

การห่อหุ้มด้วยพอลิแลคติกแอซิดไมโครแคปซูลช่วยยืดระยะเวลาออกฤทธิ์ ในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากสมุนไพรไทย

Poly(lactic acid) Microencapsulation Prolongs the Mosquito Repellent Activity of Essential Oils from Thai Herbs

ธารา มานะงาน และ สรinya ชวพันธ์*

Thara Manangan and Sarinya Shawaphun*

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 10800 ประเทศไทย
Department of Industrial Chemistry, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 10800,
Thailand

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ต้องการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรไทย 5 ชนิด ที่มีฤทธิ์ในการไล่ยุง ได้แก่ ตะไคร้ (*Cymbopogon winterianus*), มะกรูด (*Citrus hystrix*), ขมิ้นชัน (*Curcuma longa*), ข่า (*Alpinia galangal* L.) และ ใบแมงลัก (*Ocimum americanum*) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบสำหรับสิ่งทอ ในการเตรียม PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยจะใช้เทคนิค emulsification-solvent evaporation และใช้ พอลิ(ไวนิลแอลกอฮอล์-โค-ไวนิลอะซิเตต) (P(VA-co-VAc)) เป็นอิมัลซิไฟเออร์รวมทั้งเป็นสารช่วยในการยึดเกาะระหว่างไมโครแคปซูลของ PLA กับสิ่งทอ หลังจากวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยพบว่าพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดที่เตรียมได้มีลักษณะกลมและมีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 5.79 ± 1.73 ถึง 6.58 ± 2.27 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า PLA ไมโครแคปซูลที่ไม่ได้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยเล็กน้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.02 ± 1.25 ไมโครเมตร จากการหาเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้ม น้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดด้วย PLA ไมโครแคปซูล พบว่าอยู่ในช่วง 30–40% โดย PLA ไมโครแคปซูลสามารถห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ตะไคร้ ขมิ้น ใบแมงลัก ข่า ตามลำดับ และเมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการไล่ยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti*) โดยใช้ชุดทดสอบ Excito-Repellency เทียบกับผลิตภัณฑ์ไล่ยุงที่มีขายในเชิงพาณิชย์ N,N-diethyl-m-toluamide (DEET) พบว่าในช่วงต้นประสิทธิภาพในการไล่ยุงลายบ้านของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มในไมโครแคปซูลต่ำกว่า DEET อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการไล่ยุงของ PLA ไมโครแคปซูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนใกล้เคียงหรือสูงกว่า DEET เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ตรงกันข้ามกับน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิด แสดงประสิทธิภาพในการไล่ยุงลายบ้านได้ดีใกล้เคียงกับ DEET ในช่วงต้น แต่มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากเวลาผ่านไป 20 นาที ในขณะที่ DEET ประสิทธิภาพในการไล่ยุงลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สรุปได้ว่า สารเคลือบ PLA ไมโครแคปซูลสามารถควบคุมการปลดปล่อยของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิด ดังนั้นจึงช่วยยืดประสิทธิภาพในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยให้อยู่ได้นานขึ้น

คำสำคัญ: การไล่ยุง, น้ำมันหอมระเหย, พอลิแลคติกแอซิด, ไมโครแคปซูล, การห่อหุ้ม

ABSTRACT

In this research, biodegradable poly(lactic acid) (PLA) was used to encapsulate 5 traditional Thai herb essential oils including lemon grass (*Cymbopogon winterianus*), bergamot (*Citrus hystrix*), turmeric (*Curcuma longa*), galangal (*Alpinia galangal* L.) and basil (*Ocimum americanum*) to be used as a coating for textiles. Essential oils encapsulated PLA microcapsules was prepared via the emulsification-solvent evaporation method using Poly(vinyl alcohol-co-vinyl acetate) (P(VA-co-VAc)) as an emulsifier and also a binding agent between the PLA microcapsules and textiles. The particle size analysis of the essential oils encapsulated PLA microcapsules showed that the obtained microcapsules were round with the same particle sizes for all 5 essential oils around 5.79 ± 1.73 to 6.58 ± 2.27 μm slightly larger than the size of the empty PLA microcapsules without essential oils, 5.02 ± 1.25 μm . Determination of the percentages of encapsulation of all 5 essential oils within PLA microcapsules to be in of 30–40%, where PLA microcapsule can encapsulate bergamot essential oil the best, followed by lemon grass, turmeric, basil and galangal, respectively. When testing the mosquito (*Aedes aegypti*) repellent efficacy using an Excito-Repellency test kit versus commercial repellent, N, N-diethyl-m-toluamide (DEET), it was found that in the first 20 min the efficacy of PLA microcapsules encapsulating essential oils were lower than DEET and all essential oils. However, the mosquito repellent efficiency of PLA microcapsules tended to increase gradually until it was close to or higher than DEET and all essential oils after 60 minutes. In contrast, all 5 species of essential oils showed similar

repellent efficiency to DEET in the early stages but tended to decrease sharply after 20 min. While the DEET's mosquito repellent efficiency was slightly reduced. It can be concluded that PLA microcapsule can regulate the release of all 5 essential oils, thus prolonging the efficiency of repelling mosquitoes of all essential oils for longer.

KEYWORDS: mosquito repellent, essential oils, polylactic acid, microcapsule, encapsulation

*Corresponding Author: sarinya.s@sci.kmutnb.ac.th

Received: 25/06/2022; Revised: 21/02/2023; Accepted: 10/04/2023

1. บทนำ

ยุงเป็นพาหะนำโรคที่ร้ายแรงหลายชนิด อาทิเช่น โรคไข้เลือดออก โรคเท้าช้าง โรคมาลาเรีย โรคไข้เหลือง และ โรคไข้สมองอักเสบ (Govindarajan *et al.*, 2011) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคไข้เลือดออกจัดว่าเป็นโรคติดต่อที่สำคัญโดยมียุงลาย (*Aedes aegypti*) เป็นพาหะ เนื่องจากเป็นโรคที่ส่งผลกระทบต่อระบบสาธารณสุขทั่วโลกโดยพบว่าประชากรประมาณ 2.5 ล้านคนใน 100 ประเทศเสี่ยงต่อการเป็นโรคนี้นี้เนื่องจากอาศัยในบริเวณที่มียุงลายเป็นพาหะ (Borah *et al.*, 2010) จากรายงานพบว่าโรคไข้เลือดออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ซึ่งจำนวนคนที่ติดเชื้อที่ถูกรายงานจากองค์การอนามัยโลกระหว่าง ค.ศ. 2000–2007 เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าจาก 10 ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแปซิฟิกตะวันตก (WHO, 2009) ดังนั้นการควบคุมปริมาณของยุงและการป้องกันตนเองจากการถูกยุงกัดจึงเป็นมาตรการที่สำคัญในการควบคุมโรคที่เกิดจากยุง แม้ว่าในปัจจุบันจะมีผลิตภัณฑ์ไล่ยุงที่มีส่วนผสมของสารเคมีสังเคราะห์จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีกรายงานว่าสารสังเคราะห์เหล่านี้อาจไม่ปลอดภัยต่อมนุษย์ โดยเฉพาะเด็กเล็ก เนื่องจากสารเหล่านี้อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ผื่นแดง หรือการแพ้ (Das *et al.*, 2003) หนึ่งในผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่นิยมใช้ป้องกันการกัดของยุงคือ *N, N*-diethyl-*m*-toluamide หรือที่รู้จักกันดีในชื่อ DEET เนื่องจากให้ระยะเวลาในการป้องกันยุงกัดที่ยาวนานและสามารถใช้ได้กับยุงหลากหลายสายพันธุ์ (Mark *et al.*, 2002) แต่อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยพบว่า DEET มีความเป็นพิษต่อมนุษย์โดยพบผลข้างเคียงตั้งแต่ระดับน้อยไปจนถึงมาก โดย DEET สามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออ่อน ดังนั้น DEET จึงไม่ปลอดภัยที่จะใช้ในเด็ก นอกจากนี้ DEET ยังอาจส่งผลให้เกิดโรคสมองฝ่ออีกด้วย (Briassoulis *et al.*, 2001) ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่ได้ตระหนักถึงความไม่ปลอดภัยของ

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสารเคมีสังเคราะห์มากขึ้น ดังนั้นจึงมีผู้ผลิตบางรายหันมาใช้สารธรรมชาติมากขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันยุงกัด ตัวอย่างของสารธรรมชาติที่มีฤทธิ์ฆ่าแมลงหรือไล่แมลง ได้แก่ สารสกัดและน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากพืช จากงานวิจัยของ Trongtokit *et al.* (2005) พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระยะเวลาป้องกันยุงกัดของน้ำมันหอมระเหยจากพืชไทย 38 ชนิดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารไล่ยุง การออกแบบการทดลอง และสายพันธุ์ของยุง นอกจากนี้งานวิจัยของ Tawatsin *et al.* (2001) พบว่าน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากขมิ้นชัน (*Curcuma longa*), มะกรูด (*Citrus hystrix*), ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus*) และ ใบแมงลัก (*Ocimum americanum*) ที่ทาบนผิวหนังแสดงฤทธิ์ในการไล่ยุงอย่างมีประสิทธิภาพต่อยุง 3 สายพันธุ์ได้แก่ ยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti*), ยุงก้นปล่อง (*Anopheles dirus*) และยุงรำคาญ (*Culex quinquefasciatus*) พบว่าน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการไล่ยุงได้ดีเทียบเท่า DEET แต่เนื่องจากความสามารถในการระเหยที่รวดเร็วของน้ำมันหอมระเหยจึงทำให้ระยะเวลาในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยไม่ยาวนานเหมือน DEET ซึ่งสามารถป้องกันยุงกัดได้เป็นเวลานานถึง 6 ชั่วโมง (Barnard & Xue, 2004) ดังนั้นการยืดระยะเวลาในการระเหยของน้ำมันหอมระเหยออกไปจะช่วยทำให้สารไล่ยุงที่ผลิตจากน้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการไล่ยุงที่ยาวนานขึ้น สารประกอบ monoterpenoid เป็นสารกลุ่มสำคัญในน้ำมันหอมระเหยซึ่งไปรบกวนระบบ octopaminergic ของแมลงซึ่งเป็นเป้าหมายของน้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์ไล่แมลง สัตว์ที่มีกระดูกสันหลังอย่างเช่นมนุษย์ไม่มีตัวรับ octopamine ดังนั้นน้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์ไล่แมลงจึงค่อนข้างปลอดภัยต่อมนุษย์ (Souza *et al.*, 2022) นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยสามารถใส่ลงในสิ่งทอเพื่อผลิตสิ่งทอที่มีสมบัติพิเศษ อย่างเช่น ไล่แมลง ดันเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น (Soroh *et al.*, 2021) อย่างไรก็ตาม น้ำมันหอมระเหยมักจะระเหยง่ายและไวต่อแสงและ

ออกซิเจน การประยุกต์ใช้น้ำมันหอมระเหยบนสิ่งทอที่ประสบความสำเร็จ ต้องการสูตรที่ปกป้องน้ำมันหอมระเหยจากการระเหยและเสื่อมสภาพ รวมทั้งควบคุมอัตราการปลดปล่อย (Volic *et al.*, 2020) การใช้พอลิเมอร์ไมโครแคปซูลมาห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยก็เป็นทางเลือกหนึ่งในหลายวิธีที่ช่วยยืดระยะเวลาการระเหยของน้ำมันหอมระเหยออกไปได้ โดยพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลเป็นระบบซึ่งประกอบด้วยวัสดุแกนกลางที่มีสารออกฤทธิ์และวัสดุห่อหุ้มที่ทำจากพอลิเมอร์ธรรมชาติหรือพอลิเมอร์สังเคราะห์เป็นวิภาคภายนอก (Bakry *et al.*, 2016) การปรับเปลี่ยนวัสดุแกนกลางและวัสดุห่อหุ้มจะทำให้ได้ขนาดอนุภาค ความหนาของวัสดุห่อหุ้มและความสามารถในการแพร่ผ่านของสารออกฤทธิ์ที่แตกต่างกันจึงทำให้สามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยของสารที่ออกฤทธิ์ได้ (Martins *et al.*, 2014) ตัวอย่างเช่น การปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ที่มีฤทธิ์ไล่แมลงได้ถูกควบคุมโดยการแพร่และการระเหยออกจากพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลหรือการแตกออกของพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลหลังจากการทาบนผิวหนังทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุห่อหุ้ม (Tavares *et al.*, 2018) ช่องว่างที่อยู่ภายในพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลมีมากเพียงพอที่จะกักเก็บสารไล่แมลงที่ระเหยง่าย ความหนาของวัสดุห่อหุ้มที่สม่ำเสมอจะช่วยควบคุมการแพร่ของสารไล่แมลง ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการปลดปล่อยและทำให้สารไล่แมลงออกฤทธิ์ได้นานขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สารไล่แมลงมีความเสถียรต่อสภาวะทางเคมี ทางกายภาพและทางกล มีงานวิจัยหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลเมื่ออยู่ในสูตรที่เหมาะสมจะช่วยลดการระเหยของสารไล่แมลงที่ระเหยง่ายได้ ดังนั้นจึงทำให้สารไล่แมลงออกฤทธิ์ได้ยาวนานขึ้น (Karr *et al.*, 2012) จากงานวิจัยของ Miro Specos *et al.* (2017) พบว่าสารไล่แมลงอย่างน้ำมันตะไคร้หอม Citriodiol® ที่ถูกห่อหุ้มในพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลสามารถควบคุมการปลดปล่อยของสารไล่แมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยออกฤทธิ์ไล่ยุงลายบ้าน *Aedes aegypti* ได้เป็นเวลามากกว่า 30 วัน นอกจากนี้พอลิเมอร์ไมโครแคปซูลยังแสดงการปลดปล่อยอย่างช้า ๆ ของ DEET จึงทำให้ออกฤทธิ์ได้เป็นระยะเวลานานขึ้นและยังช่วยลดการซึมผ่านผิวหนังอีกด้วย พอลิแลคติก แอซิด (Polylactic acid, PLA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่น่าสนใจเนื่องจาก PLA มีความไม่ชอบน้ำซึ่งสามารถเข้ากันได้กับน้ำมันหอมระเหยซึ่งเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำเหมือนกัน นอกจากนี้ PLA ยังมีความเสถียรสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆได้ดี อาทิเช่น ความร้อน แสง ออกซิเจน

กรด หรือ เบส เป็นต้น นอกจากนี้สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และสามารถเข้ากันได้ทางชีวภาพ ดังนั้น PLA จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยเพื่อประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบบนสิ่งทอ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการเคลือบสิ่งทอในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีกัญนิยมใช้กระบวนการ impregnation ซึ่งก็คือการนำผ้าไปทำให้ชุ่มในสารเคลือบ จากนั้นต้องนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้ง (Rodrigues *et al.*, 2019) หากต้องการพัฒนา PLA ไมโครแคปซูลไปเป็นสารเคลือบ PLA ไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ควรอยู่ในรูปสารแขวนลอยในน้ำก็จะทำให้สะดวกแก่การนำไปเคลือบบนสิ่งทอ โดยวิธีการเตรียม PLA ไมโครแคปซูลให้อยู่ในรูปสารแขวนลอยในน้ำมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมคือ วิธี coacervation เนื่องจากให้เปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มสูง แต่ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธี emulsification-solvent evaporation แม้ว่าวิธีนี้จะให้เปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มที่ต่ำเมื่อเทียบกับวิธี coacervation และอาจมีตัวทำลายหลงเหลืออยู่บ้าง (Sousa *et al.*, 2022) แต่เนื่องจากวิธีนี้สามารถปรับใช้กับสารลดแรงตึงผิวได้หลากหลายชนิดมากกว่าวิธี coacervation รวมทั้งในงานวิจัยนี้ยังต้องการเตรียมสารแขวนลอย PLA ไมโครแคปซูลที่สามารถไปยึดเกาะกับสิ่งทอได้ดี ดังนั้นจึงเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่เตรียมขึ้นเองเพื่อวัตถุประสงค์นี้โดยเฉพาะ ซึ่งก็คือพอลิ (ไวนิลแอลกอฮอล์-โค-ไวนิลอะซิเตต) P(VA-co-VAc) เพราะนอกจาก P(VA-co-VAc) จะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ในระหว่างการเตรียม PLA ไมโครแคปซูลแล้ว (Manangan & Shawaphun, 2016) โดยส่วนที่เป็นไวนิลแอลกอฮอล์ของ P(VA-co-VAc) ที่ยังคงเหลืออยู่บนผิวหนังของอนุภาค PLA ไมโครแคปซูลภายหลังการเตรียมยังช่วยในการไปยึดเกาะกับสิ่งทอได้ดีอีกด้วยโดยเฉพาะสิ่งทอที่เป็นผ้าฝ้ายซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในปริมาณมากที่พื้นผิวจึงสามารถยึดเกาะกับหมู่ไวนิลแอลกอฮอล์ที่อยู่บนผิวหนังของ PLA ไมโครแคปซูลได้ดีผ่านพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการเตรียมไมโครแคปซูลของพอลิแลคติก แอซิด (Polylactic acid, PLA) ที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรไทย 5 ชนิด ที่มีฤทธิ์ในการขับไล่ยุง ได้แก่ ตะไคร้ (*Cymbopogon winterianus*), มะกรูด (*Citrus hystrix*), ขมิ้นชัน (*Curcuma longa*), ข่า (*Alpinia galangal L.*) และ ใบแมงลัก (*Ocimum americanum*) เพื่อประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบสำหรับสิ่งทอ ในการเตรียม PLA ไมโครแคปซูลที่ใช้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยจะใช้เทคนิค emulsification-solvent

evaporation และใช้ พอลิ(ไวนิลแอลกอฮอล์-โค-ไวนิลอะซิเตต) P(VA-co-VAc) เป็นอิมัลซิฟายเออร์รวมทั้งเป็นสารช่วยในการยึดเกาะระหว่างไมโครแคปซูลของ PLA กับสิ่งทอ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย ความสามารถในการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยของ PLA ไมโครแคปซูล จากนั้นจึงนำไปทดสอบประสิทธิภาพในการไล่ยุงลายบ้าน (*Aedes aegypti*) โดยใช้ชุดทดสอบ Excito-Repellency เทียบกับผลิตภัณฑ์ไล่ยุงที่มี DEET เป็นองค์ประกอบ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียม Poly(vinyl alcohol-co-vinyl acetate) เพื่อใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์

การเตรียม Poly(vinyl alcohol-co-vinyl acetate) หรือ P(VA-co-VAc) เพื่อใช้เป็นอิมัลซิฟายเออร์จะใช้วิธีการเตรียมตามวิธีของ Manangan & Shawaphun (2016) โดยชั่งพอลิไวนิลอะซิเตต (Polyvinyl acetate, PVAc) ปริมาณ 1 กรัม มาละลายในเมทานอลปริมาตร 30 มิลลิลิตร ปั่นกวนจนพอลิไวนิลอะซิเตตละลายหมด จากนั้นเติมสารละลาย KOH ที่มีความเข้มข้น 0.029 โมลต่อลิตรลงไปในขวดก้นกลมที่มีสารละลายของพอลิไวนิลอะซิเตตในเมทานอล จากนั้นทำการรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำของผสมที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนเทส่วนที่เหลือลงในจานเพาะเชื้อวางทิ้งไว้ให้เมทานอลระเหยจนแห้งแล้วเก็บในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2 การเตรียม PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย

การเตรียม PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยจะใช้วิธีการเตรียมตามวิธีของ Manangan & Shawaphun (2016) โดยชั่ง PLA มา 2.000 กรัม และชั่งน้ำมันหอมระเหยมา 0.050 กรัม มาละลายให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้น ชั่ง P(VA-co-VAc) อิมัลซิฟายเออร์มา 5.600 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 120 มิลลิลิตร โดยกวนที่อุณหภูมิ 80°C จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำสารละลายของ P(VA-co-VAc) ในน้ำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที จากนั้นค่อยๆ หยดสารละลายของ PLA และน้ำมันหอมระเหยในไดคลอโรมีเทนลงไปด้วยอัตราเร็ว 5 มิลลิลิตรต่อนาทีจน

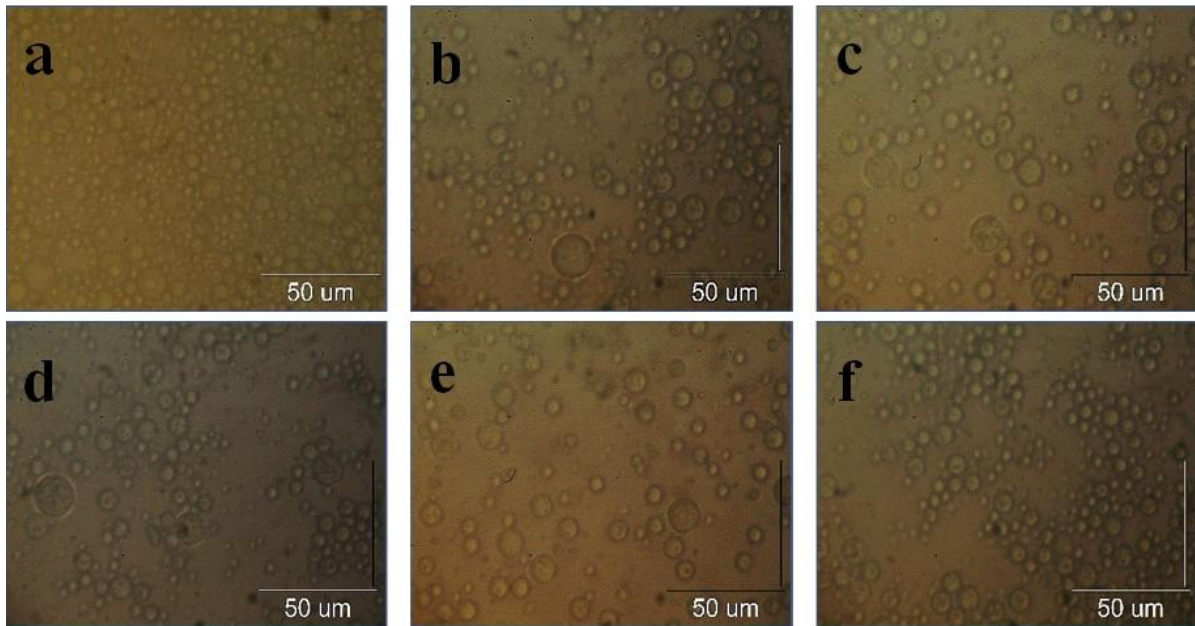
หมดและจากนั้นทำการปั่นที่อุณหภูมิห้องต่ออีกเป็นเวลา 8 ชั่วโมงเพื่อระเหยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนออกจนหมด

2.3 การหาขนาดอนุภาคและสัณฐานวิทยาของ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย

นำสารแขวนลอยในน้ำของ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยมาทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปหยดบนกระจกสไลด์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แล้วทำการบันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัล ภาพถ่ายที่ถูกบันทึกด้วยกล้องดิจิทัลจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์วิเคราะห์ภาพ (Scope Image 9.0) เพื่อหาขนาดอนุภาคเฉลี่ย

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มใน PLA ไมโครแคปซูล

น้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มใน PLA ไมโครแคปซูลได้ถูกวิเคราะห์หาปริมาณตามขั้นตอนดังนี้ ขั้นแรกทำการแยกอนุภาค PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยออกจากสารแขวนลอยโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 9,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที โดยเทสารละลายส่วนใสทิ้ง จากนั้นนำอนุภาค PLA ไมโครแคปซูลมาล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 2 ครั้ง เพื่อแยกเอาน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มภายใน PLA ไมโครแคปซูลออกไป จากนั้นจึงนำ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยมาสกัดด้วยเมทานอลปริมาตร 200 มิลลิลิตรเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำสารละลายที่สกัดได้มาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆดังนี้ โดยน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ให้วัดที่ความยาวคลื่น 238 นาโนเมตร, น้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดให้วัดที่ความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร, น้ำมันหอมระเหยชาให้วัดที่ความยาวคลื่น 203 นาโนเมตร, น้ำมันหอมระเหยขมิ้นให้วัดที่ความยาวคลื่น 236 นาโนเมตร และ น้ำมันหอมระเหยใบแมงลักให้วัดที่ความยาวคลื่น 231 นาโนเมตรตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานของน้ำมันหอมระเหยแต่ละชนิดก็จะทำให้หาค่าความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่อยู่ในสารละลายได้ เมื่อทราบปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ก็จะคำนวณหาน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มใน PLA ไมโครแคปซูลได้ ค่าเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย (% encapsulation) ของ PLA ไมโครแคปซูลถูกคำนวณโดยการนำเอาน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มภายในไมโครแคปซูลหารด้วยน้ำหนักของน้ำมันหอมระเหยที่ใส่เข้าไปตอนที่เตรียม PLA ไมโครแคปซูล จากนั้นคูณด้วย 100



รูปที่ 1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของอนุภาค PLA ไมโครแคปซูล a) ที่ไม่ได้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย b) ที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ c) ที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูด d) ที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยข่า e) ที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยขมิ้น f) ที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยใบแมงลัก

2.5 การทดสอบพฤติการณ์การปล่อยของน้ำมันหอมระเหย น้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มใน PLA ไมโครแคปซูล และ DEET

หดย่น้ำมันหอมระเหย สารแขวนลอย PLA ไมโครแคปซูล ที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย และ ผลิตภัณฑ์ปล่อยที่มี DEET เป็นองค์ประกอบ ลงไปในจานเพาะเชื้อโดยควบคุมให้น้ำหนักของสารออกฤทธิ์มีปริมาณ 0.15 กรัมเท่ากันในทุกการทดลอง จากนั้นนำไปทดสอบด้วยชุดทดสอบ Excito-Repellency ในการทดสอบแต่ละครั้งให้น้ำจานเพาะเชื้อที่มีสารที่จะทดสอบนำมาวางในกล่องอูมิเนียมด้านใน จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 20 นาที ส่วนยุงลายที่ใช้ในการทดสอบจะถูกใส่กล่องทดสอบเป็นจำนวน 15 ตัวต่อการทดสอบ 1 ช่วง เมื่อเริ่มต้นการทดสอบแต่ละช่วงจะนำยุงลาย 15 ตัว ใส่ในกล่องทดสอบและพักยุงเอาไว้ 3 นาทีโดยยังไม่เริ่มจับเวลาเพื่อให้ยุงปรับสภาพ เมื่อครบ 3 นาทีจะเปิดช่องทางออก เริ่มจับเวลาและบันทึกจำนวนตัวยุงที่ออกจากกล่องทดสอบทุก 1 นาที จนครบ 20 นาที นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของยุงที่หนีออกจากกล่องทดสอบ หลังจากนั้นนำยุงที่เหลือออกจากกล่องทดสอบ แล้วทำการทดสอบต่อช่วงที่ 2 โดยใช้ยุงใหม่ในกล่องทดสอบเป็นจำนวน 15 ตัว โดยใช้จานเพาะเชื้อใบเดิมและไม่เปลี่ยนสารที่ใช้ พักยุงเอาไว้ 3 นาทีโดยยังไม่เริ่มจับเวลาเพื่อให้ยุงปรับสภาพ เมื่อครบ 3 นาทีจะเปิดช่องทางออก เริ่มจับเวลาและบันทึกจำนวนตัวยุงที่ออกจากกล่องทดสอบทุก 1 นาที จนครบ 20 นาที นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละ

ของยุงที่หนีออกจากกล่องทดสอบ หลังจากนั้นนำยุงที่เหลือออกจากกล่องทดสอบ แล้วทำการทดสอบต่อช่วงที่ 3 โดยใช้ยุงใหม่ในกล่องทดสอบเป็นจำนวน 15 ตัว โดยใช้จานเพาะเชื้อใบเดิมและไม่เปลี่ยนสารที่ใช้ทดสอบ พักยุงเอาไว้ 3 นาทีโดยยังไม่เริ่มจับเวลาเพื่อให้ยุงปรับสภาพ เมื่อครบ 3 นาทีจะเปิดช่องทางออก เริ่มจับเวลาและบันทึกจำนวนตัวยุงที่ออกจากกล่องทดสอบทุก 1 นาที จนครบ 20 นาที นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของยุงที่หนีออกจากกล่องทดสอบ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับตัวควบคุมคือจานเพาะเชื้อเปล่า และจานเพาะเชื้อที่มี PLA ไมโครแคปซูลเปล่าที่ไม่ได้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ขนาดอนุภาคและสัณฐานวิทยาของ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย

สมบัติและลักษณะของอนุภาค PLA ไมโครแคปซูลทั้งที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยและที่ไม่ได้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยซึ่งได้แก่ ขนาดอนุภาค การกระจายตัวของขนาดอนุภาค ได้ถูกแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1 โดยพบว่า PLA ไมโครแคปซูลที่ไม่ได้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยมีขนาดอนุภาค 5.02 ± 1.25 ไมโครเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่า PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยเล็กน้อยซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.79 ± 1.73 ถึง 6.58 ± 2.27 ไมโครเมตร ซึ่ง PLA ไมโครแคปซูลที่ไม่ได้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยที่เตรียมได้ในการทดลองนี้มีขนาดเล็กกว่า PLA ไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยใช้วิธีเดียวกันจากการทดลอง

ตารางที่ 1 ขนาดอนุภาคของ PLA ไมโครแคปซูลที่ไม่ได้ห่อหุ้มและที่ห่อหุ้ม น้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ

น้ำมันหอมระเหยที่ห่อหุ้ม	ขนาดอนุภาค (μm)
ไม่มี	5.02 $\pm$ 1.25
ตะไคร้	6.12 $\pm$ 1.63
ผิวมะกรูด	6.58 $\pm$ 2.27
ข่า	5.97 $\pm$ 2.24
ขมิ้น	6.17 $\pm$ 1.59
ใบแมงลัก	5.79 $\pm$ 1.83

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การห่อหุมน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆในอนุภาค PLA ไมโครแคปซูล

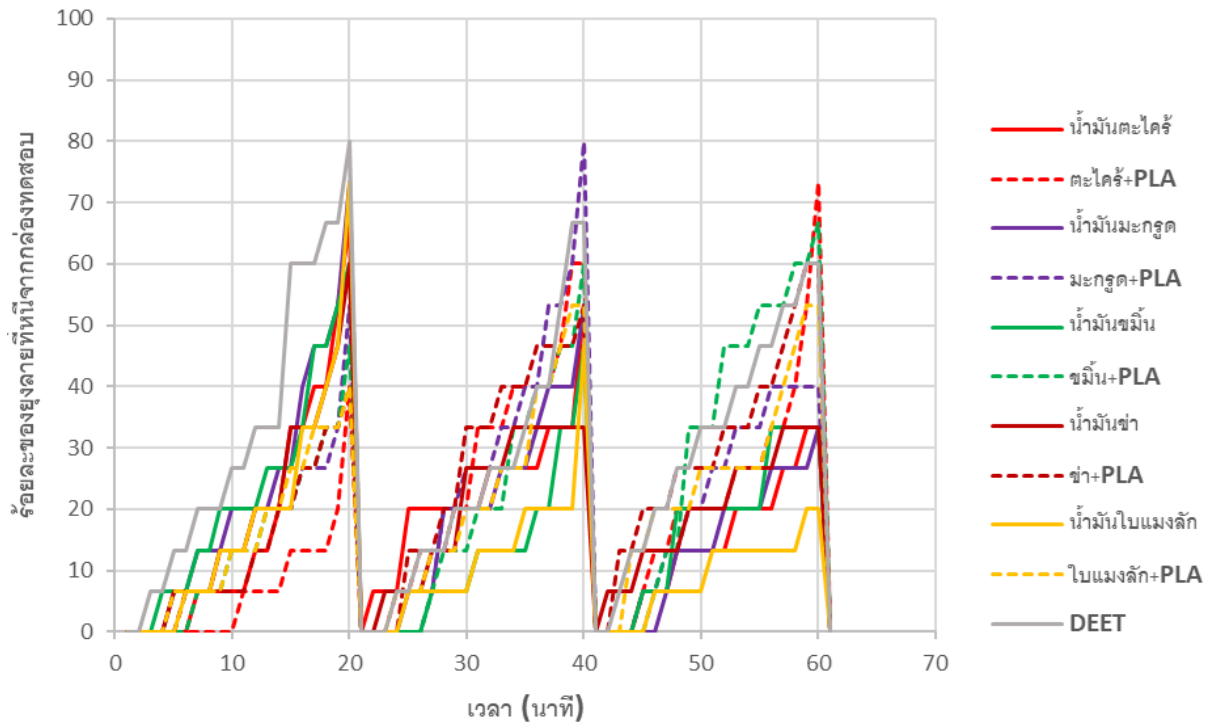
น้ำมันหอมระเหย	เปอร์เซ็นต์การห่อหุ้ม
ตะไคร้	32.00 $\pm$ 1.30
ผิวมะกรูด	40.87 $\pm$ 1.54
ข่า	26.52 $\pm$ 2.50
ขมิ้น	30.66 $\pm$ 2.10
ใบแมงลัก	29.30 $\pm$ 1.80

ของ Virag *et. al.* (2002) ถึง 10 เท่า ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 57 ± 18 ไมโครเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยในการเตรียมที่แตกต่างกัน

3.2 ผลการหาเปอร์เซ็นต์การห่อหุมน้ำมันหอมระเหยใน PLA ไมโครแคปซูล

จากงานวิจัยพบว่าในน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดมีสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ β -pinene (24.62%), Sabinene (22.06%) และ Limonene (19.29%) (Suwannayod *et. al.*, 2018) ในน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ Citronellal (27.00%), Geraniol (22.70%) และ Citronellol (10.09%) (Simie *et. al.*, 2008) ในน้ำมันหอมระเหยขมิ้นมีสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ α -Turmerone (42.60%), ar-Turmerone (12.90%) และ β -Turmerone (16.00%) (Avanco *et. al.*, 2017) ในน้ำมันหอมระเหยใบแมงลักมีสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ Terpinen-4-ol (43.21%), 1,8-Cineole (16.13%) และ α -Terpineol (4.01%) (Matasyoh *et. al.*, 2006) ในน้ำมันหอมระเหยข่ามีสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ Eucalyptol (22.63%), β -Pinene (14.36%) และ α -Pinene (10.89%) (Wu *et. al.*, 2014) เมื่อพิจารณาโครงสร้างของสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิด จะพบว่าน้ำมันหอมระเหยที่มีค่าสูงที่สุดคือน้ำมันหอมระเหยใบแมงลัก ซึ่ง

ประกอบด้วยสารประกอบที่มีช่วงปานกลาง ได้แก่ 1,8-Cineole มีปริมาณ 16.13% และสารประกอบที่มีค่าสูง ได้แก่ Terpinen-4-ol และ α -Terpineol มีปริมาณรวมกัน 47.22% ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่มีช่วงรองลงมาจากใบแมงลักคือน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบที่มีช่วงปานกลาง ได้แก่ Citronellal มีปริมาณ 27.00% และสารประกอบที่มีค่าสูง ได้แก่ Citronellol และ Geraniol มีปริมาณรวมกัน 32.79% ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่มีช่วงรองลงมาจากตะไคร้คือน้ำมันหอมระเหยข่า ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบที่มีช่วงปานกลาง ได้แก่ Eucalyptol ซึ่งมีปริมาณ 22.63% และสารประกอบที่ไม่มีค่า ได้แก่ β -Pinene และ α -Pinene ซึ่งมีปริมาณรวมกัน 25.25% ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่เหลืออีก 2 ชนิดคือน้ำมันหอมระเหยขมิ้นและผิวมะกรูด มีช่วงค่อนข้างต่ำโดยในน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดซึ่งองค์ประกอบหลัก (65.97%) ล้วนแต่ประกอบด้วยสารประกอบที่ไม่มีค่า ได้แก่ β -Pinene, Sabinene และ Limonene เช่นเดียวกันกับน้ำมันหอมระเหยขมิ้น (71.50%) ซึ่งล้วนแต่ประกอบด้วยสารประกอบที่ไม่มีค่า ได้แก่ α -Turmerone, ar-Turmerone และ β -Turmerone ถ้าดูจากผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า PLA ไมโครแคปซูลสามารถห่อหุมน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดซึ่งอยู่ในกลุ่มที่มีค่าต่ำได้มากที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มเท่ากับ 40.87 ± 1.54 % ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ PLA ไมโครแคปซูลห่อหุ้มได้ดีรองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ขมิ้น และใบแมงลัก โดยมีเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มเท่ากับ 32.00 ± 1.30 , 30.66 ± 2.10 และ 29.30 ± 1.80 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากความมีค่าของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 3 ชนิดก็จะพบว่า น้ำมันหอมระเหยตะไคร้และใบแมงลักจัดอยู่ในกลุ่มน้ำมันหอมระเหยที่มีค่าสูง ส่วนน้ำมันหอมระเหยขมิ้นจัดอยู่ในกลุ่มน้ำมันหอมระเหยที่มีค่าต่ำ ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ PLA ไมโครแคปซูลห่อหุ้มได้น้อยที่สุดคือน้ำมันหอมระเหยข่า โดยมีเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มเท่ากับ 26.52 ± 2.50 แม้ว่าจากรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ Martins *et. al.* (2011) ได้ตรวจสอบการเติมน้ำมันหอมระเหยของไทม์เข้าไปในระหว่างกระบวนการเตรียม PLA ไมโครแคปซูล โดยน้ำมันหอมระเหยไทม์ประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกที่มีค่าสูง 62.2% โดยมีปริมาณ Thymol เป็นองค์ประกอบหลักโดยมีปริมาณสูงถึง 47.7% โดยเปอร์เซ็นต์การห่อหุมน้ำมันหอมระเหยของไทม์ใน PLA ไมโครแคปซูลมีค่าประมาณ 65% และพบว่าใน 65% นี้มีองค์ประกอบที่



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไขมันที่หนี้ออกจากห้องทดสอบและเวลา(นาทื)ของ DEET น้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆที่ไม่ถูกห่อหุ้มและที่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูล

เป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้วอยู่สูงถึง 80% และมีองค์ประกอบที่เป็นสารประกอบที่มีขั้วอยู่เพียง 54% ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าน้ำมันผิวมะกรูดซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้วสามารถถูกห่อหุ้มใน PLA ไมโครแคปซูลได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้ขัดแย้งกับงานวิจัยของ Dusankova et. al. (2019) ที่ได้ศึกษาการเตรียมและหาคุณสมบัติเฉพาะของอนุภาคทรงกลมขนาดไมโครของ PLA ที่บรรจุน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ โดยพบว่าองค์ประกอบที่มีขั้วของน้ำมันหอมระเหยจะถูกดูดซับใน PLA ไมโครแคปซูลได้มากกว่าองค์ประกอบที่ไม่มีขั้วเนื่องจาก PLA เองก็มีขั้วเหมือนกัน นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Virag et. al. (2022) ได้ทำการหาค่า absorption capacity ของอนุภาค PLA ที่มีต่อน้ำมันหอมระเหย 3 ชนิด ได้แก่ *Thymus vulgaris*, *Melissa officinalis* และ *Foeniculum vulgare* ในการทดลองนี้อนุภาค PLA ได้เตรียมโดยใช้วิธี solvent evaporation emulsification โดยใช้เม็ดพลาสติก PLA ที่มีปริมาณผลึกแตกต่างกัน ได้แก่ 0.1% และ 16.0% ตามลำดับ โดยพบว่าค่าการดูดซับน้ำมันหอมระเหยของอนุภาค PLA ลดลง เมื่อปริมาณผลึกในอนุภาค PLA มีค่าลดลง โดยพบว่าปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ถูกดูดซับในอนุภาค PLA ที่มีปริมาณผลึกสูงกว่ามีค่ามากกว่าที่ถูกดูดซับในอนุภาค PLA ที่มีปริมาณผลึกต่ำกว่าอยู่ประมาณ 15% โดยพบว่าอนุภาค PLA ที่มีปริมาณผลึกสูงกว่าสามารถดูดซับน้ำมันหอมระเหยที่

ละลายในเอทานอลได้ประมาณ 30-40% และอนุภาค PLA ที่มีปริมาณผลึกต่ำกว่าสามารถดูดซับน้ำมันหอมระเหยที่ละลายในเอทานอลได้ประมาณ 25-33% โดยพบว่าค่าปริมาณการดูดซับน้ำมันหอมระเหยของอนุภาค PLA ที่มีปริมาณผลึกสูงกว่าในงานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับค่าเปอร์เซ็นต์การห่อหุมน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆที่ได้จากผลการทดลองในตารางที่ 2 นอกจากนี้ ในงานวิจัยของ Vay et. al. (2011) และ Virag et. al. (2022) พบว่าค่าการดูดซับของ PLA เกี่ยวข้องกับค่า พารามิเตอร์การละลายของแฮนเซน Hensen solubility parameter (HSP) ของสารประกอบหรือองค์ประกอบหลักที่อยู่ในน้ำมันหอมระเหยหรือ HSP นอกจากนี้ ในงานวิจัยของ Sato et. al. (2022) ยังพบว่าค่า HSP บ่งบอกถึงความสามารถในการดึงดูดของพอลิเมอร์กับตัวทำละลายอินทรีย์ โดยค่า HSP แบ่งออกเป็น 3 พารามิเตอร์ย่อย ได้แก่ พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงแรงแผ่กระจาย (δ_d) พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงอันตรกิริยาที่มีขั้ว (δ_p) และพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงการเกิดพันธะไฮโดรเจน (δ_h) ถ้าค่า HSP ของตัวทำละลายอินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกับค่า HSP ของพอลิเมอร์ แสดงว่าตัวทำละลายอินทรีย์นั้นจะสามารถละลายวัสดุพอลิเมอร์นั้นได้ แม้ว่าจากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดพอจะสรุปได้ว่า ค่าการดูดซับของน้ำมันหอมระเหยใน PLA ไมโครแคปซูลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความมีขั้วขององค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหย รวมทั้งค่า HSP

ของพอลิเมอร์และขององค์ประกอบหลักที่อยู่ในน้ำมันหอมระเหย อย่างไรก็ตาม การทำนายค่าการดูดซับของ PLA ไมโครแคปซูลด้วยค่า HSP เพียงอย่างเดียว แม้ว่าจะมีความเป็นไปได้ แต่ก็อาจได้ผลที่ไม่แน่นอนเนื่องจากในน้ำมันหอมระเหยมีส่วนประกอบของสารประกอบหลากหลายชนิด หากใช้องค์ประกอบหลักในการทำนายค่า HSP เพียงอย่างเดียวค่าที่ได้อาจไม่ถูกต้องนัก จากผลการทดลองในตารางที่ 2 PLA ไมโครแคปซูลสามารถห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ชมิ้น และใบแมงลักได้ใกล้เคียงกันโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มประมาณ 30% ถึงแม้ว่าน้ำมันตะไคร้และใบแมงลักจะจัดอยู่ในกลุ่มที่มีขั้วสูงแต่น้ำมันชมิ้นจะจัดอยู่กลุ่มที่มีขั้วต่ำก็ตาม จากการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ในการห่อหุ้มของ PLA ไมโครแคปซูลอาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับความมีขั้วขององค์ประกอบหลักที่มีในน้ำมันหอมระเหยเพียงอย่างเดียว แต่อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย อย่างเช่น วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ไมโครแคปซูล ความไม่เสถียรและความสามารถในการระเหยขององค์ประกอบที่อยู่ในน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น โดยองค์ประกอบที่ระเหยง่ายที่อยู่ในน้ำมันหอมระเหยอาจสูญเสียไปในระหว่างการเตรียมและการเก็บรักษา PLA ไมโครแคปซูล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fraj et. al. (2019) ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าการเตรียมพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลโดยใช้ Polycaprolactone (PCL) เป็นวัสดุเปลือกในการห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย *Origanum vulgare* L. ซึ่งมีสารประกอบ cavacrol อยู่ในปริมาณสูงโดยเปรียบเทียบวิธีเตรียมพอลิเมอร์ไมโครแคปซูล 2 วิธี ได้แก่ วิธี nanoprecipitation และวิธี double emulsion โดยพบว่าทั้ง 2 วิธี ให้เปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกัน โดยวิธี nanoprecipitation ให้เปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยอยู่ในช่วง $50.36 \pm 1.86\%$ ถึง $85.89 \pm 2.40\%$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยในการเตรียม ส่วนวิธี double emulsion ให้เปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยเพียง $47.52 \pm 0.52\%$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีในการเตรียมพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหย แม้ว่าในงานวิจัยนี้จะไม่ได้ออกมาหาความเสถียรของ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ ในระยะยาว แต่จากงานวิจัยของ Fraj et. al. (2019) ที่ได้ทำการทดลองหาความเสถียรของ PCL ไมโครแคปซูล ในการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยของ *Origanum vulgare* L. ที่สภาวะ 4 ± 2 °C, 25 ± 2 °C และ 40 ± 2 °C เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า น้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มใน PCL ไมโคร

แคปซูลที่เตรียมโดยวิธี nanoprecipitation มีปริมาณ cavacrol ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยที่ถูกกักเก็บแทบไม่เปลี่ยนแปลง แต่ cavacrol ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มใน PCL ไมโครแคปซูลที่เตรียมโดยวิธี double emulsion มีปริมาณลดลงเหลือเพียง 64.56% และ 61.84% ที่อุณหภูมิ 25 และ 40 °C ตามลำดับ จากการทดลองข้างต้น ทำให้พออนุมานได้ว่า PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ น่าจะมีความเสถียรระยะยาวอย่างน้อยเป็นระยะเวลา 60 วัน เนื่องจาก PLA ที่ใช้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นพอลิเอสเทอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเหมือนกับ PCL ที่ใช้ในการห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยในการทดลองของ Fraj et. al. (2019) ถึงแม้ว่า PLA จะมีความมีขั้วและปริมาณผลึกแตกต่างจาก PCL บ้าง แต่ก็คงไม่มีผลต่อความเสถียรของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นผลที่ได้ น่าจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลแบบ nanoprecipitation ที่ใช้ในการทดลองของ Fraj et. al. (2019) ค่อนข้างคล้ายคลึงกับวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ไมโครแคปซูลแบบ emulsification-solvent evaporation ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงทำให้ผู้วิจัยค่อนข้างมั่นใจว่า PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิด น่าจะมีความเสถียรในระยะยาว

3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการไล่ยุงลายบ้านของ DEET น้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ ที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มและที่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูล

รูปที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพในการไล่ยุงลายบ้านของสารไล่ยุงชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ น้ำมันหอมระเหย 5 ชนิด (ตะไคร้, ผิวมะกรูด, ข่า, ชมิ้น และใบแมงลัก) ทั้งที่ไม่ถูกห่อหุ้มและที่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูล และ DEET โดยใช้ชุดทดสอบ Excito-Repellency

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดทั้งที่ถูกห่อหุ้มและไม่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูล เทียบกับตัวอย่างที่เป็นตัวควบคุมคือจานเปล่าที่ไม่ใส่อะไรเลยและ PLA ไมโครแคปซูลเปล่าที่ไม่ได้บรรจุอะไรเลย จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าตัวอย่างควบคุมที่เป็นจานเปล่าและ PLA ไมโครแคปซูลเปล่าให้ร้อยละในการไล่ยุงที่เวลา 20 นาทีมีค่า 13.33 ± 5.96 และ 15.55 ± 3.44 ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยตัวควบคุมที่เป็นจานเปล่าและ PLA ไมโครแคปซูลเปล่า พบว่าหลังจากเวลาผ่านไป 40 และ 60 นาที ร้อยละในการไล่ยุงยังคงใกล้เคียงเดิม

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละของยุงที่หนีออกจากกล่องทดสอบของ DEET น้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆที่ไม่ถูกห่อหุ้มและที่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูล ที่เวลา 20, 40 และ 60 นาที

ชนิดสาร	ร้อยละของยุงที่หนีจากกล่องทดสอบ					
	ที่ไม่ถูกห่อหุ้มใน PLA ไมโครแคปซูล			ที่ถูกห่อหุ้มใน PLA ไมโครแคปซูล		
	ที่เวลา 20 นาที	ที่เวลา 40 นาที	ที่เวลา 60 นาที	ที่เวลา 20 นาที	ที่เวลา 40 นาที	ที่เวลา 60 นาที
ไม่มี	13.33±5.96	15.55±3.44	11.11±3.44	15.55±3.44	20.00±5.97	17.78±3.44
DEET	77.78±3.44	66.67±5.96	62.22±9.11	-	-	-
น้ำมันตะไคร้	66.67±5.96	55.55±3.44	31.11±9.11	42.22±3.44	64.44±6.88	75.56±9.11
น้ำมันมะกรูด	75.55±3.44	53.33±5.96	35.56±9.11	57.78±6.89	75.56±6.88	37.78±9.11
น้ำมันข่า	60.00±5.97	31.11±3.44	33.33±5.96	40.00±5.97	48.89±6.88	62.22±9.11
น้ำมันขมิ้น	60.00±5.97	48.89±3.44	33.33±5.96	44.45±3.44	60.00±5.97	68.89±9.11
น้ำมันใบแมงลัก	71.11±3.44	46.67±5.96	20.00±5.97	40.00±5.97	57.78±6.89	55.56±9.11

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบสารไล่ยุงที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มทั้ง 6 ชนิด เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีพบว่า DEET มีประสิทธิภาพในการไล่ยุงสูงที่สุดโดยร้อยละการไล่ยุงมีค่า 77.78 ± 3.44 รองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดซึ่งร้อยละการไล่ยุงมีค่า 75.55 ± 3.44 รองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยใบแมงลักโดยร้อยละการไล่ยุงมีค่า 71.11 ± 3.44 ถัดมาคือน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ซึ่งร้อยละการไล่ยุงมีค่า 66.67 ± 5.96 ส่วนน้ำมันหอมระเหยข่าและขมิ้นที่เวลา 20 นาที มีประสิทธิภาพในการไล่ยุงเท่ากันและมีค่าต่ำที่สุดโดยมีค่าร้อยละการไล่ยุงเท่ากับ 60 ± 5.97 แต่ถ้าเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของประสิทธิภาพการไล่ยุงของสารไล่ยุงทั้ง 6 ชนิด ตั้งแต่เวลา 20 นาที ไปจนถึงเวลา 60 นาที พบว่า สารไล่ยุงที่มีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการไล่ยุงน้อยที่สุดคือ DEET โดยพบว่าร้อยละในการไล่ยุงมีการลดลงเพียง 15.56% รองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยข่าและขมิ้นที่ร้อยละการไล่ยุงลดลงเพียง 26.67% รองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยตะไคร้พบว่าร้อยละการไล่ยุงลดลง 35.56% รองลงมาคือน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดที่ร้อยละการไล่ยุงลดลง 39.99% และน้ำมันหอมระเหยที่ร้อยละในการไล่ยุงลดลงมากที่สุดเมื่อเวลาผ่านไปคือน้ำมันหอมระเหยใบแมงลัก โดยลดลงถึง 51.11% ซึ่งสอดคล้องกับกราฟในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงอัตราการลดลงของร้อยละในการไล่ยุงของสารไล่ยุงทั้ง 6 ชนิด ขณะที่ร้อยละในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูลในตารางที่ 3 พบว่าที่เวลา 20 นาที PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยมะกรูดมีค่าร้อยละการไล่ยุงสูงที่สุดโดยมีค่า 57.78 ± 6.89 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้ห่อหุ้มอยู่ถึง 17.77 % รองลงมาคือ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันขมิ้นซึ่งมีค่าร้อยละในการไล่ยุงเท่ากับ 44.45 ± 3.44 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้ห่อหุ้มอยู่ถึง 15.55 % ถัดมาคือ PLA ไมโครแคปซูลที่

ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ พบว่ามีค่าร้อยละในการไล่ยุงเท่ากับ 42.22 ± 3.44 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้ห่อหุ้มอยู่ 24.45 % ถัดมาคือ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยข่า พบว่ามีค่าร้อยละในการไล่ยุง 40.00 ± 5.97 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าจากน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้ห่อหุ้มอยู่ถึง 20.00 % และ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยใบแมงลักพบว่าค่าร้อยละในการไล่ยุงเท่ากับ 40.00 ± 5.97 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้ห่อหุ้มอยู่ 31.11 % นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำมันหอมระเหยทุกชนิดที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มเมื่อเวลาผ่านไป ร้อยละในการไล่ยุงมีแนวโน้มลดลง ซึ่งตรงข้ามกับน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูลซึ่งพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปกลับพบว่าร้อยละในการไล่ยุงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดย PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยตะไคร้มีร้อยละในการไล่ยุงเพิ่มขึ้นมากที่สุดโดยเพิ่มขึ้นถึง 33.34% รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยขมิ้นที่มีร้อยละการไล่ยุงเพิ่มขึ้น 24.44% รองลงมาคือ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยข่าซึ่งมีร้อยละการไล่ยุงเพิ่มขึ้น 22.22% และ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยใบแมงลักที่มีร้อยละการไล่ยุงเพิ่มขึ้น 15.56% อย่างไรก็ตามพบว่า PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยมะกรูดพบว่าร้อยละการไล่ยุงมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 17.78 % ที่เวลา 40 นาที แต่เมื่อเวลาผ่านไปกลับมีค่าลดลงอีกครั้งที่เวลา 60 นาที จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า PLA ไมโครแคปซูล ช่วยควบคุมการปลดปล่อยของน้ำมันหอมระเหยได้ดี ทำให้น้ำมันหอมระเหยสามารถคงประสิทธิภาพในการไล่ยุงได้นานขึ้น จากงานวิจัยของ Martin et. al. (2012) ซึ่งได้ตรวจสอบการปลดปล่อยของ Thymol และ p-Cymene จากอนุภาคไมโครแคปซูลของ PLA โดยพบว่าอัตราเร็วการปลดปล่อยสารประกอบทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงเวลา 60 นาทีแรก เนื่องจากการ

แพร่ผ่านชั้น PLA อย่างไรก็ดีตามหลังจาก 60 นาทีแรกผ่านไป อัตราเร็วในการปลดปล่อยสารประกอบทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มคงที่ โดยพบว่ากลไกการปลดปล่อยในช่วง 60 นาทีแรกขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของ PLA โดยการแพร่ของน้ำมันหอมระเหยผ่านชั้น PLA จะเร็วขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ PLA มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่ใน PLA จะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ PLA มีค่าสูงขึ้น จากการทดลองผู้วิจัยสรุปว่า สารประกอบ Thymol สามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นพอลิเมอร์ได้เร็วกว่าทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของความมีขั้วระหว่าง PLA กับ Thymol มีค่าแตกต่างกันมากกว่าระหว่าง PLA กับ p-Cymene โดยพบว่า ค่า diffusion coefficient ในช่วง 60 นาทีแรกของ Thymol มีค่า $1.99 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ส่วนของ p-Cymene มีค่า $4.34 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ ซึ่งผลการทดลองของ Martin *et. al.* (2012) สอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ในตารางที่ 3 จากการสังเกตประสิทธิภาพในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดทั้งที่ถูกห่อหุ้มและที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูล พบว่าร้อยละในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูล มีค่าต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มในช่วง 20 นาทีแรก แต่เมื่อเวลาผ่านไปร้อยละในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มต้องเคลื่อนที่ผ่านชั้น PLA ที่เป็นเมทริกซ์ ดังนั้นจึงทำให้ร้อยละในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยที่ถูกห่อหุ้มมีค่าต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ได้ถูกห่อหุ้มในช่วง 20 นาทีแรก นอกจากนี้ความมีขั้วขององค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดมีค่าไม่เท่ากัน จึงทำให้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านชั้น PLA ที่เป็นเมทริกซ์มีค่าแตกต่างกันด้วย ส่งผลให้อัตราเร็วในการเพิ่มขึ้นของร้อยละในการไล่ยุงของน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดที่ถูกห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูลมีค่าแตกต่างกัน

4. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิด ซึ่งได้แก่ น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ มะกรูด ข่า ขมิ้น และใบแมงลัก ได้ถูกเตรียมขึ้น โดยพบว่าอนุภาคของ PLA ไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิดที่เตรียมได้ มีลักษณะกลมและมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 5.79 ± 1.73 ถึง 66.58 ± 2.27 ซึ่งมีค่ามากกว่า PLA ไมโครแคปซูลที่ไม่ได้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยเพียงเล็กน้อยซึ่งมีค่าเท่ากับ

5.02 ± 1.25 จากการหาประสิทธิภาพในการห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยทั้ง 5 ชนิด พบว่า PLA ไมโครแคปซูลสามารถห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดซึ่งอยู่ในกลุ่มที่มีขั้วต่ำได้มากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มเท่ากับ $40.87 \pm 1.54 \%$ ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ PLA ไมโครแคปซูลห่อหุ้มได้ต่ำรองลงมาคือ น้ำมันหอมระเหยตะไคร้ ขมิ้น และใบแมงลัก โดยมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มเท่ากับ $32.00 \pm 1.30 \%$, $30.66 \pm 2.10 \%$ และ $29.30 \pm 1.80 \%$ ตามลำดับ ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ PLA ไมโครแคปซูลห่อหุ้มได้น้อยที่สุดคือน้ำมันหอมระเหยข่า โดยมีประสิทธิภาพการห่อหุ้มเท่ากับ $26.52 \pm 2.50 \%$ จากการทดสอบประสิทธิภาพในการไล่ยุงลายบ้าน พบว่าน้ำมันหอมระเหยตะไคร้ มะกรูด ข่า ขมิ้น และใบแมงลักที่ไม่ถูกห่อหุ้มแสดงประสิทธิภาพในการไล่ยุงลายบ้านได้ดีใกล้เคียงกับ DEET ในช่วง 20 นาทีแรก แต่ประสิทธิภาพในการไล่ยุงมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ในขณะที่ DEET ประสิทธิภาพในการไล่ยุงลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากการที่นำเอาน้ำมันหอมระเหยมาห่อหุ้มด้วย PLA ไมโครแคปซูลแม้ว่าประสิทธิภาพในการไล่ยุงต่ำกว่าน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ถูกห่อหุ้มในช่วง 20 นาทีแรก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยต้องแพร่ผ่านชั้น PLA ที่เป็นวัสดุห่อหุ้ม แต่เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพในการไล่ยุงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีประสิทธิภาพในการไล่ยุงเทียบเท่า DEET ที่เวลา 60 นาที ดังนั้น PLA ไมโครแคปซูลจึงเหมาะสมที่จะใช้ห่อหุ้มน้ำมันหอมระเหยเพื่อควบคุมการปลดปล่อยของน้ำมันหอมระเหยซึ่งช่วยให้ น้ำมันหอมระเหยมีประสิทธิภาพในการไล่ยุงที่ยาวนานขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประจำปีงบประมาณ 2561 เลขที่สัญญารับทุน 6141103

เอกสารอ้างอิง

- Avanco, G. B., Ferreira, F. D., Bomfim, N. S., Peralta, R. M., Brugnari, T., & Mallmann, C. A. (2017). Curcuma longa L. Essential oil composition, antioxidant effect and effect on *Fusarium verticillioides* and *Furonis* in production. *Food Control*, 73, 806–813. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.09.032>
- Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15(1), 143–182. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12179>

- Barnard, D. R., & Xue, R. (2004). Laboratory evaluation of mosquito repellents against *Aedes albopictus*, *Culex nigripalpus*, and *Ochlerotatus triseriatus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, 41(4), 726–730. <http://dx.doi.org/10.1603/0022-2585-41.4.726>
- Borah, R., Kalita, M. C., Kar, A., & Talukdar A. K. (2010). Larvicidal efficacy of *Toddalia asiatica* (Linn.) Lam against two mosquito vectors *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *African Journal of Biotechnology*, 9(16), 2527–2530.
- Briassoulis, G., Narioglou, M., & Hatzis, T. (2001). Toxic encephalopathy associated with use of DEET insect repellents: a case analysis of its toxicity in children. *Human and Experimental Toxicology*, 20, 8–14.
- Das, N. G., Baruah, I., Talukdar, P. K., & Das, S. C. (2003). Evaluation of botanicals as repellents against mosquitoes. *Journal of Vector Borne Diseases*, 40, 49–53.
- Dusankova, M., Pummerova, M., & Sedlarik, V. (2019). Microspheres of essential oil in polylactic acid and poly(methyl methacrylate) matrices and their blends. *Journal of Microencapsulation*, 36, 305–316. <http://doi.org/10.1080/02652048.2019.1623337>
- Fraj, A., Jaafar, F., Marti, M., Coderch, L., & Ladhari, N. (2019). A comparative study of oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil-based polycaprolactone nanocapsules/microspheres; Preparation, Physicochemical characterization, and storage stability. *Industrial Crops and Products*, 140, 111669.
- Govinda, R. M., Mathivanan, T., Elumalai, K., Krishnappa, K., & Anandan, A. (2011). Mosquito larvicidal, ovicidal and repellent properties of botanical extracts against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti*, and *Culex quinquefasciatus* (Diptera : Culicidae). *Parasitology Research*, 109, 353–367.
- Karr, J. I., Speaker, T. J., & Kasting, G. B. (2012). A novel encapsulation of N,N-diethyl-3-methylbenzamide (DEET) favorably modifies skin absorption while maintaining effective evaporation rates. *Journal of Controlled Release*, 160(3), 502–508.
- Manangan, T., & Shawaphun, S. (2016). Methyl salicylate encapsulation in biodegradable polymer microcapsule. *The Journal of Applied Science*, 15(2), 24–38. <http://doi.org/10.14416/j.appsci.2016.06.002> (in Thai)
- Mark, S., Fradin M. D., & Day J. F. (2002). Comparative efficacy of insect repellents against mosquito bites. *The New England Journal of Medicine*, 347(1), 13–18. <http://doi.org/10.1056/NEJMoa011699>
- Martins, I. M., Rodrigues, S. N., Barreiro, M. F., & Rodrigues, A. E. (2011). Release of thyme oil from polylactide microcapsules. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, 13752–13761. <http://doi.org/10.1021/ie200791r>
- Martins, I. M., Rodrigues, S. N., Barreiro, M. F., & Rodrigues, A. E. (2012). Release Studies of Thymol and p-Cymene from Polylactide microcapsules. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51, 115565–11571. <http://doi.org/10.1021/ie301406f>
- Martins, I. M. Barreiro, M. F., Coelho, M., & Rodrigues, A. E. (2014). Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic applications. *Chemical Engineering Journal*, 245, 191–200. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2014.02.024>
- Matasyoh, J. C., Bendera, M. M., Ogendo, J. O., Omollo, E. O., & Deng, A. L. (2006). Volatile leaf oil constituents of *Ocimum Americanum* L. occurring in western Kenya. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 20(1), 177–180. <http://dx.doi.org/10.4314/bcse.v20i1.21159>
- Miro Specos, M. M., Garcia, J. J., Gutierrez, A. C., & Hermida, L. G. (2017). Application of microencapsulated biopesticides to improve repellent finishing of cotton fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 108, 1454–1460. <http://doi.org/10.1080/00405000.2016.1257345>
- Rodrigues, A. G., de Oliveira Goncalves, P. J. R., Ottoni, C. A., de Cassia Ruiz, R., Morgano, M. A., & de Araujo, W. L. (2019). Functional textiles impregnated with biogenic silver nanoparticles from *Bionectria ochroleuca* and its antimicrobial activity. *Biomedical Microdevices*, 21(56), 1–10. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10544-019-0410-0>
- Sato, S., Gondo, D., Wada, T., Kanehashi, S., & Nagai, K. (2012). Effects of various liquid organic solvents on solvent-induced crystallization of amorphous poly(lactic acid) film. *Journal of Applied Polymer Science*, 1–11. <http://doi.org/10.1002/app.38833>
- Simic, A., Rancic, A., Sokovic, M. D., Ristic, M., Grujic-Jovanovic, S., Vukojevic, J., & Marin, P. D. (2008). Essential oil composition of *Cymbopogon winterianus* and *Carun carvi* and their antimicrobial activities. *Pharmaceutical Biology*, 46(6), 437–441. <http://doi.org/10.1080/13880200802055917>
- Soroh, A., Owen, L., Rahim, N., Masania, J., Abioye, A., Qutachi, O., Goodyer, L., Shen, J., & Laird, K. (2021). Microemulsification essential oils for the development of antimicrobial and mosquito repellent functional coatings for textiles. *Journal of Applied Microbiology*, 131, 2808–2820. <http://doi.org/10.1111/jam.15157>
- Sousa, V. I., Parente, J. F., Marques, J. F., Forte, M. A., & Tavares, C. J. (2022). Microencapsulation of essential oils: A Review. *Polymers*, 14(1730), 1–42. <http://doi.org/10.3390/polym14091730>
- Suwanayod, S., Sukontason, K. L., Somboon, P., Junkum, A., Leksomboon R., Chaiwong, T., Malcolm, K. J., Banchob, S., Suwit, B., Chitsakul, P., Theeraphap, C., & Kom, S. (2018). Activity of Kaffir lime (*Citrus hystrix*) essential oil against blow flies and house fly. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 49(1), 32–45.
- Tavares, M., da Silva, M. R. M., de Siqueira, L. B. D. O., Rodrigues, R. A. S., Bodjolle-d'Almeida, L., dos Santos, E. P., & Ricci-Júnior, E. (2018). Trends in insect repellent formulations: a review. *International Journal of Pharmaceutics*, 539, 190–209. <http://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.01.046>
- Tawatsin, A., Wratten, S. D., Scott, R. R., Thavara, U., & Techadamrongsin, Y. (2001). Repellency of volatile oils from plants against three mosquito vectors. *Journal of Vector Ecology*, 26, 76–82.
- Trongtokit, Y., Rongsriyam, Y., Komalamisra, N., & Apiwatnasorn, C. (2005). Comparative repellency of 38 essential oils against mosquito bites. *Phytotherapy Research*, 19, 303–309. <http://doi.org/10.1002/ptr.1637>
- Vay, K., Scheler, S., & Friebe, W. (2011). Application of Hansen solubility parameters for understanding and prediction of drug distribution in microspheres. *International Journal of Pharmaceutics*, 416, 202–209.
- Virag, L., Bocsi, R., & Petho, D. (2022). Adsorption properties of essential oils on polylactic acid microparticles of different sizes. *Materials*, 15(6602), 1–14. <http://doi.org/10.3390/ma15196602>
- Volić, M. M., Obradović, N. S., Djordjević, V. B., Luković, N. D., Knežević-Jugović, Z. D., & Bugarski, B. M. (2020). Design of biopolymer carriers enriched with natural emulsifiers for improved controlled release of thyme essential oil. *Journal of Food Science*, 85(11), 3833–3842. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.15499>
- WHO. (2009). *Degue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention, and control*. Geneva.
- Wu, Y., Wang, Y., Li, A., Wang, C., Wei, J. Li, X., Wang, P., Zhou, Z., Du, S., Huang, D., & Deng, Z. (2014). Composition of the essential oil from *Alpinia galanga* rhizome and its bioactivity on *Lasioderma serricorne*. *Bulletin of Insectology*, 67(2), 247–254.