

การคัดเลือกและเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิววัสดุตัวกลางด้วยพลาสมาระดับความดันบรรยากาศ
เพื่อปรับปรุงการจุ่มน้ำมันหอมระเหยสำหรับควบคุมไรศัตรูผึ้ง

Selection and Surface Modification of Materials by Non-thermal Plasma
to Improve Impregnation with Essential Oils for the Control of Honeybee Mites

เลิศลักษณ์ วงศ์ทวีทอง¹ ธรรมบุญ บุญมี¹ กมลพร ปานง่อม² และวีรนนท์ ไชยมนี^{1*}

Laedlugkana Wongthaveethong¹, Thummanoon Boonmee¹, Kamonporn Panngom²
and Veeranan Chaimanee^{1*}

¹สาขาเทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

²วิทยาศาสตร์พื้นฐาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140

¹Department of Agro-Industrial Biotechnology, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

²Basic Science, Maejo University Phrae Campus, Phrae, Thailand 54140

*Corresponding author: chveeranan@gmail.com

Received: September 15, 2023

Revised: June 24, 2024

Accepted: July 26, 2024

Abstract

Tropilaelaps mites are a serious ectoparasite of honeybees, *Apis mellifera*, in Thailand and Asia. In this research, the absorption and release properties of essential oils (EOs) of porous media were analyzed. The brown ceramic bar showed the highest clove oil absorption capacity, 0.0050 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$, followed by carbon at 0.0036 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$ of oil absorption capacity. The highest cinnamon oil absorption was observed in carbon and brown ceramic bar materials (0.0067 ± 0.0002 and 0.0065 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$, respectively). A slight decrease in clove oil absorption was observed in carbon after plasma treatment generated by argon and helium gases, but there were no significant differences (0.0036 ± 0.0002 and 0.0035 ± 0.0001 $\mu\text{L}/\text{mg}$, respectively). Although, argon- and helium-water vapour mixtures were applied for carbon surface modification, the absorption of clove oil did not significantly change. The clove oil slowly evaporated from the carbon material during the first 8 hours of incubation. Then, the quantification of evaporation increased on day 3 (40-50%) and reached 50-60% by day 14 of incubation. Lastly, the evaporation of clove oil from carbon was not significantly affected by plasma treatments. Therefore, the conditions of non-thermal plasma should be further investigated to improve the surface of materials for the application of essential oils or other materials to control honeybee mites.

Keywords: *Tropilaelaps*, non-thermal plasma technology, clove essential oil, absorption, evaporation

บทคัดย่อ

ไร *Tropilaelaps* เป็นศัตรูผึ้งที่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุตสาหกรรมการเลี้ยงผึ้งของไทยและเอเชีย โดยงานวิจัยนี้ได้คัดเลือกวัสดุพูนเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุตัวกลางสำหรับการดูดซับและปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย พบว่าแท่งเซรามิกสีน้ำตาลมีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยกานพลูได้สูงสุด เท่ากับ 0.0050 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$ รองลงมาคือ คาร์บอน (0.0036 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$) ส่วนการดูดซับน้ำมันหอมระเหยอบเชย พบว่าแท่งคาร์บอนและแท่งเซรามิกสีน้ำตาลมีการดูดซับได้สูงสุด (0.0067 ± 0.0002 และ 0.0065 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$ ตามลำดับ) การดูดซับน้ำมันหอมระเหยกานพลูของคาร์บอนที่ผ่านการปฏิบัติพลาสมาโดยใช้แก๊สอาร์กอนและฮีเลียมพลาสมาเพียงอย่างเดียว มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการดูดซับเท่ากับ 0.0036 ± 0.0002 และ 0.0035 ± 0.0001 $\mu\text{L}/\text{mg}$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอาร์กอนและฮีเลียมพลาสมาที่มีระบบไอน้ำร่วมด้วยไม่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการดูดซับน้ำมันหอมระเหยกานพลูของแท่งคาร์บอน น้ำมันกานพลูมีปริมาณการระเหยต่ำจากแท่งคาร์บอนในช่วง 8 ชั่วโมงแรก จากนั้นมีปริมาณการระเหยเพิ่มขึ้นเป็น 40-50% ในวันที่ 3 ของการทดสอบ และ 50-60% ในวันที่ 14 ของการทดสอบ อีกทั้งการระเหยของน้ำมันกานพลูจากแท่งคาร์บอนไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการผ่านพลาสมา ดังนั้นควรที่จะทำการศึกษาหาสภาวะต่าง ๆ ของเทคโนโลยีพลาสมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิววัสดุตัวกลางสำหรับการนำน้ำมันหอมระเหยและวัสดุตัวกลางไปประยุกต์ใช้ควบคุมไรผึ้งต่อไป

คำสำคัญ: *Tropilaelaps* เทคโนโลยีพลาสมาเย็น
น้ำมันหอมระเหยกานพลู การดูดซับ การระเหย

คำนำ

อุตสาหกรรมการเลี้ยงผึ้งถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของไทยเป็นอย่างมาก โดยแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออกน้ำผึ้งและผลิตภัณฑ์จากผึ้ง รวมมูลค่าประมาณ 48,000 ล้านบาท และการส่งออกมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นทุกปี อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเกษตรกรผู้เลี้ยงผึ้งได้ประสบปัญหาในการเลี้ยงผึ้งหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาเรื่องโรคและไรศัตรูผึ้ง ไรที่ก่อให้เกิดความเสียหายในรังผึ้งมากที่สุดมี 2 ชนิด คือ *Tropilaelaps* และ *Varroa* ซึ่งวิธีการที่ใช้ในควบคุมไรส่วนใหญ่จะเป็นการใช้สารเคมี เช่น กรดฟอร์มิก ฟลูวาลิเนต ฟลูเมทริน และอะมิทราซ เป็นต้น (Camphor *et al.*, 2005; Kongpitak *et al.*, 2008) แต่การใช้สารเคมีส่งผลให้มีการตกค้างของสารเคมีในน้ำผึ้ง ผลิตภัณฑ์จากผึ้ง และในรังผึ้ง (Mullin *et al.*, 2010; Chaimanee *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาวิจัยพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชหลายชนิดมีประสิทธิภาพในการฆ่าและควบคุมไรศัตรูผึ้งได้ (Colin *et al.*, 2019; Chaimanee *et al.*, 2021; Hybl *et al.*, 2021) แต่เมื่อนำไปทดสอบในสภาวะจริงในรังผึ้งนั้นพบว่าประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยดังกล่าวออกฤทธิ์ควบคุมไรได้ไม่ดีเท่าที่ควร (Emsen *et al.*, 2007; Boonmee *et al.*, 2022) โดยปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยต่อการควบคุมไรในรังผึ้ง เช่น ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหย และวัสดุตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับและการระเหยรวมถึงปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการคัดเลือกวัสดุตัวกลาง และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่เพื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ควบคุมไรผึ้งจากน้ำมันหอมระเหยทดแทนการใช้สารเคมี จึงเป็นสิ่งต้องการในอุตสาหกรรมการเลี้ยงผึ้ง เทคโนโลยีพลาสมาเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีความน่าสนใจเนื่องจากพลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ (Ionized particles) เช่น อิเล็กตรอน ไอออน Reactive Oxygen

Species (ROS) และ Reactive Nitrogen Species (RNS) (O , O_2^+ , O_3 , OH , NO และ NO_2) (Yanling *et al.*, 2014; Kaushik *et al.*, 2019) ซึ่งอนุภาคเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุได้ (Zhang *et al.*, 2017; Czykowski *et al.*, 2019) พลาสมาสามารถใช้ก๊าซตั้งต้นที่หลากหลายในการผลิตได้ ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้ก๊าซอาร์กอน (Ar) ฮีเลียม (He) ออกซิเจน (O_2) ไนโตรเจน (N_2) ไฮโดรเจน (H_2) หรือก๊าซผสม ทั้งนี้จะแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ (Liu *et al.*, 2018) นอกจากชนิดของก๊าซตั้งต้นแล้วอัตราการไหลของก๊าซ ระยะเวลาในการบำบัดพลาสมา กำลังไฟฟ้า และอื่น ๆ ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการคัดเลือกวัสดุตัวกลางรูพรุนมาทดสอบการดูดซับและระเหยน้ำมันหอมระเหย และศึกษาปัจจัยในการผลิตพลาสมาในระดับความดัน

บรรยากาศต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุตัวกลาง เพื่อเพิ่มศักยภาพในการดูดซับและระเหยน้ำมันหอมระเหยสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมโรคศัตรูพืช

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุตัวกลางและน้ำมันหอมระเหย

นำวัสดุรูพรุนจำนวน 3 ชนิด คือ แท่งเซรามิกสีน้ำตาล (Brown ceramic bar) แท่งเซรามิกผิวเรียบสีขาว (white ceramic smooth bar) และแท่งคาร์บอน (Carbon) (Figure 1) มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันหอมระเหยจำนวน 2 ชนิด คือ น้ำมันหอมระเหยกานพลู (*Syzygium aromaticum*) (CAS No. 8000-34-8/84961-50-2) และน้ำมันหอมระเหยอบเชย (*Cinnamomum* sp.) (Product code P0128351) ที่ซื้อมาจากบริษัทยูเนี่ยนชาयน์ จำกัด



Figure 1 The porous media used in this study

การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำมันหอมระเหยของวัสดุตัวกลาง

ชั่งน้ำหนักวัสดุรูปทรงแต่ละชนิดก่อนแช่ในน้ำมันหอมระเหยกานพลูและอบเชยนาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาตามที่กำหนด ชั่งน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยส่วนเกินออกด้วยกระดาษกรอง จดบันทึกค่าน้ำหนักก่อนและหลังแช่ โดยปริมาณการดูดซับน้ำมันหอมระเหยคำนวณเทียบจากกราฟมาตรฐาน ซึ่งจะแสดงในหน่วยของไมโครลิตรของน้ำมันหอมระเหยต่อมิลลิกรัมน้ำหนักแห้งของวัสดุ (μl of EO/mg of dry material) (Junka *et al.*, 2019)

การทดสอบอัตราการระเหยน้ำมันหอมระเหยของวัสดุตัวกลาง

วิเคราะห์ปริมาณการระเหยของน้ำมันหอมระเหยกานพลู เป็นระยะเวลา 14 วัน โดยทำการชั่งน้ำหนักวัสดุแต่ละชิ้นก่อนแช่น้ำมันหอมระเหย (W0) นำวัสดุไปแช่ในน้ำมันหอมระเหยนาน 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักน้ำมันหอมระเหยส่วนเกินออกด้วยกระดาษกรอง และชั่งน้ำหนักวัสดุหลังแช่น้ำมันหอมระเหย (W1) นำวัสดุไปวางในตู้อบที่อุณหภูมิ 30°C. ชั่งน้ำหนักวัสดุหลังอบทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นชั่งทุก ๆ 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 14 วัน (W2) วิเคราะห์ปริมาณการระเหยของน้ำมันหอมระเหยดังนี้ (Gaire *et al.*, 2019)

% การระเหย (Evaporation) =

$$\frac{\text{ปริมาณที่ระเหย (W1 - W2)}}{\text{ปริมาณที่ดูดซับ (W1 - W0)}} \times 100$$

การปรับปรุงพื้นผิววัสดุตัวกลางชนิดแท่งคาร์บอนด้วยเทคโนโลยีพลาสมาความดันบรรยากาศแบบเจ็ท

โครงสร้างของระบบพลาสมาความดันบรรยากาศแบบเจ็ทร่วมกับระบบไอน้ำที่ใช้สำหรับงานวิจัย แสดงดัง Figure 2 หัวจ่ายพลาสมาเจ็ทใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นตัวนำไฟฟ้า (Electrode) และใช้ควอตซ์ (Quartz) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าแรงดันสูง พลาสมาสร้างขึ้นด้วยแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย 4.758 กิโลโวลต์ และความถี่ 829.901 กิโลเฮิร์ต (Tektronix, USA) จากนั้นนำแท่งคาร์บอนซึ่งมีลักษณะที่ไม่แข็งมากและมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหอมระเหยกานพลูและอบเชยได้ดี (จากผลการทดลองการดูดซับ) มาผ่านการปฏิบัติพลาสมาในสถานะที่กำหนดจำนวน 6 สภาวะ ดังนี้ 1) แก๊สอาร์กอนที่มีอัตราการไหล เท่ากับ 0.50 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 3 นาที 2) แก๊สอาร์กอนที่มีอัตราการไหล เท่ากับ 0.50 ลิตรต่อนาที ร่วมกับระบบไอน้ำ 2% เป็นระยะเวลา 3 นาที 3) แก๊สฮีเลียมที่มีอัตราการไหล เท่ากับ 0.50 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 3 นาที 4) แก๊สฮีเลียมที่มีอัตราการไหล เท่ากับ 0.50 ลิตรต่อนาที ร่วมกับระบบไอน้ำ 2% เป็นระยะเวลา 3 นาที และ 5) กลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับการปฏิบัติพลาสมา กำหนดกลุ่มการทดลองละ 6 ซ้ำ กำหนดระยะห่างระหว่างหัวพลาสมาเจ็ทกับพื้นผิวของวัสดุตัวกลางเท่ากับ 2.0 เซนติเมตร จากนั้นนำวัสดุไปวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับและปริมาณการระเหยของน้ำมันหอมระเหยกานพลู ตามรายละเอียดที่อธิบายข้างต้น

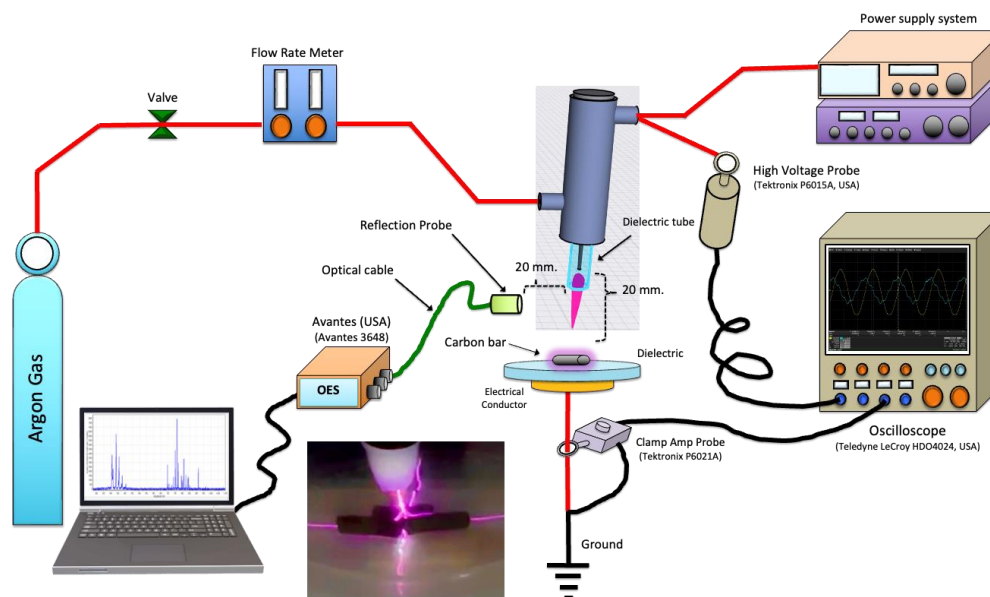


Figure 2 Schematic diagram of the atmospheric-pressure plasma jet system

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม JMP® เวอร์ชัน 11.2 สำหรับ Mac (SAS Institute Inc.) ใช้วิธี Shapiro-Wilk test เพื่อทดสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ One-way ANOVA และ Tukey-HSD สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ และใช้ Non-parametric test (Kruskal-Wallis test) และ Steel-Dwass posthoc multiple comparison test สำหรับข้อมูลที่ไม่ปกติ

ผลการวิจัย

ชนิดของวัสดุรูปทรงต่อการดูดซับน้ำมันหอมระเหย

จากการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันหอมระเหยของวัสดุรูปทรง 3 ชนิด พบว่าแท่งเซรามิกสีน้ำตาลมีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยกานพลูได้สูงที่สุด (ANOVA, $p < 0.0001$) เท่ากับ 0.0050 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$ รองลงมา คือ แท่งคาร์บอนและแท่งเซรามิกผิวเรียบสีขาวมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหอมระเหยกานพลูได้เท่ากับ 0.0036 ± 0.0002 และ 0.0020 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$ ตามลำดับ (Figure 3) ส่วนการดูดซับน้ำมันหอมระเหยอบเชย พบว่าแท่งคาร์บอนและแท่งเซรามิกสีน้ำตาลมีการดูดซับได้สูงสุด (0.0067 ± 0.0002 และ 0.0065 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$ ตามลำดับ) และแท่งเซรามิกผิวเรียบสีขาวมีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่ำที่สุด เท่ากับ 0.0034 ± 0.0002 $\mu\text{L}/\text{mg}$

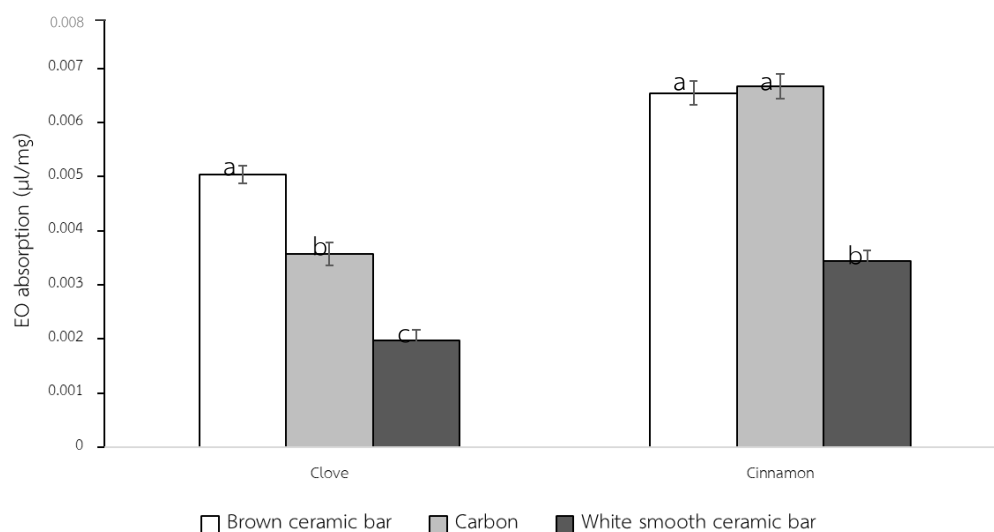


Figure 3 Absorption capacity of clove and cinnamon essential oils by brown ceramic bar, carbon and white smooth ceramic bar. Different lowercase letters represent significant difference ($p<0.05$).

ประสิทธิภาพของเทคโนโลยีพลาสมาเพื่อการปรับปรุงพื้นผิววัสดุคาร์บอนสำหรับการดูดซับและระเหยของน้ำมันหอมระเหยกานพลู

จากการนำแท่งคาร์บอนมาผ่านการปฏิบัติพลาสมาโดยใช้แก๊สอาร์กอนและฮีเลียมร่วมกับระบบไอน้ำ พบว่าทั้งระบบอาร์กอนและฮีเลียมพลาสมาเพียงอย่างเดียวและที่มีไอน้ำร่วมด้วย ไม่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการดูดซับน้ำมันหอมระเหยกานพลูของแท่งคาร์บอน เมื่อเปรียบเทียบกับแท่งคาร์บอนที่ไม่ได้ผ่านพลาสมา (ANOVA, $P>0.05$) (Figure 4a) อย่างไรก็ตาม การดูดซับกานพลูของคาร์บอนที่ผ่านการใช้อาร์กอนและฮีเลียมพลาสมาเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มลดลง โดยมีการดูดซับเท่ากับ 0.0036 ± 0.0002 และ 0.0035 ± 0.0001 $\mu\text{L/mg}$ ตามลำดับ ส่วนปริมาณการระเหยของน้ำมัน

กานพลูในแท่งคาร์บอน พบว่าอาร์กอนพลาสมาและฮีเลียมพลาสมาไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการระเหยของน้ำมันกานพลูบนแท่งคาร์บอนอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลาทดสอบ ยกเว้นวันที่ 2 ของการทดลอง โดยน้ำมันกานพลูมีปริมาณการระเหยต่ำในช่วง 8 ชั่วโมงแรก และในวันที่ 2 ของการทดลองพบว่า คาร์บอนที่ผ่านการบำบัดด้วยอาร์กอนร่วมกับไอน้ำมีปริมาณการระเหยสูงที่สุด เท่ากับ $46.250\pm1.987\%$ (ANOVA, $p=0.0156$) ส่วนคาร์บอนที่ผ่านฮีเลียมพลาสมาร่วมกับไอน้ำมีเปอร์เซ็นต์การระเหยน้อยที่สุด เท่ากับ 38.011 ± 1.519 (Table 1) จากนั้นมีการระเหยเพิ่มขึ้นเป็น 40-50% ในวันที่ 3 ของการทดลอง โดยน้ำมันกานพลูมีปริมาณการระเหยบนวัสดุตัวกลางที่ทดสอบประมาณ 50-60% ในวันที่ 14 ของการทดสอบ (Figure 4b และ Table 1)

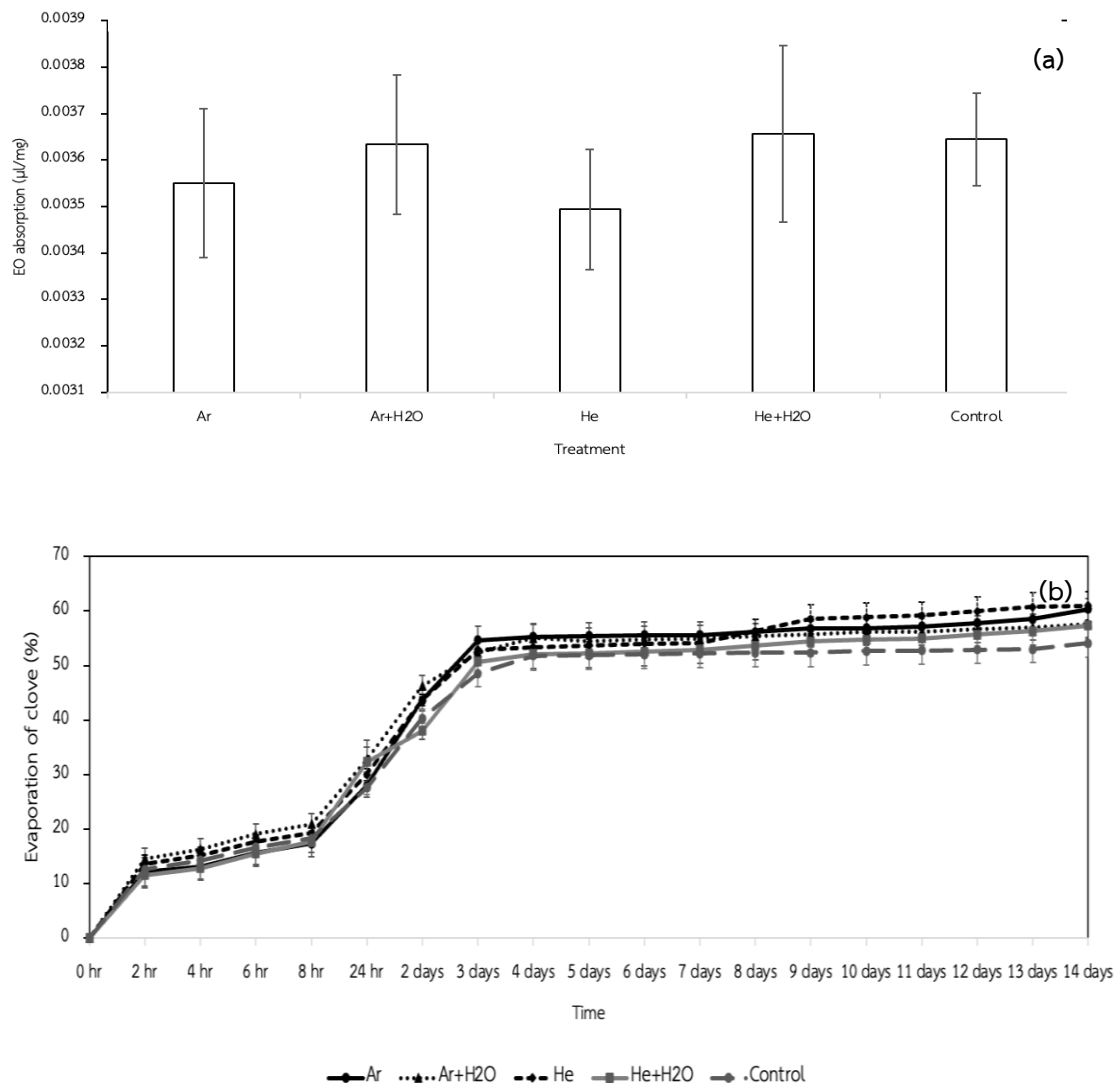


Figure 4 Absorption capacity (a) and evaporation rate (b) of clove essential oil from carbon treated with argon and helium plasma jet (n = 6/treatment group). Comparisons of evaporation were made between treatment at each time interval ($p < 0.05$).

Table 1 Percentage of evaporation of clove essential oil from carbon treated with argon and helium plasma jet (n = 6/treatment group) for 14 days

Time	Evaporation of clove (%)*				
	Ar	Ar+H ₂ O	He	He+H ₂ O	Control
0 hr	0.000±0.000 ^{ns}	0.000±0.000 ^{ns}	0.000±0.000 ^{ns}	0.000±0.000 ^{ns}	0.000±0.000 ^{ns}
2 hr	12.078±2.621 ^{ns}	14.543±1.946 ^{ns}	13.641±1.662 ^{ns}	11.570±2.337 ^{ns}	12.613±0.695 ^{ns}
4 hr	13.057±2.465 ^{ns}	16.267±1.915 ^{ns}	15.124±1.467 ^{ns}	12.854±2.092 ^{ns}	14.233±0.613 ^{ns}
6 hr	15.628±2.389 ^{ns}	19.042±1.945 ^{ns}	17.625±1.314 ^{ns}	15.518±1.973 ^{ns}	16.593±0.660 ^{ns}
8 hr	17.318±2.411 ^{ns}	20.884±1.943 ^{ns}	19.199±1.286 ^{ns}	17.620±1.889 ^{ns}	18.308±0.716 ^{ns}
24 hr	27.938±2.149 ^{ns}	32.780±2.335 ^{ns}	30.006±1.084 ^{ns}	32.334±3.966 ^{ns}	27.547±1.151 ^{ns}
2 days	43.622±1.925 ^{ab}	46.250±1.987 ^a	43.657±1.018 ^{ab}	38.011±1.519 ^b	40.287±1.675 ^{ab}
3 days	54.656±2.583 ^{ns}	52.379±2.121 ^{ns}	52.934±1.817 ^{ns}	50.689±2.290 ^{ns}	48.577±2.375 ^{ns}
4 days	55.262±2.445 ^{ns}	55.008±2.497 ^{ns}	53.362±1.915 ^{ns}	52.090±2.583 ^{ns}	51.763±2.589 ^{ns}
5 days	55.450±2.391 ^{ns}	54.441±2.535 ^{ns}	53.701±1.898 ^{ns}	52.160±2.609 ^{ns}	51.877±2.549 ^{ns}
6 days	55.582±2.387 ^{ns}	54.749±2.486 ^{ns}	53.998±1.827 ^{ns}	52.501±2.599 ^{ns}	52.012±2.543 ^{ns}
7 days	55.612±2.382 ^{ns}	54.877±2.482 ^{ns}	54.093±1.979 ^{ns}	52.913±2.552 ^{ns}	52.210±2.534 ^{ns}
8 days	56.140±2.322 ^{ns}	55.324±2.427 ^{ns}	56.303±2.190 ^{ns}	53.591±2.518 ^{ns}	52.312±2.549 ^{ns}
9 days	56.749±2.287 ^{ns}	55.749±2.384 ^{ns}	58.492±2.642 ^{ns}	54.415±2.576 ^{ns}	52.372±2.546 ^{ns}
10 days	56.853±2.290 ^{ns}	56.112±2.438 ^{ns}	58.855±2.676 ^{ns}	54.750±2.555 ^{ns}	52.625±2.471 ^{ns}
11 days	57.147±2.368 ^{ns}	56.205±2.428 ^{ns}	59.126±2.591 ^{ns}	54.994±2.523 ^{ns}	52.760±2.483 ^{ns}
12 days	57.830±2.293 ^{ns}	56.645±2.403 ^{ns}	59.945±2.618 ^{ns}	55.683±2.549 ^{ns}	52.903±2.481 ^{ns}
13 days	58.528±2.322 ^{ns}	57.032±2.408 ^{ns}	60.736±2.631 ^{ns}	56.332±2.614 ^{ns}	52.963±2.478 ^{ns}
14 days	60.352±2.009 ^{ns}	57.658±2.465 ^{ns}	60.960±2.582 ^{ns}	57.326±2.566 ^{ns}	54.090±2.533 ^{ns}

* ns = not significant Comparisons of evaporation were made between treatment at each time interval (p<0.05). Different letters indicate statistically significant difference

วิจารณ์ผลการวิจัย

ไร *Varroa* และ *Tropilaelaps* ถือเป็นศัตรูผึ้งที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงผึ้งทั่วโลก ซึ่งวิธีการควบคุมการระบาดของไรที่นิยมใช้กัน คือ การใช้สารเคมีกำจัดไร ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายต่อการใช้ ราคาถูก และค่อนข้างมีประสิทธิภาพดีในการควบคุม

การระบาดของไร อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อผึ้ง ราชินีผึ้ง รวมถึงก่อให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในน้ำผึ้งและผลิตภัณฑ์จากผึ้งด้วย ปัจจุบันมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับน้ำมันหอมระเหยหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการฆ่าไรศัตรูผึ้ง *Tropilaelaps* ได้ ในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ เช่น กานพลู กระวาน ตะไคร้หอม และยูคาลิปตัส เป็นต้น (Nuanjohn and

Chaimanee, 2019; Chaimanee *et al.*, 2021) แต่เมื่อนำมาทดสอบในรังผึ้งจริงนั้นพบว่าประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยยังไม่คงที่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม รวมถึงพฤติกรรมของผึ้งภายในรังเองด้วย อีกทั้งหากมีการใช้น้ำมันหอมระเหยในปริมาณที่มากเกินไปก็ส่งผลให้ผึ้งตายได้ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาเลือกใช้วัสดุตัวกลาง ปริมาณของน้ำมันหอมระเหย และวิธีการนำไปใช้ในรังผึ้งที่มีความเหมาะสม และทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งไรผึ้ง

งานวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกหาชนิดของวัสดุตัวกลางที่มีความเหมาะสมต่อการดูดซับ และการระเหยน้ำมันหอมระเหย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมไรศัตรูผึ้ง และได้มีการศึกษาการใช้เทคโนโลยีพลาสมาระดับความดันบรรยากาศในการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวของวัสดุตัวกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยน้ำมันหอมระเหยให้ยาวนานขึ้นในรังผึ้งด้วย โดยทำการคัดเลือกวัสดุตัวกลางที่มีขนาดรูพรุนแตกต่างกันและมีขายในเชิงพาณิชย์มาทดสอบ พบว่าแท่งเซรามิคสีน้ำตาล และแท่งคาร์บอน มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันหอมระเหย กานพลูและอบเชยได้สูง ส่วนเซรามิคผิวเรียบสีขาวมีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยทั้ง 2 ชนิดได้ดีที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัสดุแต่ละชนิดมีขนาดและจำนวนของรูพรุนที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้มีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยแตกต่างกันไปด้วย เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุทั้ง 3 ชนิดด้วยตาเปล่า นั้น พบว่าแท่งเซรามิคสีน้ำตาลจะมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าวัสดุอีก 2 ชนิด ซึ่งเมื่อนำไปแช่น้ำมันหอมระเหยจะพบปริมาณของน้ำมันหอมระเหยติดค้างอยู่ในรูพรุนด้วย อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณรูพรุนของวัสดุ ดังนั้นหากจะนำวัสดุดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานจริง จึงควรทำการวิเคราะห์ต่อไปเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำมากขึ้น

เมื่อนำวัสดุคาร์บอนไปผ่านการปฏิบัติพลาสมาโดยใช้แก๊สตั้งต้นเป็นอาร์กอนและฮีเลียม พบว่าไม่ได้ส่งผลต่อคุณสมบัติการดูดซับและระเหยของน้ำมันกานพลู

โดยน้ำมันกานพลูมีอัตราการระเหยเพิ่มขึ้นในช่วง 3 วันแรกของการทดลอง และมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตั้งแต่ชั่วโมงที่ 8 จากนั้นอัตราการระเหยมีค่าคงที่ ซึ่งวัสดุตัวกลางที่จะมีประสิทธิภาพในการระเหยน้ำมันหอมระเหยเพื่อควบคุมไรผึ้งได้นั้น ควรมียุทธการระเหยเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 7 วัน เพื่อครอบคลุมวงจรชีวิตของไรในรังผึ้ง โดย Boonmee *et al.* (2022) รายงานว่าเทคโนโลยีพลาสมาส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการดูดซับน้ำมันหอมระเหยของกระดาษแข็ง แต่ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในวัสดุไม่ชนิดอื่นที่มีเนื้อแข็ง ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการกัดกร่อนผิววัสดุโดยพลาสมาภายใต้สภาวะทดสอบอาจจะยังเกิดขึ้นไม่เต็มที่ ซึ่งการกัดกร่อน (Etching) พื้นผิววัสดุเป็นผลเนื่องมาจากอนุภาคที่เป็นไอออนบวกและโปรตอนที่มีความสามารถในการทำลายพันธะเคมีเดิมและก่อให้เกิดการเชื่อมโยงของพันธะ (Cross-linking) ใหม่ได้ (Li *et al.*, 2012) ซึ่งอาจจะมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไอออนบวกและโปรตอนของพลาสมา เช่น แรงดันไฟฟ้าแรงสูง ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

อย่างไรก็ตามงานวิจัยครั้งนี้ได้เพิ่มไอน้ำเข้ากับก๊าซตั้งต้นสำหรับการผลิตพลาสมา เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Reactive species เช่น OH, H, HO₂, H₂O₂, HNO₂ และ HNO₃ (Bruggeman and Schram, 2010) ที่อาจจะสามารถช่วยเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันบริเวณพื้นผิวของวัสดุหรือเพิ่มการเกิดรูพรุนของวัสดุได้ แต่ก็ยังพบว่าระบบไอน้ำที่เพิ่มเข้าไปยังไม่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุคาร์บอนได้ โดย Luan *et al.* (2019) ได้รายงานว่า การเพิ่มน้ำเข้ากับก๊าซอาร์กอน (Ar/H₂O) สามารถเพิ่มอัตราการกัดกร่อนของโพลีเมอร์ได้ รวมถึงเกิดการออกซิโดซ์พื้นผิวของโพลีเมอร์ให้มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาของน้ำต่อพื้นผิววัสดุโดยเฉพาะในระดับโมเลกุลก็ยังไม่ทราบแน่ชัด ดังนั้นควรทำการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลาสมาที่อาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ

พื้นผิวของวัสดุได้ เช่น ชนิดของแก๊ส อัตราการไหลของแก๊ส ระยะเวลาที่ใช้ รวมถึงระยะห่างระหว่างหัวเจ็ทถึงพื้นผิววัสดุ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานพื้นผิววัสดุได้ ปัจจุบันเทคโนโลยีพลาสมาได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการเปลี่ยนแปลงพื้นผิววัสดุ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวและการสังเคราะห์โพลีเมอร์ (Castro *et al.*, 2002; Yanling *et al.*, 2014; Puliyalil and Cvelbar, 2016; Macgregor and Vasilev, 2019) ดังนั้นการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลาสมาอาจจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาวัสดุหรือผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อการควบคุมไรศัตรูผึ้งได้

สรุปผลการวิจัย

แท่งคาร์บอนและเซรามิกสีน้ำตาลมีการดูดซับน้ำมันหอมระเหยจากพลูและอบเชยได้ดี เมื่อนำคาร์บอนไปผ่านการปฏิบัติพลาสมาด้วยแก๊สอาร์กอนและฮีเลียมที่มีระบบไอน้ำร่วมด้วยภายใต้อัตราการไหลของแก๊ส และระยะเวลาการปฏิบัติพลาสมาที่กำหนด ไม่ได้ส่งผลต่อการดูดซับและการระเหยของน้ำมันหอมระเหยจากพลูของแท่งคาร์บอนอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุรูปทรงที่มีขายเชิงพาณิชย์ต่อการดูดซับและระเหยน้ำมันหอมระเหยที่มีฤทธิ์ในการฆ่าไรศัตรูผึ้ง *Tropilaelaps* ซึ่งผลที่ได้อาจจะยังไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมไรในรังผึ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้จะต้องทำการศึกษาคัดเลือกวัสดุตัวกลางชนิดใหม่ หรือหาวิธีการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของวัสดุให้มีความสามารถในการระเหยน้ำมันหอมระเหยได้ยาวนานขึ้น และต้องมีการทดสอบในสภาวะจริงระดับรังผึ้งในหลาย ๆ พื้นที่เพื่อดูแนวทางของการพัฒนาไปเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมไรผึ้ง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2565 (รหัสโครงการวิจัย มจ.1-65-007)

เอกสารอ้างอิง

- Boonmee, T., L. Wongthaveethong, C. Sinpoo, T. Disayathanoowat, J.S. Pettis and V. Chaimanee, 2022. Surface modification of materials by atmospheric-pressure plasma to improve impregnation with essential oils for the control of *Tropilaelaps* mites in honeybees (*Apis mellifera*). **Appl. Sci.** 12: 5800.
- Bruggeman, P. and D.C. Schram. 2010. On OH production in water containing atmospheric pressure plasmas. **Plasma Sources Sci. Technol.** 19: 045025.
- Camphor, E.S.W., A.A. Hashmi, W. Ritter and I.D. Bowen. 2005. Seasonal changes in mite (*Tropilaelaps clareae*) and honeybee (*Apis mellifera*) populations in apistan treated and untreated colonies. **Apiacta** 40: 34-44.
- Castro Vidaurre, E.F., C.A. Achete, F. Gallo, D. Garcia, R. Simão and A.C. Habert. 2002. Surface modification of polymeric materials by plasma treatment. **Mater. Res.** 5: 37-41.

- Chaimanee, V., P. Chantawannakul, K. Khongphinitbunjong, T. Kamyo and J.S. Pettis. 2019. Comparative pesticide exposure to *Apis mellifera* via honey bee-collected pollen in agricultural and non-agricultural areas of Northern Thailand. **Journal of Apicultural Research** 58: 720-729.
- Chaimanee, V., N. Warrit, T. Boonmee and J.S. Pettis. 2021. Acaricidal activity of essential oils for the control of honeybee (*Apis mellifera*) mites *Tropilaelaps mercedesae* under laboratory and colony conditions. **Apidologie** 52: 561-575.
- Colin, T., M. Lim, S.R. Quarrell, G.R. Allen and A.B. Barron. 2019. Effects of thymol on European honey bee hygienic behaviour. **Apidologie** 50: 141-152.
- Czyłkowski, D., B. Hrycak, A. Sikora, M. Moczala-Dusanowska, M. Dors and M. Jasinski. 2019. Surface modification of polycarbonate by an atmospheric pressure argon microwave plasma sheet. **Materials** 12: 2418.
- Emsen, B., E. Guzman-Novoa and P.G. Kelly. 2007. The effect of three methods of application on the efficacy of thymol and oxalic acid for the fall control of the honey bee parasitic mite *Varroa destructor* in a Northern climate. **American Bee Journal** 147: 535-539.
- Gaire, S., M.E. Scharf and A.D. Gondhalekar. 2019. Toxicity and neurophysiological impacts of plant essential oil components on bed bugs (Cimicidae: Hemiptera). **Scientific Reports** 9: 3961.
- Hýbl, M., A. Bohatá, I. Rádsetoulalova, M. Kopecký, I. Hosticková, A. Vanickova and P. Mráz. 2021. Evaluating the efficacy of 30 different essential oils against *Varroa destructor* and honey bee workers (*Apis mellifera*). **Insects** 12: 1045.
- Junka, A., A. Zywicka, G. Chodaczek, M. Dziadas, J. Czajkowska, A. Duda-Madej, M. Barttoszewicz, K. Mikolajewicz, G. Krasowski, P. Szymczyk and K. Fijalkowski. 2019. Potential of biocellulose carrier impregnated with essential oils to fight against biofilms formed on hydroxyapatite. **Scientific Reports** 9: 1256.
- Kaushik, N.K., N. Kaushik, N.N. Linh, B. Ghimire, A. Pengkit, J. Sornsakdanuphap, S.-J. Lee and E.H. Choi. 2019. Plasma and nanomaterials: fabrication and biomedical applications. **Nanomaterials** 9: 98.
- Kongpitak, P., G. Polgar and J. Heine. 2008. The efficacy of Bayvarol[®] and Checkmite+[®] in the control of *Tropilaelaps mercedesae* in the European honey bee (*Apis mellifera*) in Thailand. **Apiacta** 43: 12-16.

- Li, X., J. Lin and Y. Qiu. 2012. Influence of He/O₂ atmospheric-pressure plasma jet treatment on subsequent wet desizing of polyacrylate on PET fabrics. **Applied Surface Science** 258: 2332-2338.
- Liu, F., B. Zhang, Z. Fang, M. Wan, H. Wan and K.K. Ostrikov. 2018. Jet-to-jet interactions on atmospheric-pressure plasma jet arrays for surface processing. **Plasma Process Polym** 15: 1700114.
- Luan, P., V.S.S.K. Kondeti, A.J. Knoll, P.J. Bruggeman and G.S. Oehrlein. 2019. Effect of water vapor on plasma processing at atmospheric pressure: polymer etching and surface modification by an Ar/H₂O plasma jet. **Journal of Vacuum Science & Technology** A37: 031305.
- Macgregor, M. and K. Vasilev. 2019. Perspective on plasma polymers for applied biomaterials nanoengineering and the recent rise of oxazolines. **Materials** 12: 191.
- Mullin, C.A., M. Frazier, J.L. Frazier, S. Ashcraft, R. Simonds, D. vanEngelsdorp and J.S. Pettis. 2010. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. **PLoS ONE** 5: e9754.
- Nuanjohn, T. and V. Chaimanee. 2019. Effectiveness of some essential oils for control of *Tropilaelaps mercedesae* mites in honey bees (*Apis mellifera* L.) **King Mongkut's Agricultural Journal** 37(1): 43-50. [in Thai]
- Puliyalil, H. and U. Cvelbar. 2016. Selective plasma etching of polymeric substrates for advanced applications. **Nanomaterials** 6: 108.
- Yanling, C., W. Yingkuan, P. Chen, S. Deng and R. Ruan. 2014. Non-thermal plasma assisted polymer surface modification and synthesis: a review. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 7: 1-9.
- Zhang, C., M. Zhao, L. Wang, L. Qu and Y. Men. 2017. Surface modification of polyester fabrics by atmospheric-pressure air/He plasma for color strength and adhesion enhancement. **Applied Surface Science** 400: 304-311.