอง ที่ความเข้มข้น 0 ถึง 60%v/v มีประสิทธิภาพที่ลดลงจากเดิม ส่วนที่ความเข้มข้น 80 ถึง 100%v/v ยังคงมีประสิทธิภาพคงเดิม จากการตรวจสอบคุณภาพและความทนทาน พบว่าสารเคลือบที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสารเคลือบที่วางขายในท้องตลาด คือ สารเคลือบที่มีความเข้มข้นของลิโมนิน 100%v/v เป็นความเข้มข้นที่ดีที่สุดที่จะนำไปพัฒนาต่อเป็นสารเคลือบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

คำสำคัญ : ลิโมนิน แรงดึงผิว เซลลูโลสนาโนไฟเบอร์

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิทยาศาสตร์เรื่อง การศึกษาสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนิน ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจากท่านผู้อำนวยการโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย นายนิรันดร์ หมื่นสุข ที่ได้ให้การสนับสนุน และ ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่รวมถึงอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้การจัดทำโครงการนี้ ขอขอบพระคุณครูกลุ่มสาระ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้เอื้ออำนวยสถานที่ในการทดลอง ที่โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย ตลอดจนให้ ความรู้ คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทดลอง ขอขอบคุณ คุณครูชนกกานต์ เนตรรัศมีและคุณครูนันทวัน โชติวนาวรรณครูที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ คำปรึกษาแนะนำ วิธีการทำโครงการ และชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆในการจัดทำโครงการนี้ ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ทำให้โครงการนี้สามารถดำเนินงานไปได้อย่างราบรื่น จนประสบผลสำเร็จ ตลอดถึง บิดา มารดา ที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุนและเป็นกำลังใจ ในการจัดทำโครงการ รวมถึงเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการครั้งนี้จนประสบความสำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

7 กรกฎาคม 2568

สารบัญ

Abstract

บทคัดย่อ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

ที่มาและความสำคัญของโครงการ

วัตถุประสงค์

สมมติฐานการทดลอง

ตัวแปรการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษา

ประโยชน์ที่ได้รับ

บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติทางเคมีของเปลือกส้ม

ลิโมนีน

ไฮโดรโฟบิก

มุมสัมผัส

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

-ตอนที่ 1 การศึกษาลิโมนีนในความเข้มข้นต่างๆ

-ตอนที่ 2 การทดสอบสารเคลือบบนพื้นผิวต่างชนิดกัน

-ตอนที่ 3 ทดสอบการกักน้ำของสารเคลือบ

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

-ตอนที่ 1 การศึกษาลิโมนีนในความเข้มข้นต่างๆ

-ตอนที่ 2 การทดสอบสารเคลือบบนพื้นผิวต่างชนิดกัน

-ตอนที่ 3 การทดสอบการกักน้ำของสารเคลือบ

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

สารบัญรูปภาพ

รูปที่

รูปที่ 1 ภาพกราฟแสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละความเข้มข้นของลิโมนิน

รูปที่ 2 ภาพแสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในวัสดุที่แตกต่างกัน

รูปที่ 3 ภาพแสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำตลอดช่วงเวลา 7 วัน

สารบัญตาราง

ตารางที่

ตารางที่ 1 ตารางแสดงอัตราส่วนของสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนินในแต่ละสูตร

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละความเข้มข้นของลิโมนิน

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำในวัสดุที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำตลอดช่วงเวลา 7 วัน

บทที่1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันวัสดุเคลือบกันน้ำถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สิ่งทอ วัสดุก่อสร้าง และบรรจุภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม สารเคมีที่ใช้ในสารเคลือบกันน้ำส่วนใหญ่เป็นสารสังเคราะห์ที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ อีกทั้งยังมีต้นทุนการผลิตที่สูงในขณะเดียวกันเปลือกส้มเป็นของเสียทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและมักถูกทิ้งโดยไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าเปลือกส้มมีสารประกอบทางธรรมชาติเช่นฟลาโวนอยด์และเพคตินที่มีคุณสมบัติในการสร้างฟิล์มบางที่สามารถกันน้ำได้ ดังนั้น การนำเปลือกส้มมาสกัดและพัฒนาเป็นสารเคลือบกันน้ำจากธรรมชาติจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดขยะอินทรีย์และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

โครงการนี้มีความสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบพื้นผิวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย และเพิ่มโอกาสในการนำของเสียจากภาคเกษตรมาใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ เช่น การผลิตบรรจุภัณฑ์กันน้ำเสื้อผ้าที่มีคุณสมบัติกันน้ำหรือการเคลือบพื้นผิววัสดุต่างๆ เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

ดังนั้นทางผู้จัดทำได้เล็งเห็นประโยชน์จากสารธรรมชาติจากเปลือกส้มซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำมาเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกในผลิตภัณฑ์สารเคลือบกันน้ำ เพื่อลดมลพิษทางอากาศและรักษาสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้ลิโมนินเป็นทางเลือกจากธรรมชาติสำหรับพัฒนาสารเคลือบกันพื้นผิวที่ปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเคลือบที่มีลิโมนินกับสารเคลือบกันพื้นผิวจากท้องตลาด
3. เพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากเปลือกส้มให้เกิดมูลค่าเพิ่มนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดของเสีย และสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรสิ่งแวดล้อม

สมมติฐานการทดลอง

1. หากนำสารสารเคลือบกันน้ำจากลิโมนินมาใช้เคลือบพื้นผิววัสดุแล้วจะสามารถลดแรงตึงผิวได้ดี
2. พื้นผิวที่เคลือบด้วยสารเคลือบจะมีความสามารถในการลดแรงตึงผิวได้ดีกว่าพื้นผิวที่ไม่เคลือบ

ตัวแปรการศึกษา

ตอนที่ 1 การศึกษาลิโมนีนในความเข้มข้นต่างๆ

ตัวแปรต้น ความเข้มข้นของลิโมนีน

ตัวแปรตาม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ

ตัวแปรควบคุม ความเข้มข้นของเอทานอล ขนาดแผ่นกระจก ระยะห่างระหว่างบิวเรตต์กับแผ่นกระจก

ตอนที่ 2 การทดสอบสารเคลือบบนพื้นผิวต่างชนิดกัน

ตัวแปรต้น ชนิดของวัสดุ

ตัวแปรตาม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ

ตัวแปรควบคุม ขนาดของกระดาษลังและผ้าฝ้าย ขนาดแผ่นกระจกและพลาสติก เวลาที่ใช้ในการตากให้แห้ง ระยะห่างระหว่างบิวเรตต์กับวัสดุที่ต้องการทดสอบ

ตอนที่ 3 การทดสอบความคงทนของสารเคลือบ

ตัวแปรต้น สารเคลือบอัตราส่วนต่างๆ

ตัวแปรตาม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ

ตัวแปรควบคุม ขนาดแผ่นกระจก เวลาที่ใช้ในการตาก ปริมาตรหยด ระยะห่างระหว่างบิวเรตต์กับวัสดุที่ต้องการทดสอบ

ขอบเขตของการศึกษา

- 1.ความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้คือ60%v/v
- 2.การวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกล้อง stereo microscope แล้วนำภาพที่ได้ไปเข้าโปรแกรม Trackerเท่านั้น
- 3.การทดสอบบนแผ่นกระจก แผ่นพลาสติก แผ่นกระดาษลังและผ้าฝ้ายมีขนาด 2×2 cm เท่านั้น

ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.เพิ่มมูลค่าให้กับของเสียทางการเกษตรนำเปลือกส้มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ ลดปริมาณขยะอินทรีย์
- 2.เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสารเคลือบกันน้ำจากธรรมชาติสามารถใช้ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ที่อาจ เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ
- 3.สามารถใช้ในชีวิตประจำวันนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุต่างๆ เช่น กระดาษกันน้ำ ผ้าเคลือบกันน้ำ ไม่เคลือบป้องกันความชื้น เป็นต้น

บทที่2

เอกสารเกี่ยวข้อง

โครงการวิทยาศาสตร์เรื่อง การศึกษาสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนีน มีจุดประสงค์ คือเพื่อศึกษาและพัฒนาสารเคลือบกันน้ำจากลิโมนีนทดสอบหาความเข้มข้นที่เหมาะสมและพัฒนาให้เป็นสารเคลือบกันผิวที่สามารถนำไปใช้งานได้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนีนทดลองใช้สารเคลือบวัสดุต่างๆ เช่น กระดาษ และผ้าแล้ววัดผลว่ามีความสามารถในการกันน้ำได้ดีเพียงใดเพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากลิโมนีนให้เกิดมูลค่าเพิ่มนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ลดของเสียและสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมคณะผู้จัดทำโครงการได้ศึกษาเอกสารจากหนังสือและแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติทางเคมีของเปลือกส้ม
2. ลิโมนีน
3. มุมสัมผัส
4. ไฮโดรโฟบิก
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สารเคลือบกันน้ำ

เปลือกส้ม (Citrus peel) เป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมอาหารและการบริโภคที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบกันน้ำได้ เช่น ลิโมนีน (Limonene) เป็นสารในกลุ่ม เทอร์พีน (Terpene Hydrocarbon) ที่พบในน้ำมันหอมระเหยของเปลือกส้มมีสมบัติ ไม่ละลายน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งทำให้เกิดคุณสมบัติกันน้ำได้สามารถสร้างชั้นเคลือบที่ช่วยป้องกันการซึมผ่านของน้ำเพคติน (Pectin) เป็นสารโพลีแซ็กคาไรด์ที่พบในผนังเซลล์ของพืชมีความสามารถในการสร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ซึ่งสามารถกันน้ำได้ระดับหนึ่งมักใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ชีวภาพฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และสารต้านอนุมูลอิสระช่วยปกป้องโครงสร้างของสารเคลือบจากการเสื่อมสภาพเร็วมีฤทธิ์ช่วยป้องกันการเกิดเชื้อราหรือจุลินทรีย์ที่อาจทำให้สารเคลือบเสื่อมคุณภาพ

2. ลิโมนีน

สารลิโมนีน หรือ 4-isopropenyl-l-methylcyclohexene เป็นสารประกอบประเภทเทอร์พีนอยด์ ในกลุ่มของโมโนเทอร์พีน (monoterpene) เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องระเหยง่ายเมื่อได้รับความร้อนมีความไวไฟ แต่ไม่ละลายในน้ำเป็นของเหลวใสไม่มีสี หรือ อาจมีสีเหลืองอ่อนๆ มีกลิ่นเฉพาะตัว มีสูตรทางเคมี คือ $C_{10}H_{16}$ น้ำหนักโมเลกุล 136.24 g/mol มีจุดเดือด 175.5-176 °C จุดหลอมเหลวเท่ากับ -95.2°C มีจุดวาบไฟที่ >43°C โดยชื่อของลิโมนีน (Limonene) มาจากคำว่าเลมอน (Lemon) สำหรับประเภทของลิโมนีนนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ l-limonene ((R) -enantiomer) ซึ่งจะมีกลิ่นคล้ายน้ำมันสน และ d-limonene ((S) -enantiomer) ซึ่งจะมีกลิ่นหอมของส้ม โดยทั้งสองรูปแบบเป็นเงาของกันและกัน กล่าวคือ (mirror image) l-limonene เป็นไอโซเมอร์ที่หมุนระนาบของแสงโพลาไรซ์ทวนนาฬิกา แต่ d-limonene เป็นไอโซเมอร์ที่หมุนระนาบของแสงโพลาไรซ์ตามเข็มนาฬิกา แต่ทั้งนี้ พบในพืชตระกูลส้ม เช่น ส้ม มะนาว ส้มโอ มะกรูดและเกรฟ ฟรุ๊ต นอกจากนี้ยังในธรรมชาติจะพบในรูปแบบของ d-limonene มากกว่า l-limonene

3. มุมสัมผัส

มุมสัมผัสคือมุมระหว่างพื้นผิวของเหลวและพื้นผิวของแข็งในจุดที่ของเหลวทั้งสองมาบรรจบกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มุมระหว่าง เส้นสัมผัส พื้นผิว บน ส่วนต่อ ประสานระหว่างของเหลวกับไอและเส้นสัมผัสบนส่วนต่อประสานระหว่างของแข็งกับของเหลวในจุดที่ของเหลวทั้งสองตัดกัน มุมสัมผัสนี้ใช้วัดความสามารถในการเปียกของพื้นผิวของแข็งในของเหลว โดยใช้ สมการYoungระบบของแข็ง ของเหลว และไอที่อุณหภูมิและความดันที่กำหนดจะมีมุมสัมผัสสมดุลเฉพาะตัว อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมักพบ ปรากฏการณ์ไดนามิกของมุมสัมผัสแบบฮิสเทอรีซิส ซึ่งมีตั้งแต่มุมสัมผัสที่เลื่อนขึ้น (สูงสุด) ไปจนถึงมุมสัมผัสที่ถอยออก (ต่ำสุด) การสัมผัสสมดุลอยู่ภายในค่าเหล่านี้ และสามารถคำนวณจากค่าเหล่านี้ได้ มุมสัมผัสสมดุลสะท้อนถึงความแรงสัมพันธของปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของ ของเหลว ของแข็ง และไอมุมสัมผัสขึ้นอยู่กับตัวกลางเหนือพื้นผิวอิสระของของเหลวและลักษณะของของเหลวและของแข็งที่สัมผัสกันมุมสัมผัสไม่ขึ้นอยู่กับความเอียงของของแข็งที่สัมผัสกับพื้นผิวของเหลว มุมสัมผัสจะเปลี่ยนแปลงตามแรงตึงผิวและด้วยเหตุนี้จึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความบริสุทธิ์ของของเหลวด้วย

4. ไฮโดรโฟบิก

ปรากฏการณ์ไฮโดรโฟบิกคือแนวโน้มที่สังเกตได้ของ สาร ที่ไม่มีขั้วที่จะรวมตัวกันในสารละลายในน้ำและถูกแยกออกจากน้ำคำว่าไฮโดรโฟบิกหมายถึง กลัวน้ำ อย่างแท้จริงและอธิบายถึงการแยกน้ำและสารที่ไม่มีขั้ว ซึ่งเพิ่มเอนโทรปีของน้ำให้สูงสุดและลดพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำและโมเลกุลที่ไม่มีขั้วให้น้อยที่สุด ในแง่ของเทอร์โมไดนามิกส์ ปรากฏการณ์ไฮโดรโฟบิกคือการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของน้ำที่อยู่รอบ ๆ สารละลายการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระในเชิงบวกของตัวทำละลายโดยรอบบ่งชี้ถึงคุณสมบัติไฮโดรโฟบิก ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระในเชิงลบบ่งบอกถึงคุณสมบัติชอบน้ำปรากฏการณ์ไฮโดรโฟบิกมีหน้าที่ในการแยกส่วนผสมของน้ำมันและน้ำออกเป็นสองส่วน นอกจากนี้ยังมีผลต่อชีววิทยาด้วย เช่น การสร้าง เยื่อหุ้มเซลล์และถุง การพับตัวของโปรตีน การแทรกตัวของโปรตีนเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในสภาพแวดล้อมของลิพิดที่ไม่มีขั้ว และการรวมตัวของโปรตีนกับโมเลกุลขนาดเล็กดังนั้นปรากฏการณ์ไฮโดรโฟบิกจึงมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตสารที่พบเห็นปรากฏการณ์นี้เรียกว่าสารไฮโดรโฟบิก

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นางนภัสสร เพชรธารกุล นางเจนนิษา เพ็ญชูช นางศุมาลี กลิ่นพิมลงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาของบรรจุภัณฑ์ชีวภาพด้วยเพคตินจากเปลือกส้มโอเพื่อรักษาคุณภาพของ กาแฟผง โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณภาพของเพคตินจากเปลือกส้มโอ ศึกษาความสามารถของบรรจุภัณฑ์ชีวภาพของเพคตินจากเปลือกส้มโอที่เหมาะสมกับการเก็บรักษากาแฟผง ศึกษาความสามารถของ กาแฟผงระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชีวภาพของเพคตินจากเปลือกส้มโอ และการย่อยสลายของ บรรจุภัณฑ์ โดยท การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอ พบว่าเพคตินจากเปลือกส้มโอละลายในน้ำ ำได้ง่าย หากมี อุณหภูมิสูงจะช่วยให้ละลายตัวได้ดีขึ้นเช่นเดียวกับเพคตินมาตรฐาน มีปริมาณเมธอกซิล 4.65% อยู่ในช่วง เพคตินโรงงานอุตสาหกรรม มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 83.20% อยู่ในช่วงเพคตินห้องปฏิบัติการ และมี ปริมาณ Degree of Esterification 63.63% อยู่ในช่วงเพคตินโรงงานอุตสาหกรรม และน าเพคตินที่สกัดได้มา ขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ใช้ปริมาณเพคติน 20.16% แป้งมันส ำปะหลังสุก 39.92% และกลีเซอรอล 39.92%

ลักษณะทางกายภาพของซองบรรจุภัณฑ์เป็นแผ่นฟิล์มเรียบใส สามารถเก็บกาแฟผงได้เป็นระยะเวลา 1 เดือน สามารถคงรสชาติของกาแฟไว้ได้ หากเกิน 1 เดือน คุณภาพของบรรจุภัณฑ์จะลดลง การทดสอบการ ดูดความชื้นของบรรจุภัณฑ์ ซองบรรจุภัณฑ์จะมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่มากขึ้นเป็นลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง น้ำหนักจะเพิ่มขึ้น 5.83% นอกจากนี้ซองบรรจุภัณฑ์ยังสามารถย่อยสลายบนดินได้ง่ายกว่าซอง บรรจุภัณฑ์ทางการค้า ซึ่งซองที่ไม่บรรจุกาแฟจะย่อยสลายได้เร็วกว่าใช้เวลาย่อยสลายภายใน 10 วัน และซอง บรรจุภัณฑ์ที่บรรจุกาแฟผง สามารถย่อยสลายได้ภายใน 11 วัน และสำหรับซองเปล่าหากฝังในดินลึก 2 cm ทั้งซองที่บรรจุและไม่บรรจุกาแฟผงสามารถย่อยสลายได้ภายใน 4 วัน จากการทดลองการย่อยสลายในดินสามารถย่อยสลายได้ไวกว่าการย่อยสลายบนดินถึง 7 วัน บรรจุภัณฑ์ชีวภาพด้วยเพคตินจากเปลือกส้มโอ สามารถย่อย สลายได้ง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับซองบรรจุภัณฑ์ทางการค้าที่ย่อยสลายยากและก่อมลพิษใน ขั้นตอนการเผา กจัด สามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อบรรจุกาแฟเบื้องต้น โดยก จัดฟองออกจากบรรจุภัณฑ์ ประยุกต์เคลือบบรรจุภัณฑ์เพื่อไม่ให้อากาศเข้า และปรับปรุงเพิ่มส่วนผสมที่สามารถลดการดูดความชื้นเพื่อให้ บรรจุภัณฑ์สามารถรักษาคุณภาพของกาแฟผงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

โครงการวิทยาศาสตร์เรื่อง การศึกษาสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนีน มีจุดประสงค์ คือเพื่อศึกษาและพัฒนาสารเคลือบกันน้ำจากลิโมนีนทดสอบหาความเข้มข้นที่เหมาะสมและพัฒนาให้เป็นสารเคลือบกันผิวที่สามารถนำไปใช้งานได้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนีนทดลองใช้สารเคลือบบนวัสดุต่างๆ เช่น กระดาษ และผ้าแล้ววัดผลว่ามีความสามารถในการกันน้ำได้ดีเพียงใดเพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากลิโมนีนให้เกิดมูลค่าเพิ่มนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ลดของเสียและสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยมีวิธีการดำเนินการทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาความเข้มข้นของลิโมนีน

1.1 การเตรียมสารเคลือบพื้นผิว

วัสดุอุปกรณ์

- 1.ขวดสเปรย์
- 2.ช้อนตักสาร
- 3.ปิកเกอร์ขนาด 500 ml
- 4.ปิកเกอร์ขนาด 1000 ml
- 5.กระบอกตวงขนาด 100 ml
- 6.แท่งแก้วคนสาร
- 7.เครื่องชั่งมวล
- 8.ปิตเกอร์ขนาด 50 ml

สารเคมี

- 1.ลิโมนีน ความเข้มข้น100%
- 2.เอทานอล ความเข้มข้น60%

วิธีทดลอง

- 1.ตวงสารลิโมนีนในความเข้มข้น 20 40 60 80 100 %v/v
- 2.ตวงสารเอทานอลความเข้มข้น60%v/v
- 3.ตวงสารเซลลูลอสนาโนไฟเบอร์ 5กรัมจำนวน 6 ชุด
- 4.นำมาผสมดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนของสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนีนในแต่ละสูตร

สูตร	ความเข้มข้นลิโมนีน	เอทานอล	น้ำกลั่น	สารCMC
1	0 %v/v	40 ml	5 ml	2 g
2	20 %v/v	40 ml	5 ml	2 g
3	40 %v/v	40 ml	5 ml	2 g
4	60 %v/v	40 ml	5 ml	2 g
5	80 %v/v	40 ml	5 ml	2 g
6	100 %v/v	40 ml	5 ml	2 g

1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบพื้นผิว

วัสดุอุปกรณ์

- 1.ขวดสเปย์
- 2.แผ่นกระจก
- 3.ปิ๊กเกอร์ขนาด 500 ml
- 4.ปิ๊กเกอร์ขนาด 1000 ml
- 5.กระบอกตวงขนาด 100 ml
- 6.แท่งแก้วคนสาร
- 7.บิวเรทท์
- 8.เครื่องชั่งมวล
- 9.ปิเตอร์ขนาด 50 ml

สารเคมี

- 1.สารเคลือบพื้นผิวในอัตราส่วนต่างๆ

วิธีทดลอง

- 1.นำแผ่นกระจกไปแช่ในสารเคลือบเป็นเวลา 10 นาที
- 2.นำแผ่นกระจกออกไปตากให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3.หยดทดสอบหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำด้วยหยดน้ำจากบิวเรทท์
- 4.ถ่ายรูปผลที่ได้แล้วนำไปประมวลผลในโปรแกรมแท็กเกอร์

ตอนที่ 2 การทดสอบสารเคลือบบนพื้นผิวต่างชนิดกัน

วัสดุอุปกรณ์

- 1.ขวดสเปย์
- 2.แผ่นกระจกขนาด 2 x 2 cm
- 3.ปิ๊กเกอร์ขนาด 500 ml
- 4.ปิ๊กเกอร์ขนาด 1000 ml
- 5.กระบอกตวงขนาด 100 ml
- 6.บิวเรทท์
- 7.แผ่นพลาสติกขนาด 2 x 2 cm
- 8.ผ้าฝ้ายขนาด 2 x 2 cm
- 9.แผ่นกระดาษลั่งขนาด 2 x 2 cm

สารเคมี

- 1.สารเคลือบพื้นผิวในอัตราส่วนต่างๆ

วิธีทดลอง

- 1.นำวัสดุต่างๆไปแช่ในสารเคลือบเป็นเวลา 10 นาที
- 2.นำแผ่นกระจกออกไปตากให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3.หยดทดสอบหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำด้วยหยดน้ำจากบิวเรทท์
- 4.ถ่ายรูปผลที่ได้แล้วนำไปประมวลผลในโปรแกรมแท็กเกอร์

ตอนที่ 3 การทดสอบความคงทนของสารเคลือบ

วัสดุอุปกรณ์

1. ขวดสเปย์
2. แผ่นกระจกขนาด 2 x 2 cm
3. ปีกเกอร์ขนาด 500 ml
4. ปีกเกอร์ขนาด 1000 ml
5. กระบอกตวงขนาด 100 ml
6. บิวเรตต์

สารเคมี

1. สารเคลือบพื้นผิวในอัตราส่วนต่างๆ

วิธีทดลอง

1. นำแผ่นกระจกไปแช่ในสารเคลือบเป็นเวลา 10 นาที
2. นำแผ่นกระจกออกไปตากให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำแผ่นกระจกไปปล่อยให้แห้งผ่านจากบิวเรตต์ 500 ml หลังจากนั้นนำไปจากให้แห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. หยดทดสอบหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำด้วยหยดน้ำจากบิวเรตต์
5. ถ่ายรูปผลที่ได้แล้วนำเข้าโปรแกรมประมวลผลในโปรแกรมแท็กเกอร์
6. ทำขั้นตอนที่ 3 – 5 ซ้ำรวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 7 วัน

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

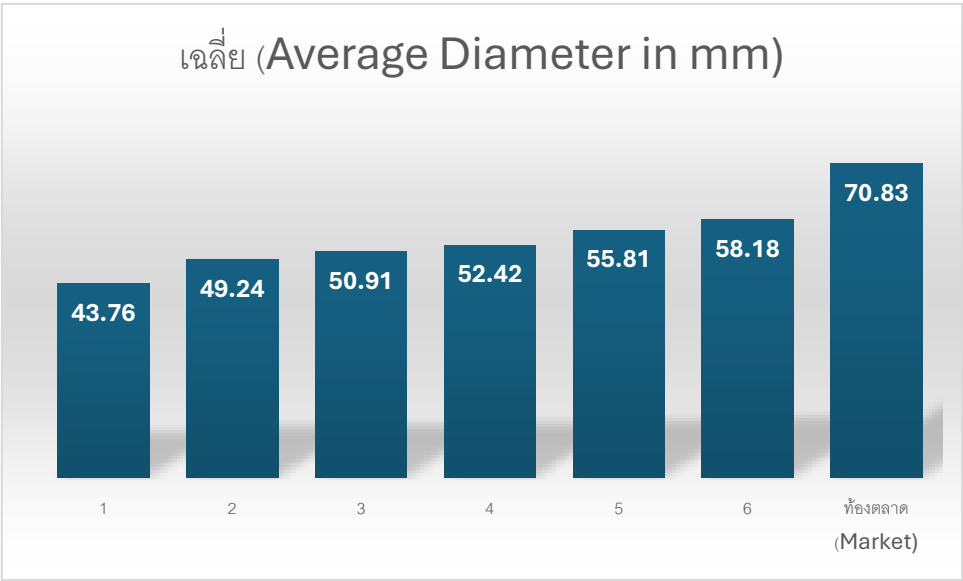
โครงการวิทยาศาสตร์เรื่อง การศึกษาสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนิน มีจุดประสงค์ คือเพื่อศึกษาและพัฒนาสารเคลือบกันน้ำจากลิโมนินทดสอบหาความเข้มข้นที่เหมาะสมและพัฒนาให้เป็นสารเคลือบกันผิวที่สามารถนำไปใช้งานได้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนินทดลองใช้สารเคลือบบนวัสดุต่างๆ เช่น กระຈก และผ้าแล้ววัดผลว่ามีความสามารถในการกันน้ำได้ดีเพียงใดเพื่อพัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากลิโมนินให้เกิดมูลค่าเพิ่มนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ลดของเสียและสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยมีผลการทดลอง ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาความเข้มข้นของลิโมนิน

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละความเข้มข้นของลิโมนิน

สูตร	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำบนแผ่นกระຈก(mm)			
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
1	42.23	45.62	43.44	43.76
2	49.22	48.94	49.55	49.24
3	50.88	51.21	50.73	50.91
4	52.15	52.76	52.34	52.42
5	55.55	56.10	55.78	55.81
6	58.22	57.88	58.44	58.18
ห้องตลาด	70.49	71.24	70.76	70.83

กราฟที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละความเข้มข้นของลิโมนิน



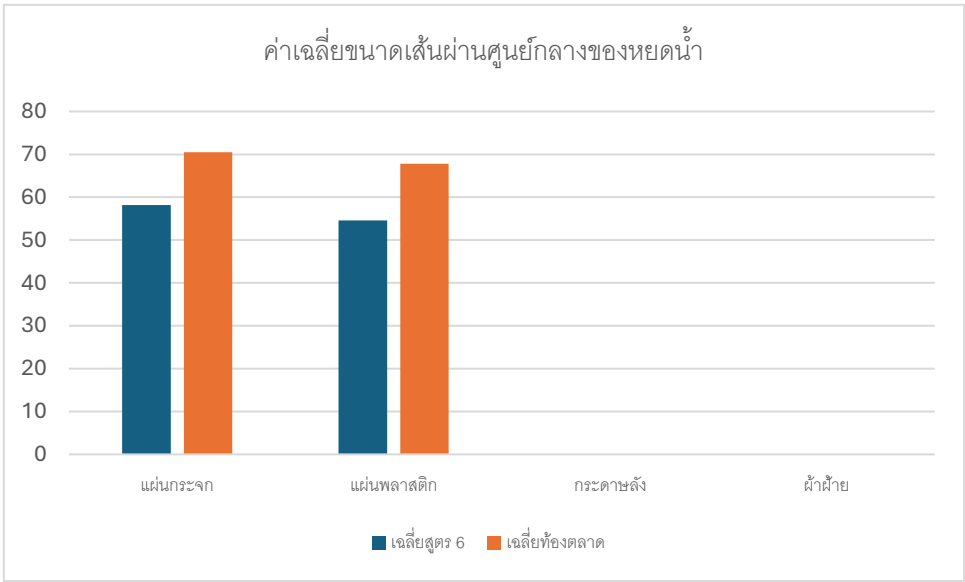
จากการทดลองวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำบนแผ่นกระจกของสูตรต่างๆ และสูตรทางการตลาด พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการลดแรงตึงผิว กล่าวคือ ยิ่งหยดน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่และแบนราบมากเท่าใด แสดงว่าสารนั้นมีความสามารถในการลดแรงตึงผิวของน้ำและช่วยให้การแผ่กระจายตัวของน้ำบนพื้นผิวได้ดีขึ้นเท่านั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสูตรทางการตลาดมีค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำสูงที่สุดที่ 70.83 mm ซึ่งสูงกว่าทุกสูตรที่พัฒนาขึ้น (สูตร 1-6 มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 43.76 mm ถึง 58.18 mm) ดังนั้นหากพิจารณาในแง่ของการลดแรงตึงผิวและการส่งเสริมการแผ่กระจายตัวของน้ำบนพื้นผิว สูตรทางจากท้องตลาดถือว่ามีประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องจากสามารถทำให้หยดน้ำแผ่ขยายออกไปได้กว้างที่สุดบนแผ่นกระจก แต่ก็แสดงให้เห็นว่าลิโมนีนก็มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสารเคลือบกันน้ำที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

ตอนที่ 2 การทดสอบสารเคลือบบนพื้นผิวต่างชนิดกัน

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำในวัสดุที่แตกต่างกัน

ชนิดของวัสดุ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ(mm)							
	สูตร6	ท้องตลาด	สูตร6	ท้องตลาด	สูตร6	ท้องตลาด	เฉลี่ยสูตร6	เฉลี่ยท้องตลาด
แผ่นกระจก	58.84	69.82	57.41	70.24	58.26	71.49	58.17	70.51
แผ่นพลาสติก	55.11	68.53	53.42	68.34	55.27	66.46	54.60	67.78
กระดาส์ลัง								
ผ้าฝ้าย								

กราฟที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางในวัสดุที่แตกต่างกัน



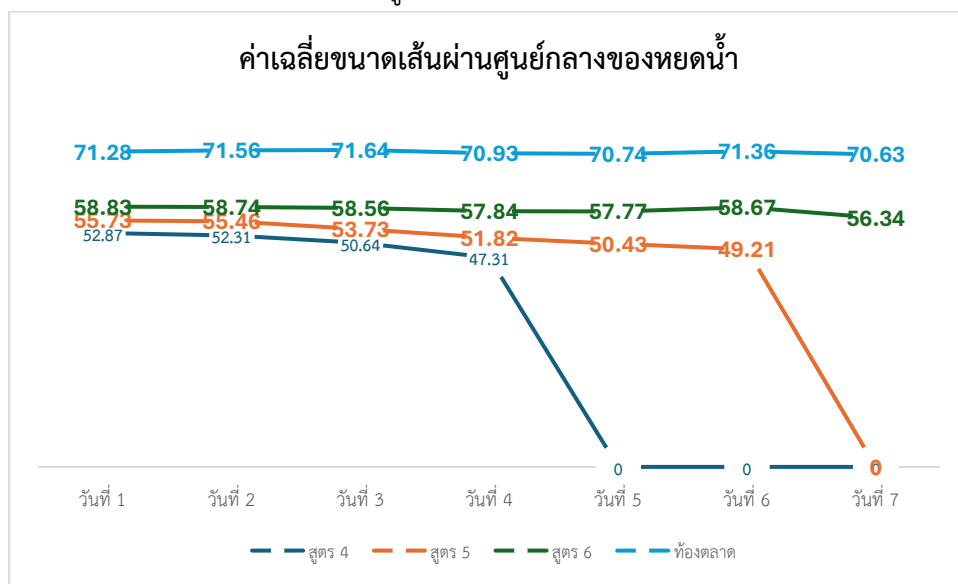
จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าสารเคลือบจะสามารถแสดงประสิทธิภาพได้ดีต่อเมื่อวัสดุที่นำมาเคลือบมีคุณสมบัติไม่ดูดซับน้ำทำสังเกตได้จากค่าที่ได้จากผ้าฝ้ายและกระดาส์ลังที่ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากเมื่อหยดทดสอบก็เกิดการซึมของน้ำเลยไม่สามารถที่จะวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ แต่จากค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำบนแผ่นกระจกและแผ่นพลาสติกก็ยังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดแรงตึงผิวของสารเคลือบพื้นผิวอย่างไรก็ตามสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนีนสูตรที่6 ก็ยังแสดงถึงประสิทธิภาพที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับสารเคลือบพื้นผิวในท้องตลาด

ตอนที่ 3 การทดสอบความคงทนของสารเคลือบ

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำตลอดช่วงเวลา 7 วัน

สูตร	วัน/ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ(mm)						
	วันที่1	วันที่2	วันที่3	วันที่4	วันที่5	วันที่6	วันที่7
สูตร4	52.87	52.31	50.64	47.31			
สูตร5	55.73	55.46	53.73	51.82	50.43	49.21	
สูตร6	58.83	58.74	58.56	57.84	57.77	58.67	56.34
ท้องตลาด	71.28	71.56	71.64	70.93	70.74	71.36	70.63

กราฟที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำตลอดช่วงเวลา 7 วัน



ผลการทดลองพบว่าสูตร 4 และ สูตร 5 แสดงแนวโน้มที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำลดลงอย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลาการสังเกตหากพิจารณาว่าขนาดหยดน้ำที่เล็กลงคือคุณสมบัติการไล่น้ำที่ดีขึ้น นี่อาจบ่งชี้ถึงการที่สารในสูตรเหล่านี้มีการปรับสภาพหรือเช็ดตัวจนมีประสิทธิภาพการไล่น้ำที่ "แย่ลง" เมื่อเวลาผ่านไป สูตร 6 แสดงความคงตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหยดน้ำที่ ค่อนข้างสม่ำเสมอ ตลอด 7 วัน ซึ่งบ่งบอกถึงความทนทานและเสถียรภาพของประสิทธิภาพการไล่น้ำบนพื้นผิวสูตรท้องตลาด มีความคงตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหยดน้ำที่ ยอดเยี่ยมและสม่ำเสมอที่สุด ตลอด 7 วัน แสดงถึงความเสถียรของความสามารถในการลดแรงตึงผิวและการกระจายตัวของน้ำซึ่งแสดงให้เห็นถึงความคงทนของสารเคลือบจากลิโมนีนที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงสารเคลือบในท้องตลาด

บทที่ 5

สรุปผลและขอเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การจัดทำโครงงานวิทยาศาสตร์เรื่อง การศึกษาสารเคลือบพื้นผิวจากลิโมนินได้ผลการทดลองว่า จากผลรวมของทั้งสามการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ลิโมนินมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในสารเคลือบกันน้ำได้จริง และเมื่อใช้ในความเข้มข้นที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสารเคลือบได้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากท้องตลาดอย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์จากท้องตลาดยังคงมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งอาจเป็นเพราะการควบคุมคุณภาพของสารเคมี และเทคนิคการผลิตที่มีความแม่นยำกว่า

ข้อเสนอแนะ

- 1.สามารถลองสกัดลิโมนินจากเปลือกส้มแล้วนำมาทำสารเคลือบกันน้ำได้
- 2.ใช้เครื่องมือที่ได้มาตรฐานมากกว่า
- 3.สามารถนำไปทำแบบ WAX ได้

เอกสารอ้างอิง

นภััสสร เพชรธารงกุล เจนนินษา เพ็องขุนูช และศุมาลี กลิ่นพิมล. 2564. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพด้วยเพคตินจากเปลือกส้มโอเพื่อรักษาคุณภาพของกาแฟผง.(ออนไลน์).เข้าถึงได้จาก:

https://sci.rmutp.ac.th/web2558/wpcontent/uploads/2022/01/6.%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%A2_%E0%B8%99%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%AA%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%8A%E0%B8%A3%E0%B8%98%E0%B8%B3%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B8%E0%B8%A5.pdf (วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2568).

Healthline.com. 2566. What Is Limonene? Everything You Need to Know. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก:
<https://www.healthline.com/nutrition/d-limonene> (วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2568).

kruss-scientific.com.2567.Contactangle.(ออนไลน์).เข้าถึงได้จาก:<https://www.kruss-scientific.com/en/know-how/glossary/contact-angle> (วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2568).

Sciencedirect.com.2566.HydrophobicGroup.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydrophobic-group> (วันที่สืบค้น 3 มีนาคม 2568).

ภาคผนวก

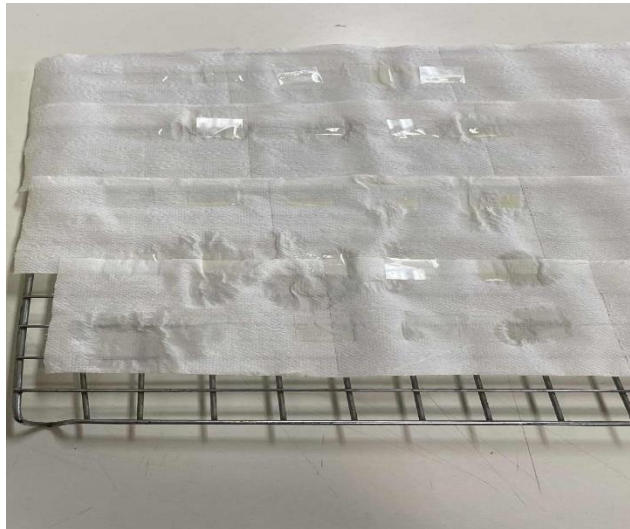
ตอนที่1 การศึกษาลิโมนีนในความเข้มข้นต่างๆ



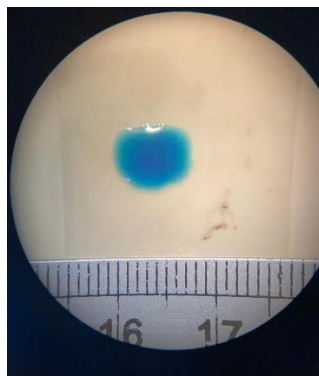
ภาพสารเคลือบในแต่ละสูตรและสารเคลือบในท้องตลาด



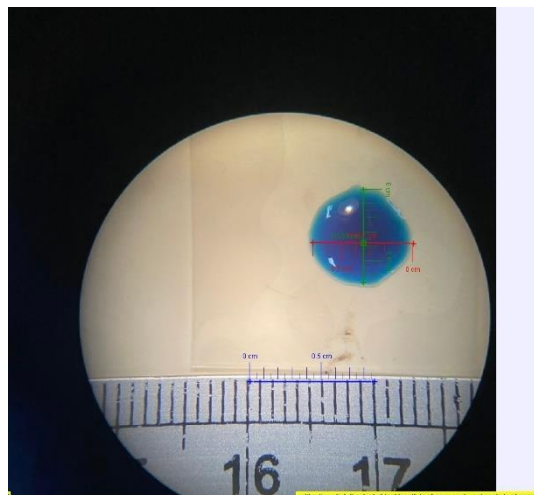
ภาพการตั้งบิวเรตที่ไว้หยดทดสอบ



ภาพหลังจากการแช่แผ่นกระจกลงในสารเคลือบแล้วนำมาตากให้แห้งใน 1 ชั่วโมง



ภาพที่นำเข้าไปประมวลผลในโปรแกรมแท็กเกอร์



ภาพจากโปรแกรมTracker