



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การสกัดอิมิดาโคลพรีดด้วยวิธีการสกัดด้วยของเหลวโดยใช้ตัวทำละลาย
ดีปยูเทคติกจากธรรมชาติ
Solvent Extraction of Imidacloprid Using Natural-Based Deep Eutectic
Solvent

ชื่อนิสิต นางสาวพนาวรรณ ประมูลวงศ์ เลขประจำตัว 6033066623
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสกัดอิมิดาโคลพริดด้วยวิธีการสกัดด้วยของเหลวโดยใช้ตัวทำละลาย
ดีปยูเทคติกจากธรรมชาติ
Solvent Extraction of Imidacloprid Using Natural-Based
Deep Eutectic Solvent

โดย
นางสาวพนาวรรณ ประมูลวงศ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

โครงการ การสกัดอิมิดาโคลพรีดด้วยวิธีการสกัดด้วยของเหลวโดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกจากธรรมชาติ

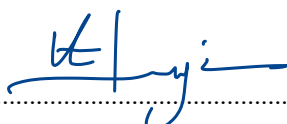
โดย นางสาวพนาวรรณ ประมูลวงศ์

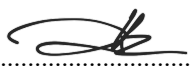
ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


คณะกรรมการสอบโครงการ

- | | |
|---|----------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนรา ธีรพิบูลย์เดช | ประธานกรรมการ |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักษณา ดุบาส | กรรมการ |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| 4. อาจารย์ ดร.นครา ภาวะเวส | อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม)
อาจารย์ที่ปรึกษา


.....
(อาจารย์ ดร.นครา ภาวะเวส)
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ โฮვნ) หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 27 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

ชื่อโครงการ การสกัดอิมิดาโคลพริตด้วยวิธีการสกัดด้วยของเหลวโดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติก
จากธรรมชาติ

ชื่อนิสิตในโครงการ นางสาวพนาวรรณ ประมูลวงศ์ เลขประจำตัว 6033066623

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อ๋มยิ้ม

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.นครา ภาวะเวส

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

อิมิดาโคลพริตเป็นยาฆ่าแมลงกลุ่มนีโอนิโคตินอยด์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในช่วงสิบปีที่ผ่านมา ซึ่งอิมิดาโคลพริตมีความเป็นพิษส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและมนุษย์ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์อิมิดาโคลพริตโดยเทคนิคการสกัดด้วยของเหลว โดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่มีองค์ประกอบจากเมนทอลและไทมอลเป็นวัฏภาคที่ใช้สกัด และตรวจวัดอิมิดาโคลพริตด้วยวิธีการดุกกลืนแสง งานนี้ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการสกัด ได้แก่ ชนิดตัวทำละลายดีปยูเทคติกและอัตราส่วน พีเอช อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก เวลาที่ใช้ในการผสมและอุณหภูมิ จากผลการศึกษาพบว่า ภาวะที่ส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการสกัด ได้แก่ อัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอล เท่ากับ 1:2 พีเอชที่เหมาะสม คือ พีเอช 6 อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก คือ 3:1 นอกจากนี้พบว่า เวลาที่ใช้ในการเขย่าผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกเข้าด้วยกัน คือ 3 นาที ซึ่งเป็นระยะที่คาดว่า การสกัดเข้าสู่สมดุล และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัด คือ 35 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่า ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม การสกัดอิมิดาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก พบว่าประสิทธิภาพของการสกัดมากกว่า 80% ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประสบความสำเร็จในการพัฒนาวิธีการสกัดด้วยของเหลว โดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ได้จากสารธรรมชาติที่มีราคาถูก ความเป็นพิษต่ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และวิธีวิเคราะห์ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ไม่ต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีราคาแพง ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของวิธีที่จะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ได้กับการวิเคราะห์ทางการเกษตรและอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: อิมิดาโคลพริต, ตัวทำละลายดีปยูเทคติก, การสกัดของเหลวด้วยของเหลว

Project Title Solvent Extraction of Imidacloprid Using Natural-Based Deep Eutectic Solvent

Student Name Miss Panawan Pramoonwong Student ID 6033066623

Advisor Name Associate Professor Apichat Imyim, Ph.D.

Co-advisor Name Nakara Bhawawet, Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2020

Abstract

Imidacloprid, a class of neonicotinoid insecticide, has been widely popular in the last decade; however, it is highly toxic and can severe ecosystems and worse human health. This work is thus aimed to develop a solvent extraction method for removal of imidacloprid from aqueous solutions using a deep eutectic solvent (DES) composed of menthol and thymol. The extraction efficiency was then evaluated by UV-Vis spectrophotometry. In the optimizations of extraction, a molar ratio of the DES components, pH, ratio between the aqueous phase and DES phase, vortex time, and temperature were investigated. The results exhibited that menthol:thymol of 1:2, among other ratios, showed the best extraction efficiency. The selected pH for the extraction was 6. The optimal ratio of the aqueous phase:DES phase was 3:1 and the vortex time of 3 min showed that the extraction was reaching an equilibrium. Also, the optimal temperature was found to be 35 °C. Under the optimum conditions, the study revealed the extraction efficiency of higher than 80%, indicating the successfully developed solvent extraction technique using natural-based DES, which is inexpensive, non-toxic, and environmentally friendly. Also, the proposed method is simple and required no complicated and expensive instruments, demonstrating a potential method for analytical applications in agriculture and other fields.

Keywords: Imidacloprid, Deep eutectic solvent and Liquid-liquid extraction

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและรายงานฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิมยิ้ม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และ อาจารย์ ดร.นศรา ภาวะเวส อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและแนวทางในการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งยังสละเวลาให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดการทำงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพร ธีรพิบูลย์เดช ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ลักษณ์า ดูปาส ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้วิชาความรู้ต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย รวมทั้งขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ของฝ่ายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนและทุนอุดหนุนในโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ดร.กชฐิณันท์ ชยวานิช นักวิจัย ที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะ และให้ความรู้ในเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รวมถึงช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย ตลอดจนนิสิตปริญญาเอกและโทในหน่วยวิจัย EARU ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำและคอยช่วยเหลือเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบิดาและมารดา ที่คอยให้คำปรึกษา ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา รวมถึงเพื่อน ๆ ในภาควิชาเคมีรุ่นที่ 86 ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 ประโยชน์งานวิจัย	5
บทที่ 2 การทดลอง	6
2.1 รายการเครื่องมือ อุปกรณ์	6
2.2 รายการสารเคมี	7
2.3 วิธีการทดลอง	7
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	13
3.1 กราฟมาตรฐานอิมิตาโคลพริต	13
3.2 ศึกษาชนิดและอัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอลของตัวทำละลายดีปยูเทคติก	14
3.3 ศึกษาพีเอชของสารละลายอิมิตาโคลพริตสำหรับการสกัด	16
3.4 ศึกษาอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริต	17
3.5 ศึกษาเวลาเขย่าผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก	19
3.6 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก	20
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	22
เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก	28
ประวัติผู้วิจัย	33

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ค่าวิกฤตของ R และ R ² ของกราฟเทียบมาตรฐาน	14
ตาราง 3.2 แสดงลักษณะตัวทำละลายดีปยูเทคติกเมนทอลต่อไทมอลที่อัตราส่วนต่าง ๆ	15
ตาราง 4.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสกัดอิมิดาโคลพริด	22
ตาราง A1 แสดงค่าที่ใช้ในการหาอัตราส่วนของตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพริด	29
ตาราง A2 แสดงค่าที่ใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพริด	29
ตาราง A3 แสดงค่าที่ใช้ในการหาอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพริด	30
ตาราง A4 แสดงค่าที่ใช้ในการหาเวลาผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพริด	31
ตาราง A5 แสดงค่าที่ใช้ในการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพริด	32

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของอิมิตาโคลพริต	2
รูปที่ 1.2 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว	3
รูปที่ 1.3 (ซ้าย) โครงสร้างเมนทอล และ (ขวา) โครงสร้างไทมอล	5
รูปที่ 2.1 ของแข็งอิมิตาโคลพริต	7
รูปที่ 2.2 การละลายของแข็งอิมิตาโคลพริต	8
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการเตรียมตัวทำละลายดีปยูเทคติกโดยใช้เมนทอลต่อไทมอล อัตราส่วน 1:2	9
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	12
รูปที่ 3.1 กราฟมาตรฐานแสดงการดูดกลืนของอิมิตาโคลพริตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 300 nm	13
รูปที่ 3.2 (ซ้าย) เมนทอล และ (ขวา) ไทมอล	15
รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก อัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอลต่าง ๆ	16
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิตาโคลพริตที่สารละลายอิมิตาโคลพริตพีเอชต่าง ๆ	17
รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิตาโคลพริตที่อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกต่าง ๆ	18
รูปที่ 3.6 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิตาโคลพริตที่เวลาในการผสมต่าง ๆ	19
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสกัดและเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสม	20
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิตาโคลพริตที่อุณหภูมิต่าง ๆ	21

สัญลักษณ์และคำย่อ

UV-Vis	Ultraviolet-visible spectrophotometry
°C	องศาเซลเซียส
μ L	ไมโครลิตร
mL	มิลลิลิตร
ppm	ส่วนในล้านส่วน
WG	Water Dispersible Granules สูตรชนิดเม็ดผสมน้ำ
rpm	รอบต่อนาที
%EE	ประสิทธิภาพการสกัด
%RSD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
SD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
\bar{X}	ค่าเฉลี่ย
DES	ตัวทำละลายดีปยูเทคติก
IM	อิมิตาโคลพริต
sec	วินาที

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับตั้งแต่สมัยโบราณมนุษย์จำเป็นต้องมีการทำเกษตรกรรมเพื่อใช้เป็นอาหารในการดำเนินชีวิต ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและใช้เวลาน้อยในการเพาะปลูก รวมทั้งเพื่อป้องกันและกำจัดการรบกวนจากแมลงศัตรูพืชและโรคพืชต่าง ๆ จึงได้เริ่มมีการใช้ยาฆ่าแมลง โดยยาฆ่าแมลงเกิดขึ้นครั้งแรกจากการใช้สารประกอบกำมะถัน เพื่อควบคุมแมลงและไร จนกระทั่งในปีค.ศ. 1940 ยาฆ่าแมลงสังเคราะห์ได้ถือกำเนิดขึ้นและกลายเป็นสิ่งสำคัญต่อเกษตรกรรมจนถึงทุกวันนี้

ในปัจจุบันหนึ่งในยาฆ่าแมลงที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก คือ “อิมิดาโคลพริด” (Imidacloprid) ซึ่งเป็นยาฆ่าแมลงสังเคราะห์กลุ่มใหม่ และเป็นยาฆ่าแมลงชนิดแรกในกลุ่มเคมีที่ได้รับการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ โดยยาฆ่าแมลงที่ใช้ในการเกษตรส่วนใหญ่เป็นสารพิษอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์จากการใช้หรือสัมผัสทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษในร่างกายได้ทั้งแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง [1] นอกจากนี้ยาฆ่าแมลงยังอาจปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางน้ำซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของน้ำบริเวณผิวดินและน้ำบริเวณใต้ดินลดลงอย่างมาก โดยหากบริเวณแหล่งน้ำเหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้เป็นตัวนำทางการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ก็จะทำให้มีโอกาสที่มนุษย์จะสัมผัสกับสารกำจัดศัตรูพืชได้มาก

วิธีที่จะสามารถตรวจวัดและกำจัดยาฆ่าแมลงมีหลากหลาย ได้แก่ กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced oxidation processes; AOPs) [2], กระบวนการดูดซับ (Adsorption process) [3], วิธีการสกัด (Extraction method) [4], กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological degradation) และกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalytic degradation) [5] แต่หนึ่งในวิธีที่นิยมมากที่สุดคือเทคนิคการสกัดด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction; LLE) ซึ่งเป็นเทคนิคคลาสสิกที่ใช้ในการสกัดยาฆ่าแมลง มีข้อดีคือความสามารถในการแยกสูงและง่าย แต่ข้อเสียของเทคนิคนี้คือ ต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัด ซึ่งมักมีความเป็นพิษและต้องใช้เวลาปริมาณมาก [6] ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ โดยการนำตัวทำละลายชนิดใหม่ ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีราคาถูก เตรียมได้ง่าย มาใช้ในเทคนิคการสกัดด้วยของเหลว ซึ่งหนึ่งในชนิดของตัวทำละลายที่น่าสนใจคือตัวทำละลายดีปยูเทคติก (Deep Eutectic Solvents, DESs) ซึ่งยังไม่เป็นที่ศึกษาใช้กันอย่างแพร่หลายมากนัก [5, 7-8]

ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์ โดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็นตัวสกัดในการสกัดยาฆ่าแมลงอิมิดาโคลพริดด้วยเทคนิคการสกัดด้วยของเหลว โดยใช้วิธี UV-Vis Spectrophotometry ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณยาฆ่าแมลง

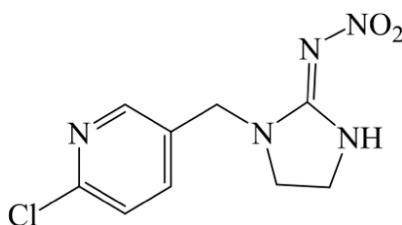
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์โดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในการสกัดอิมิดาโคลพริตในสารละลายน้ำ รวมถึงการใช้อุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่าย มีราคาถูกและสามารถออกแบบขึ้นมาเองได้ให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

โดยขอบเขตของงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาชนิดและอัตราส่วนขององค์ประกอบของตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ ภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ พีเอชของสารละลาย อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก เวลาในการเขย่าผสมของสองวัฏภาค และอุณหภูมิ โดยใช้เทคนิค UV-Vis Spectrophotometry ในการวิเคราะห์ปริมาณของอิมิดาโคลพริต และประเมินประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยาฆ่าแมลง มีแหล่งกำเนิดจากทางชีวภาพหรือเคมี เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการควบคุมและกำจัดแมลงในด้านเกษตรกรรม พืชสวนและป่าไม้ [9-10] โดยยาฆ่าแมลงสามารถแบ่งได้เป็นหลายกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต กลุ่มออร์กาโนคลอรีน กลุ่มนีโอนิโคตินอยด์ กลุ่มอะมิทรากซ์ และกลุ่มไพโรนิล เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันหนึ่งในยาฆ่าแมลงที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลก คือ อิมิดาโคลพริต หรือ 1-[(6-chloro-3-pyridinyl)methyl]-N-nitro-2-imidazolidinimine [9] ดังรูปที่ 1.1 เป็นยาฆ่าแมลงกลุ่มนีโอนิโคตินอยด์ มีการออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทคล้ายกับนิโคติน ซึ่งอิมิดาโคลพริตนี้เป็นยาฆ่าแมลงประเภทดูดซับที่สามารถเข้าทางใบ ดินและเมล็ดได้ ใช้ในการควบคุม ป้องกันและกำจัดแมลงปากแบบกัดกินและแมลงปากแบบดูด [11-12] โดยอิมิดาโคลพริตจะมีความเป็นพิษต่อแมลงสูงแต่มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมต่ำ เมื่อเทียบกับยาฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและกลุ่มออร์กาโนคลอรีน [13-14] แต่เนื่องจากความนิยมและมีการใช้งานของอิมิดาโคลพริตที่เพิ่มขึ้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศที่ไม่ใช่เป้าหมายอย่างเห็นได้ชัด เช่น ผึ้ง ค้างคาว ปลาและกุ้ง เป็นต้น รวมทั้งความเป็นพิษที่เกิดต่อมนุษย์จะส่งผลให้ระบบหายใจล้มเหลวอย่างรุนแรงและสติสัมปชัญญะลดลง [13-14]

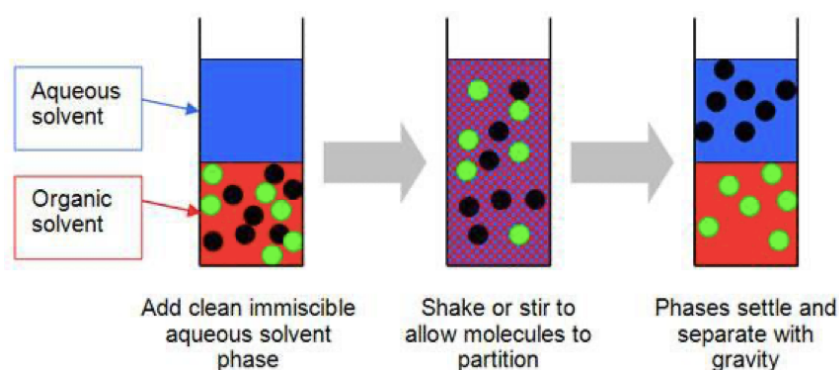


รูปที่ 1.1 โครงสร้างของอิมิดาโคลพริต

เนื่องจากอิมิดาโคลพริตเป็นยาฆ่าแมลงที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ซึ่งอิมิดาโคลพริตสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ได้ จึงมีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดยาฆ่าแมลงชนิดนี้ โดยมีหลายเทคนิคที่ใช้ในการสกัดยาฆ่าแมลงจากแหล่งน้ำ ได้แก่ เทคนิคการสกัด

ด้วยวัฏภาคของแข็ง (solid-phase extraction; SPE) [15] เทคนิคการสกัดของเหลวด้วยของเหลว (liquid-liquid extraction; LLE) [5, 16] เทคนิค QuEChERS [17] เทคนิคการสกัดระดับจุลภาคด้วยวัฏภาคของแข็ง (solid-phase microextraction; SPME) [18] และเทคนิคการสกัดระดับจุลภาคด้วยของเหลวแบบกระจาย (dispersive liquid-liquid microextraction; DLLME) [19] เป็นต้น

โดยในการศึกษานี้เลือกใช้เทคนิคการสกัดด้วยของเหลว ซึ่งเป็นเทคนิคการแยกตัวอย่างเฉพาะซึ่งจะขึ้นกับการแยกส่วนระหว่างสารละลายที่เป็นน้ำและสารละลายที่เป็นสารอินทรีย์ [20-21] ดังแสดงตัวอย่างในรูป 1.2 [22] ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดี คือ เรียบง่าย อุปกรณ์ราคาไม่แพง เชื่อถือได้ สามารถปรับให้เข้ากับประเภทของตัวอย่างและการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันได้ [6, 16] แต่มีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานาน ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัดมีความเป็นพิษและใช้ปริมาณมาก [6, 20, 23-25] จึงจำเป็นต้องหาตัวทำละลายทางเลือกอื่นมาแทนตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์นั้นนอกจากจะมีความเป็นพิษสูงแล้ว ยังไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ บางชนิดมีจุดเดือดต่ำ และสามารถติดไฟได้ [26]



รูปที่ 1.2 กระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลว [22]

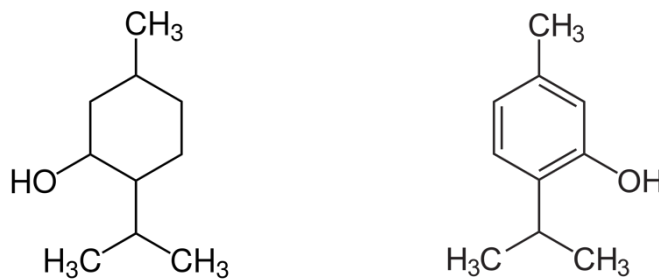
ตัวทำละลายดีปยูเทคติก เป็นตัวทำละลายทางเลือกรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นมาเพื่อชดเชยข้อเสียของของเหลวไอออนิก (Ionic liquids; ILs) ซึ่งจัดว่าเป็นตัวทำละลายทางเลือกเช่นเดียวกัน หากแต่ของเหลวไอออนิกมีความเป็นพิษสูงกว่า บางชนิดไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ มีการสังเคราะห์ที่ซับซ้อนมากกว่าในการทำให้บริสุทธิ์ และสารตั้งต้นมีราคาสูง [26] ในขณะที่ตัวทำละลายดีปยูเทคติก เป็นตัวทำละลายทางเลือกใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า มีราคาถูกกว่า มีความเป็นพิษน้อยมาก รวมทั้งยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [7-8, 27-28] ตัวทำละลายดีปยูเทคติกเกิดจากการผสมกันระหว่างตัวรับพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond Acceptors; HBA) กับตัวให้พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond Donors; HBD) [29-30] ผ่านการเกิดพันธะไฮโดรเจน [31] ซึ่งตัวทำละลายดีปยูเทคติกจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสารตั้งต้น [31-33] และมีเสถียรภาพทางความร้อน [27] โดยชื่อ “ตัวทำละลายดีปยูเทคติก” นี้ได้เสนอโดย Abbott และคณะ [34] ที่ค้นพบจากการผสมของแข็งสองชนิดที่มีจุดหลอมเหลวสูง คือ choline chloride ((2-hydroxyethyl)trimethylammonium chloride) (จุดหลอมเหลว 133°C) กับ urea (จุดหลอมเหลว 302°C) ในอัตราส่วน 1:2 และได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (จุดหลอมเหลว 12°C) [35-36]

ตัวทำละลายดีปยูเทคติกสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย ได้แก่ งานทางไฟฟ้าเคมี, นาโนเทคโนโลยี, การรักษาเสถียรภาพของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ, การสกัดและการแยก, การเร่งปฏิกิริยา, การสังเคราะห์สารอินทรีย์ และอื่น ๆ [2-5, 7, 20, 22] สำหรับการนำตัวทำละลายดีปยูเทคติกมาใช้ในการสกัดยาฆ่าแมลงอิมิดาโคลพริต เกิดขึ้นครั้งแรกในปี 2017 Florindo และคณะ [5] ได้พัฒนาและศึกษาพฤติกรรมของตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ไม่ชอบน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการสกัดยาฆ่าแมลง 4 ชนิด ได้แก่ Imidacloprid, Acetamiprid, Nitenpyram และ Thiamethoxam จากสารละลายเจือจาง และทำการวิเคราะห์อิมิดาโคลพริตด้วยเทคนิค UV-Vis Spectrophotometry โดยตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ไม่ชอบน้ำที่เลือกใช้คือ DL-Menthol ต่อ octanoic acid, DL-Menthol ต่อ decanoic acid และ DL-Menthol ต่อ dodecanoic acid พบว่า ตัวทำละลายดีปยูเทคติก DL-Menthol ต่อ octanoic acid สามารถสกัดยาฆ่าแมลงทั้ง 4 ชนิด ได้ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับตัวทำละลายดีปยูเทคติกชนิดอื่น และประสิทธิภาพการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกถูกนำมาเทียบกับประสิทธิภาพการสกัดด้วยของเหลวไอออนิก และพบว่าประสิทธิภาพการสกัดด้วยของเหลวไอออนิกนั้นมีค่าสูงกว่า โดยข้อดีงานวิจัยนี้คือ ตัวทำละลายดีปยูเทคติก DL-Menthol ต่อ octanoic acid มีความเสถียรในน้ำและสามารถสกัดยาฆ่าแมลงได้ประสิทธิภาพการสกัดสูง เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์อิมิดาโคลพริตสามารถทำได้ง่าย ราคาไม่สูงมาก แต่ข้อด้อยคือ เมื่อได้เปรียบเทียบกับของเหลวไอออนิกถือว่ายังได้ประสิทธิภาพการสกัดที่ต่ำกว่า อีกทั้งวิธีการที่ใช้ในการสกัดยาฆ่าแมลงนั้นยังใช้เวลานาน

ในปี 2020 Chen และคณะ [37] ได้ทำการสกัดอิมิดาโคลพริตที่ตกค้างจากตัวอย่างผลไม้และผักด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกโดยวิธีการสกัดด้วยของเหลว และใช้โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography; HPLC) ในการวิเคราะห์หาปริมาณอิมิดาโคลพริต ผลที่ได้พบว่า ตัวทำละลายดีปยูเทคติก glycerol ต่อ proline เป็นตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวทำละลายดีปยูเทคติกชนิดอื่น ๆ ซึ่งข้อดีของงานวิจัยนี้คือ ประสิทธิภาพการสกัดที่ได้มีค่าสูง เครื่องมือมีความแม่นยำ แต่เครื่องมือนี้มีราคาสูง ใช้เวลานานในการวิเคราะห์ ต้องมีความชำนาญในการใช้งาน ในปีเดียวกันนั้น Kachangoon และคณะ [14] ทำศึกษาตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริตที่ตกค้างอยู่ในตัวอย่างน้ำ ดิน และยูเรียด้วยวิธีการสกัดแบบ could-point และใช้โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงในการวิเคราะห์ปริมาณอิมิดาโคลพริต พบว่าตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมคือ choline chloride ต่อ phenol อัตราส่วน 1:5 ซึ่งผลที่ได้จากการวัดด้วยโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงพบว่าประสิทธิภาพสูง รวมทั้งขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of detection, LOD) ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดสารตกค้างสูงสุดที่ยอมรับได้ (MRLs) ซึ่งข้อดีของงานวิจัยนี้คือ วิธีการที่ใช้สกัดมีเวลาสั้น และให้ประสิทธิภาพสูง แต่ข้อด้อยคือเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอิมิดาโคลพริตใช้เวลานาน เครื่องมือมีราคาแพง ต้องใช้ผู้มีความชำนาญ นอกจากนี้ Khanehzer และคณะ [38] ทำการพัฒนาวิธี QuEChERS รวมเข้ากับวิธี DLLME โดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็นสารสกัดเพื่อใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริตจากพิสตาชิโอ และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง พบว่า trioctylmethylammonium chloride (TOMAC) และ isoamyl alcohol ในอัตราส่วน 1:4 เป็นตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสม และวิธี QuEChERS รวมเข้ากับวิธี DLLME สามารถวิเคราะห์อิมิดาโคลพริตในพิสตาชิโอได้อย่างแม่นยำและมีความเที่ยงสูง แต่เครื่องทำใช้ในการวิเคราะห์มีราคาสูง และต้องมีความชำนาญในการใช้งาน และในปีเดียวกัน Mogaddam และคณะ [39] ทำ

การประยุกต์ใช้พลังงานอัลตราโซนิกสำหรับสังเคราะห์ตัวทำละลายดีปยูเทคติกและใช้วิธีการสกัดระดับจุลภาคด้วยวัฏภาคของเหลว (liquid-phase microextraction; LPME) ในการสกัดอิมิตาโคลพริตในผลไม้สดและวิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ผลที่ได้พบว่า ตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมคือ 1:100 choline chloride:hexanoic acid ประสิทธิภาพการสกัดดี โดยข้อดีคือ วิธีที่ใช้ในการสกัดใช้ปริมาณตัวอย่างและตัวทำละลายดีปยูเทคติกน้อย

เมื่อเทียบกับการสกัดยาฆ่าแมลงโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีมาช้านาน จะเห็นได้ว่าการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกยังมีการใช้งานที่น้อยมาก และยังต้องการการพัฒนาทั้งวิธีวิเคราะห์และตัวทำละลายดีปยูเทคติกอีกมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้พัฒนาวิธีการสกัดและวิเคราะห์อิมิตาโคลพริตโดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกจากธรรมชาติ เพื่อต้องการให้วิธีการวิเคราะห์นั้นมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้อยที่สุด จึงได้เลือกใช้เมนทอลและไทมอล ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1.3 เป็นตัวรับและตัวให้พันธะไฮโดรเจน ตามลำดับ นอกจากนี้จะมีความเป็นพิษต่ำแล้ว สารตั้งต้นทั้งสองชนิดนี้ ยังสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีราคาไม่แพง และยังไม่มียางานการใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกจากเมนทอลและไทมอลในการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วย โดยวิธีการสกัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือการสกัดด้วยของเหลว ซึ่งเป็นวิธีการสกัดที่สามารถทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ปริมาณของสารละลายตัวอย่างและตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้มีปริมาณน้อย และใช้เวลาไม่นาน ในขณะที่เทคนิคที่จะใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอิมิตาโคลพริตจะใช้เทคนิค UV-Vis Spectrophotometry ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถตรวจวัดได้ง่าย รวดเร็ว เครื่องมือมีราคาไม่สูงมาก และสามารถทำการวิเคราะห์ซ้ำหลาย ๆ ครั้งได้ เมื่อเทียบกับเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ที่ใช้เวลานาน เครื่องมือมีราคาแพง และจำเป็นต้องเป็นผู้มีความชำนาญในเครื่องมือ



รูปที่ 1.3 (ซ้าย) โครงสร้างเมนทอล และ (ขวา) โครงสร้างไทมอล

1.4 ประโยชน์งานวิจัย

1. ได้วิธีที่ใช้ในการสกัดและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถให้งานได้ง่าย มีราคาถูก ไม่ต้องมีความชำนาญสูง รวมทั้งได้ประสิทธิภาพดี
2. ได้ตัวทำละลายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมชนิดใหม่ที่ใช้สกัดยาฆ่าแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดอิมิตาโคลพริตออกมามีปริมาณและคุณภาพมากที่สุด

บทที่ 2

การทดลอง

2.1 รายการเครื่องมือ อุปกรณ์

- เครื่องชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง DENVERIN STRVMENT (SI-234 max 230 g d = 0.1 mg)
- เครื่องเขย่าสาร Scientific Industries G560E
- เครื่องหมุนเหวี่ยง Hettich EBA 20
- เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง METTLER TOLDEO
- เครื่อง UV-Visible spectrophotometer hp 8453
- คิวตซ์ คิวเวทท์
- ไมโครปิเปต ขนาด 100 μL , 1000 μL , 5 mL และ 10 mL
- Pipette tip
- บีกเกอร์ขนาด 40, 100, 250 และ 600 mL
- ซ้อนตักสาร
- หลอดทดลองพลาสติกที่มีฝาปิด
- แม่เหล็กกวนสาร
- กระดาษกรอง ขนาด 125 mm Whatman™
- เข็มฉีดยา NIPRO (21Gx1)
- หลอดฉีดยา ขนาด 5 mL NIPRO
- ขวดปรับปริมาตรขนาด 10, 25, 50 และ 100 mL
- หลอดทดลองพลาสติก
- ขวดแก้วพร้อมฝาปิด
- ขวดพลาสติกพร้อมฝาปิด
- พาสเจอร์ปิเปต
- พาราฟิล์ม Bemis®
- เทอร์โมมิเตอร์
- กระจกนาฬิกา
- ตะแกรงสแตนเลสสำหรับใส่หลอดทดลอง

2.2 รายการสารเคมี

- โปรวาโด® อิมิตาโคลพริต, ไบเออร์
- น้ำบริสุทธิ์ (Milli-Q water)
- Thymol >99.0%, GC grade, TCI
- (-)-Menthol >99.0%, GC grade, TCI
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ $\geq 98\%$, reagent grade, Merck, Germany
- กรดไนตริก 65%, AR grade, Merck, Germany

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมสารละลาย

1. สารละลายสต็อกอิมิตาโคลพริต ความเข้มข้น 500 ppm ปริมาตร 50.00 mL

จากของแข็งอิมิตาโคลพริต 70% WG (รูปที่ 2.1) ชั่งของแข็งอิมิตาโคลพริต 0.0357 กรัม บนกระดาษกรอง จากนั้นทำการละลายของแข็งอิมิตาโคลพริตโดยค่อย ๆ เทของแข็งอิมิตาโคลพริตลงในปิเกตอร์ที่มีน้ำบริสุทธิ์และแท่งแม่เหล็กกวนสารที่ตั้งอยู่บนเครื่องกวนสารที่เปิดใช้งานอยู่ ดังรูปที่ 2.2 ทำการละลายของแข็งอิมิตาโคลพริตจนหมด แล้วเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50.00 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์ และเก็บในขวดพลาสติกที่มีฝาปิด แช่ไว้ในตู้เย็น

การคำนวณความเข้มข้นของอิมิตาโคลพริต (IM):

$$\text{IM (ppm หรือ mg/L)} = 0.0357 \text{ g สาร} \times \frac{70 \text{ g IM}}{100 \text{ g สาร}} \times \frac{1}{50.00 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 500 \text{ ppm}$$



รูปที่ 2.1 ของแข็งอิมิตาโคลพริต



รูปที่ 2.2 การละลายของแั่งงอิมิตาโคลพริต

2. สารละลายสต็อกอิมิตาโคลพริต ความเข้มข้น 100 ppm ปริมาตร 25.00 mL
ปิเปตสารละลายสต็อกอิมิตาโคลพริตความเข้มข้น 500 ppm ปริมาตร 5.000 mL ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25.00 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์
3. สารละลายมาตรฐานอิมิตาโคลพริต ความเข้มข้น 1.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, และ 10.0 ppm เตรียมได้จากจากสารละลายสต็อกอิมิตาโคลพริต ความเข้มข้น 100 ppm โดยปิเปตปริมาตร 0.10, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, และ 1.00 mL ตามลำดับ ในและปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 10.00 mL
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 M ปริมาตร 40 mL
ซังโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 0.80 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 40 mL ในบีกเกอร์ คนจนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด แล้วบรรจุในขวดพลาสติกที่มีฝาปิด
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 M ปริมาตร 10 mL
ตวงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 M ปริมาตร 0.2 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 10 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์ แล้วบรรจุในขวดพลาสติกที่มีฝาปิด
6. สารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 1% w/w
ตวงสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65% ปริมาตร 0.15 mL ลงในบีกเกอร์ขนาด 10 mL ที่มีน้ำบริสุทธิ์อยู่ แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์ แล้วบรรจุในขวดแก้วที่มีฝาปิด

2.3.2 การสังเคราะห์ตัวทำละลายตีปยูเทคติก

ตัวทำละลายตีปยูเทคติกทุกอัตราส่วนเตรียมจากการผสมส่วนประกอบสองชนิด ในขวดแก้วที่มีฝาปิดพร้อมแท่งแม่เหล็กกวนสาร โดยผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3 จนของแข็งกลายเป็นของเหลวทั้งหมด จากนั้นตั้งตัวทำละลายตีปยูเทคติกทิ้งไว้อย่างน้อยหนึ่งคืนเพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีการตกผลึกกลับมาหรือไม่ก่อนนำไปใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริต ซึ่งตัวทำละลายตีป

ยูเทคติกในงานวิจัยนี้จะใช้เมนทอลและไทมอล โดยเตรียมที่อัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอล เท่ากับ 1:1, 1:2 และ 2:1



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการเตรียมตัวทำละลายดีปยูเทคติกโดยใช้เมนทอลต่อไทมอล อัตราส่วน 1:2

2.3.3 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการสกัดอิมิดาโคลพริตในน้ำ

2.3.3.1 ศึกษาชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริต

ในการทดลองนี้ได้ใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำ (สารละลายอิมิดาโคลพริต) ต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ในการทดลองเป็น 2:1 โดยเริ่มจากการชั่งตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอลเป็น 1:1 ที่เตรียมไว้ ใส่ในหลอดทดลองพลาสติกที่มีฝาปิด 1 กรัม จำนวน 4 หลอด และชั่งสารละลายอิมิดาโคลพริตพีเอช 6 ความเข้มข้น 10.0 ppm 2 กรัม ลงในหลอดที่มีตัวทำละลายดีปยูเทคติก จำนวน 3 หลอด และทำ blank โดยใช้ น้ำบริสุทธิ์ 2 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีตัวทำละลายดีปยูเทคติก จำนวน 1 หลอด จากนั้นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่าสาร เวลา 3 นาที หลังจากเขย่าจนครบเวลา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที ความเร็ว 5000 rpm แล้วจึงทำการแยกสารละลายอิมิดาโคลพริตที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 5 mL ที่ต่อกับเข็มฉีดยา ค่อย ๆ ดูดชั้นสารละลายอิมิดาโคลพริตขึ้นมาช้า ๆ ประมาณ 1 mL ใส่ไว้ในหลอดทดลองอันใหม่ ทำการทดลองเช่นเดิมกับตัวทำละลายดีปยูเทคติกของเมนทอลต่อไทมอล อัตราส่วน 1:2 และ 2:1 แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณของอิมิดาโคลพริตหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกโดยเทคนิค UV-Vis และคำนวณหาประสิทธิภาพการสกัด (%EE) ซึ่งนิยามไว้ดังสมการที่ 1

$$\%EE = \frac{C_{IM,0}^{aq} - C_{IM,1}^{aq}}{C_{IM,0}^{aq}} \times 100 \quad \dots(1)$$

เมื่อ

$C_{IM,0}^{aq}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายอิมิตาโคลพริตในวัฏภาคน้ำก่อนการสกัด

$C_{IM,1}^{aq}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายอิมิตาโคลพริตในวัฏภาคน้ำหลังการสกัด

2.3.3.2 ศึกษาค่าพีเอชของสารละลายอิมิตาโคลพริตเพื่อใช้ในการสกัดด้วยตัวทำละลายอิมิตาโคลพริต

ค่าพีเอชของสารละลายอิมิตาโคลพริตที่จะทำการศึกษาคือ 2, 6 (ไม่มีการปรับ) และ 9 โดยเริ่มจากการนำสารละลายอิมิตาโคลพริตที่เตรียมไว้มาวัดค่าพีเอชโดยเครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง ทำการปรับสารละลายอิมิตาโคลพริตพีเอช 6 ให้เป็นสารละลายอิมิตาโคลพริตพีเอช 2 ด้วย 1% กรดไนตริก และปรับสารละลายอิมิตาโคลพริตพีเอช 6 ให้เป็นสารละลายอิมิตาโคลพริตพีเอช 9 ด้วย 0.01 M NaOH ให้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็น 2:1 โดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วนเมนทอลต่อโทมอลเป็น 1:2 ใส่ในหลอดทดลอง 1 กรัม จำนวน 4 หลอด และใช้สารละลายอิมิตาโคลพริตพีเอช 2 ความเข้มข้น 10.0 ppm 2 กรัม ลงในหลอดที่มีตัวทำละลายดีปยูเทคติก จำนวน 3 หลอด และทำ blank โดยใช้น้ำบริสุทธิ์ 2 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีตัวทำละลายดีปยูเทคติก จำนวน 1 หลอด จากนั้นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่าสาร เวลา 3 นาที หลังจากเขย่าจนครบเวลา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที ความเร็ว 5000 rpm แล้วจึงทำการแยกสารละลายอิมิตาโคลพริตที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 5 mL ต่อกับเข็มฉีดยา ค่อย ๆ ดูดชั้นสารละลายอิมิตาโคลพริตขึ้นมาช้า ๆ ประมาณ 1 mL ใส่ไว้ในหลอดทดลองอันใหม่ ทำการทดลองเช่นเดิมกับสารละลายอิมิตาโคลพริตพีเอช 6 และ 9 แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณของอิมิตาโคลพริตหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายประมาณดีปยูเทคติกด้วยเทคนิค UV-Vis และคำนวณหาประสิทธิภาพการสกัด (%EE)

2.3.3.3 ศึกษาอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริต

อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ศึกษา คือ 1:1, 2:1, 3:1 และ 3:2 สำหรับอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก 1:1 ทำโดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วนเมนทอลต่อโทมอล เป็น 1:2 ปริมาณ 2 กรัมใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 4 หลอด และสารละลายอิมิตาโคลพริตพีเอช 6 ความเข้มข้น 10.0 ppm 2 กรัม ลงในหลอดที่มีสารละลายดีปยูเทคติก จำนวน 3 หลอด และทำ blank โดยใช้น้ำบริสุทธิ์ 2 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีตัวทำละลายดีปยูเทคติก จำนวน 1 หลอด จากนั้นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่า เวลา 3 นาที หลังจากเขย่าจนครบเวลา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที ความเร็ว 5000 rpm แล้วจึงทำการแยกสารละลายอิมิตาโคลพริตที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 5 mL ต่อกับเข็มฉีดยา ค่อย ๆ ดูดชั้นสารละลายอิมิตาโคลพริตขึ้นมาช้า ๆ ประมาณ 1 mL ใส่ไว้ในหลอดทดลองอันใหม่ ทำการทดลองเช่นเดิมโดยเปลี่ยนอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็น 2:1, 3:1

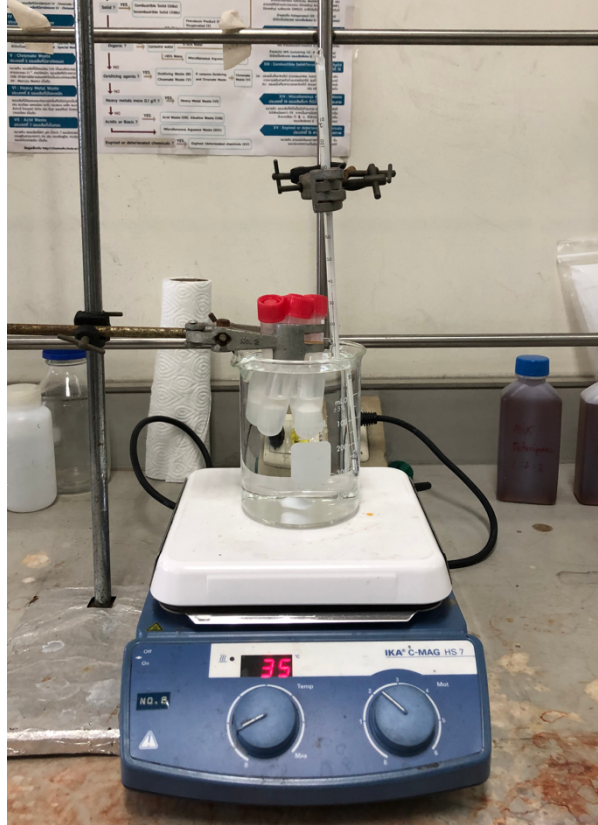
และ 3:2 แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณของอิมิดาโคลพริดหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกด้วยเทคนิค UV-Vis และคำนวณหาประสิทธิภาพการสกัด (%EE)

2.3.3.4 ศึกษาเวลาในการผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก

เวลาที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ 15 วินาที, 30 วินาที, 1, 3, 7, 10, 15 และ 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็น 3:1 ซึ่งตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอลเป็น 1:2 1 กรัม ใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 4 หลอด และสารละลายอิมิดาโคลพริดพีเอช 6 ความเข้มข้น 10.0 ppm 3 กรัม ลงในหลอดเดียวกัน จำนวน 3 หลอด และทำ blank โดยใช้ น้ำบริสุทธิ์ 3 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีตัวทำละลายดีปยูเทคติก จำนวน 1 หลอด จากนั้นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่า 15 วินาที หลังจากเขย่าจนครบเวลา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที ความเร็ว 5000 rpm แล้วจึงทำการแยกสารละลายอิมิดาโคลพริดที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 5 mL ต่อกับเข็มฉีดยา ค่อย ๆ ดูดชั้นสารละลายอิมิดาโคลพริดขึ้นมาช้า ๆ ประมาณ 1 mL ใส่ไว้ในหลอดทดลองอันใหม่ ทำการทดลองเช่นเดิมโดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการเขย่าเป็น 30 วินาที, 1, 3, 7, 10, 15 และ 30 นาที แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณของอิมิดาโคลพริดหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกด้วยเทคนิค UV-Vis และคำนวณหาประสิทธิภาพการสกัด (%EE)

2.3.3.5 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริด

อุณหภูมิที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิห้อง, 35, 45 และ 55 °C โดยใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็น 3:1 ซึ่งตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอล เป็น 1:2 ใส่ในหลอดทดลอง 1 กรัม จำนวน 4 หลอด และสารละลายอิมิดาโคลพริดพีเอช 6 ความเข้มข้น 10.0 ppm 3 กรัม ลงในหลอดเดียวกัน จำนวน 3 หลอด และทำ blank โดยใช้ น้ำบริสุทธิ์ 3 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีตัวทำละลายดีปยูเทคติก จำนวน 1 หลอด จากนั้นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่า เวลา 3 นาที หลังจากเขย่าจนครบเวลา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4 เมื่อครบเวลานำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นเวลา 10 นาที ความเร็ว 5000 rpm แล้วจึงทำการแยกสารละลายอิมิดาโคลพริดที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยใช้หลอดฉีดยาขนาด 5 mL ต่อกับเข็ม ค่อย ๆ ดูดชั้นสารละลายอิมิดาโคลพริดขึ้นมาช้า ๆ ประมาณ 1 mL ใส่ไว้ในหลอดทดลองอันใหม่ ทำการทดลองเช่นเดิมโดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เป็นอุณหภูมิห้อง, 45 และ 55 °C แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณของอิมิดาโคลพริดหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกด้วยเทคนิค UV-Vis และคำนวณหาประสิทธิภาพการสกัด (%EE)



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

2.3.4 การตรวจวัดปริมาณอิมิตาโคลพริดหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกด้วยเทคนิค UV-Vis spectrophotometry

ในการวัดปริมาณอิมิตาโคลพริดด้วย UV-Vis เลือกความยาวคลื่นที่ 300 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นที่จะทำการวิเคราะห์วัฏภาคน้ำหลังการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยนำวัฏภาคน้ำปริมาตร 1 mL และน้ำบริสุทธิ์ 1 mL ใส่ในคิวเวท แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืน (Absorbance) ด้วย UV-Vis

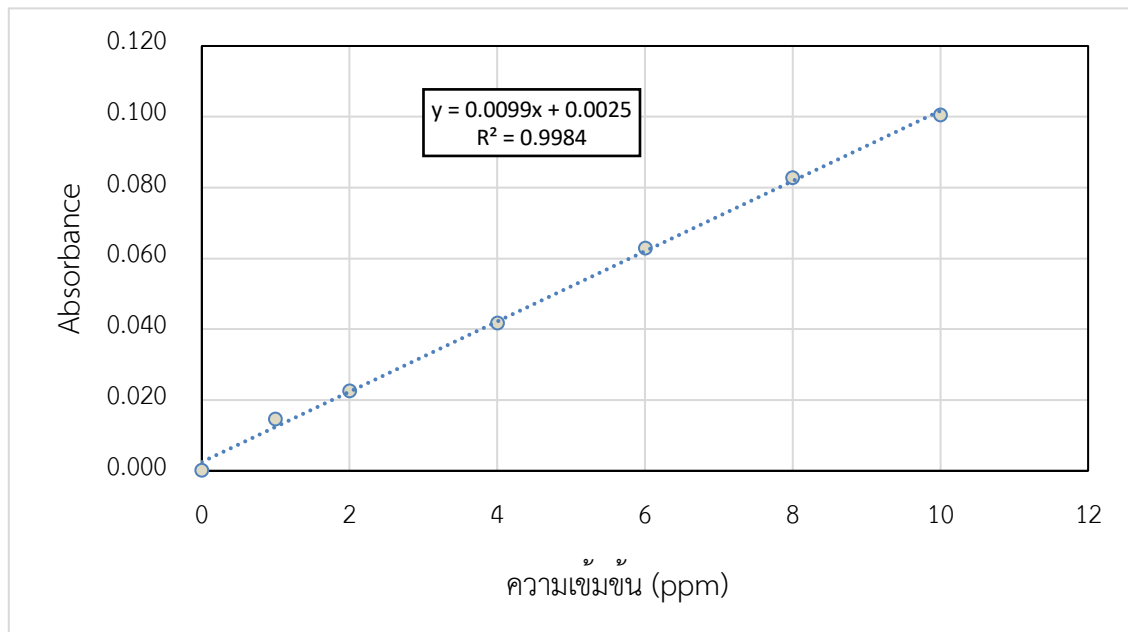
บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดยาฆ่าแมลงอิมิดาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยเริ่มจากการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ พิเอชของสารละลายอิมิดาโคลพริต อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริต เวลาเขย่าผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริต แล้วนำไปวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยวิธี UV-Vis Spectrophotometry

3.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายอิมิดาโคลพริต

ในการหาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์ปริมาณอิมิดาโคลพริตด้วย UV-Vis Spectrophotometry ทำได้จากการนำสารละลายอิมิดาโคลพริตที่ระดับความเข้มข้นเป็น 0, 1.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 ppm มาวัดค่าสัญญาณการดูดกลืน (Absorbance) จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 300 nm กับสารละลายอิมิดาโคลพริตที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ได้กราฟมาตรฐานดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 กราฟมาตรฐานแสดงการดูดกลืนของอิมิดาโคลพริตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 300 nm

จากรูปที่ 3.1 พบว่าได้สมการเส้นตรง คือ $y = 0.0099x + 0.0025$ และค่า R^2 (สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ) เท่ากับ 0.9984 เมื่อนำค่า R^2 ที่ได้ในงานวิจัยนี้ไปเทียบกับค่า R^2 ในตาราง 3.1 ตารางแสดงค่าวิกฤต

ของ R^2 ของกราฟเทียบมาตรฐาน พบว่าค่า R^2 ที่หาได้นั้นมีค่ามากกว่าในตาราง 3.1 ดังนั้น จัดว่า R^2 ของกราฟมาตรฐานอิมิตาโคลพริตที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 300 nm เป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งส่วนใหญ่สำหรับงานด้านเคมีวิเคราะห์จะเลือกใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% หรือ 99% ดังนั้น ในการทดลองสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ปริมาณอิมิตาโคลพริตในน้ำหลังจากการสกัดด้วย UV-Vis Spectrophotometry จะใช้สมการเส้นตรงนี้ในการหาค่าความเข้มข้นของสารละลายอิมิตาโคลพริต เพื่อใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพในการสกัด (%EE) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ต่อไป โดย %RSD ได้นิยามไว้ดังสมการที่ 2

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \quad \dots(2)$$

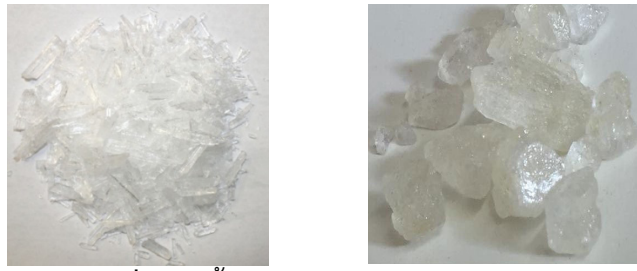
เมื่อ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

ตาราง 3.1 ค่าวิกฤตของ R และ R^2 ของกราฟเทียบมาตรฐาน [40]

จำนวนสาร มาตรฐาน	ค่าวิกฤตของ R และ R^2 ที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ					
	90%		95%		99%	
	R^+	R^2	R^+	R^2	R^+	R^2
3	0.988	0.976	0.997	0.994	1.000	1.000
4	0.900	0.810	0.950	0.903	0.990	0.980
5	0.805	0.648	0.878	0.771	0.959	0.920
6	0.729	0.531	0.811	0.658	0.917	0.841
7	0.669	0.448	0.754	0.569	0.874	0.764
8	0.622	0.387	0.707	0.500	0.834	0.696
9	0.582	0.339	0.666	0.444	0.798	0.637
10	0.549	0.301	0.362	0.131	0.765	0.585

3.2 ศึกษาชนิดและอัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอลของตัวทำละลายดีปยูเทคติก

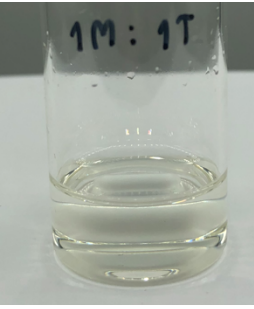
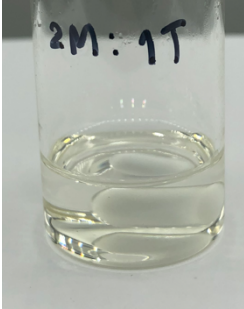
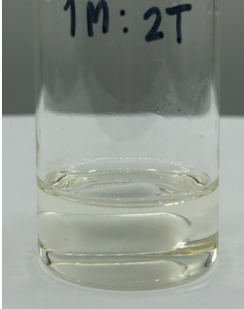
ในการเลือกตัวทำละลายดีปยูเทคติกสำหรับการสกัดอิมิตาโคลพริตนั้นมีความสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการสกัด โดยในงานวิจัยนี้เริ่มจากการค้นคว้าหาตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่จะใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริตซึ่งพบว่า การใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกในการสกัดอิมิตาโคลพริตมีไม่มาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้สารจากธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีความเป็นพิษต่ำ หาได้ง่าย ราคาถูก [18] ในการเตรียมตัวทำละลายดีปยูเทคติกคือ เมนทอลและไทมอล (รูปที่ 3.2)



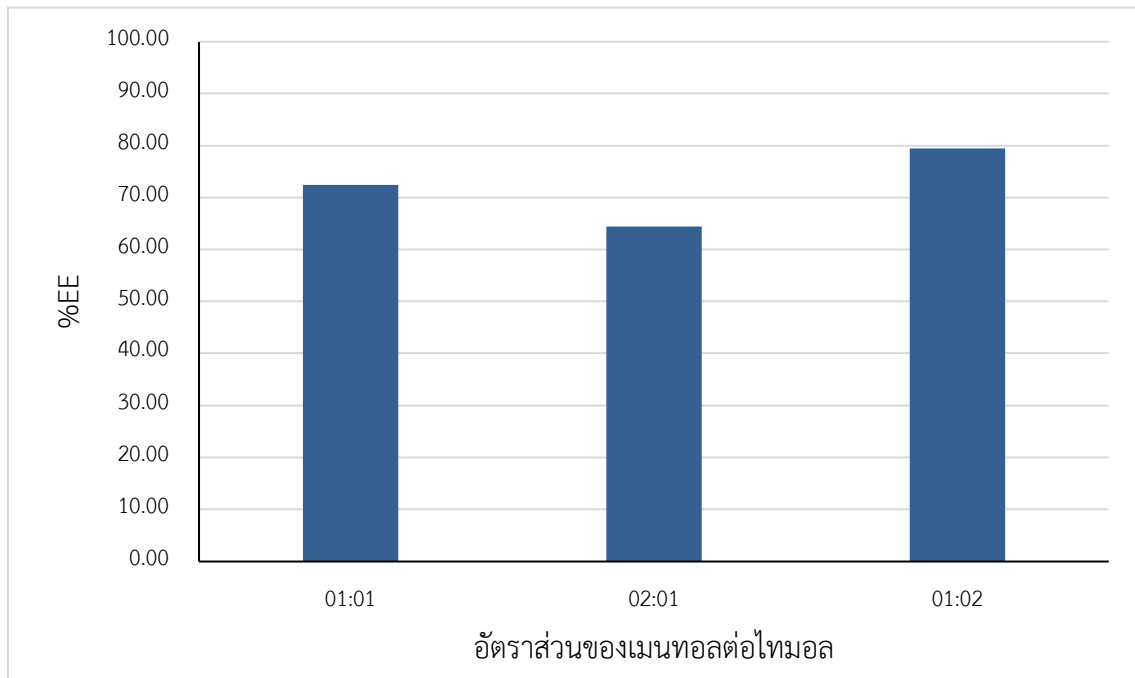
รูปที่ 3.2 (ซ้าย) เมนทอล และ (ขวา) ไทมอล

นอกจากการเลือกตัวทำละลายดีปยูเทคติกแล้ว ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนของเมนทอลต่อไทมอลของตัวทำละลายดีปยูเทคติกด้วยซึ่งเป็นอีกหนึ่งพารามิเตอร์สำคัญในการเตรียมตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยอัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอล ที่ทำการศึกษา ได้แก่ 1:1, 2:1 และ 1:2 จากตาราง 3.2 ซึ่งแสดงลักษณะของตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่อัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอลต่าง ๆ ซึ่งแต่ละอัตราส่วนพบว่าจะมีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายกัน คือ เป็นสารละลายใสสีเหลืองอ่อน ไม่มีผลึกหรือตะกอน มีกลิ่นโดดเด่นเฉพาะตัว โดยตัวทำละลายดีปยูเทคติก ทั้ง 3 อัตราส่วนที่ได้ทำการทดลองมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำทุกชนิด และค่อนข้างมีความหนืดเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำ [18]

ตาราง 3.2 แสดงลักษณะตัวทำละลายดีปยูเทคติกเมนทอลต่อไทมอลที่อัตราส่วนต่าง ๆ

1:1	2:1	1:2
		

สำหรับการทดลองศึกษาตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในการสกัดอิมิดาโคลพริด เข้มข้น 10.0 ppm จะใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็น 2:1 ใช้เวลา 3 นาที สำหรับผสมสองวัฏภาคเข้าด้วยกัน และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำสารละลายอิมิดาโคลพริดที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วนต่าง ๆ ไปวิเคราะห์ด้วย UV-Vis แล้วคำนวณหา %EE พบว่า ที่อัตราส่วน 1:1, 2:1 และ 1:2 ได้ %EE เท่ากับ 72.49 ± 1.34 , 64.38 ± 1.18 และ 79.45 ± 0.17 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.3

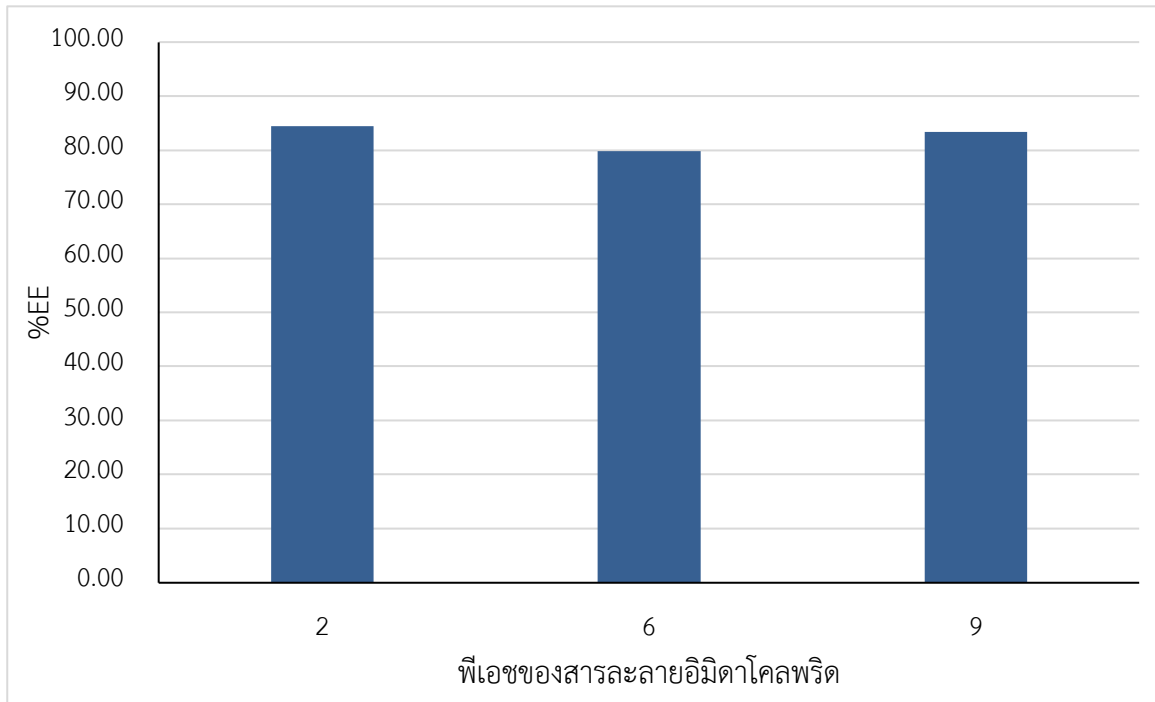


รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิดาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วน
เมนทอลต่อไทมอลต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอลเป็น 1:2 แสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิดาโคลพริตได้ดีที่สุด และจากคำนวณ %RSD พบว่ามีค่าน้อยที่สุดและใกล้เคียงศูนย์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น ๆ ดังนั้น ตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมต่อการสกัดอิมิดาโคลพริต คือ เมนทอลต่อไทมอลเป็น 1:2

3.3 ศึกษาพีเอชของสารละลายอิมิดาโคลพริตสำหรับการสกัด

พีเอชของสารละลายอิมิดาโคลพริตเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์สำคัญที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสกัดอิมิดาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาพีเอชของสารละลายอิมิดาโคลพริตที่ 2, 6 และ 9 โดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่อัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอลเป็น 1:2 ใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็น 2:1 เวลาสำหรับผสมสองวัฏภาคเข้าด้วยกันคือ 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อนำสารละลายอิมิดาโคลพริตที่พีเอชต่าง ๆ ที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก ไปวิเคราะห์ด้วย UV-Vis แล้วคำนวณหา %EE พบว่าที่สารละลายอิมิดาโคลพริตพีเอช 2, 6 และ 9 ได้ %EE เท่ากับ 84.48 ± 1.34 , 79.81 ± 0.63 และ 83.42 ± 1.74 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4



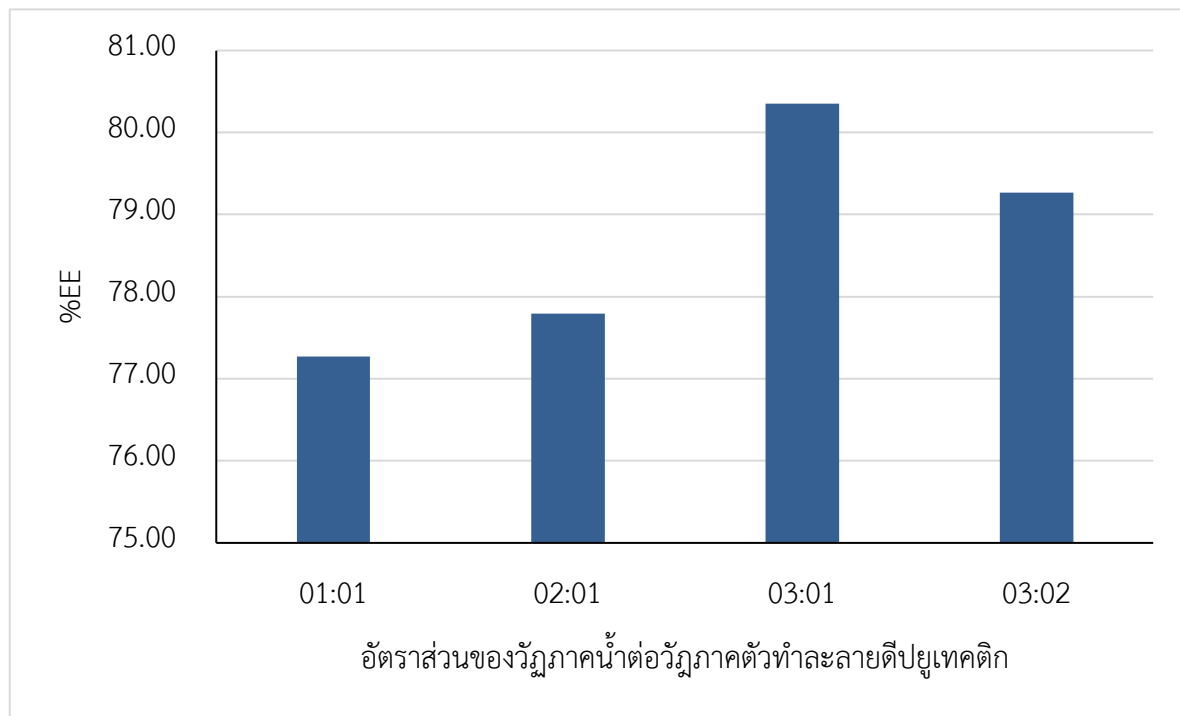
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิตาโคลพริตที่สารละลายอิมิตาโคลพริตพืเอชต่าง ๆ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการปรับพืเอชของสารละลายอิมิตาโคลพริตให้อยู่ในสภาวะกรดและต่างนั้นไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก หากแต่อิมิตาโคลพริตจะสามารถเกิดการไฮโดรไลซ์ในน้ำที่เป็นต่างได้ง่าย [41] และในสภาวะต่างอาจจะทำให้สิ่งสกปรกบางอย่างสามารถถ่ายโอนไปยังเมทริกซ์ [37] นอกจากนี้ ในสภาวะกรดและต่างยังส่งผลต่ออัตราการสลายตัวของอิมิตาโคลพริตด้วย [42] ซึ่งอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณของอิมิตาโคลพริต หลังการสกัดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกได้ เนื่องจากยาฆ่าแมลงในน้ำเป็นสารละลายที่เป็นกลางเกือบทั้งหมด รวมถึงสารละลายอิมิตาโคลพริตด้วย ถึงแม้ว่า %EE ที่ พืเอช 6 มีค่าต่ำกว่าอีกสองพืเอช แต่ %RSD มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งแสดงถึงความเที่ยงของวิธี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ พืเอช 6 เพราะเป็นพืเอชตั้งต้นของสารละลายอิมิตาโคลพริต และในการทดลองสามารถลดขั้นตอนการปรับพืเอชได้ ซึ่งส่งผลดีต่อเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.4 ศึกษาอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริต

อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริตเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่สำคัญ โดยจะศึกษาอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ 1:1, 2:1, 3:1 และ 3:2 โดยใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่อัตราส่วนเมทอลต่อโทมอลเป็น 1:2 เวลาสำหรับผสมสองวัฏภาคเข้าด้วยกันคือ 3 นาที และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารละลายอิมิตาโคลพริตที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกต่าง ๆ ไปวิเคราะห์ด้วย UV-Vis แล้วคำนวณหา %EE พบว่า %EE ของการสกัดสารละลายอิมิตาโคลพริตที่อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่

1:1, 2:1, 3:1 และ 3:2 เท่ากับ 77.27 ± 0.58 , 77.80 ± 0.86 , 80.36 ± 2.27 และ 79.27 ± 1.28 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.5



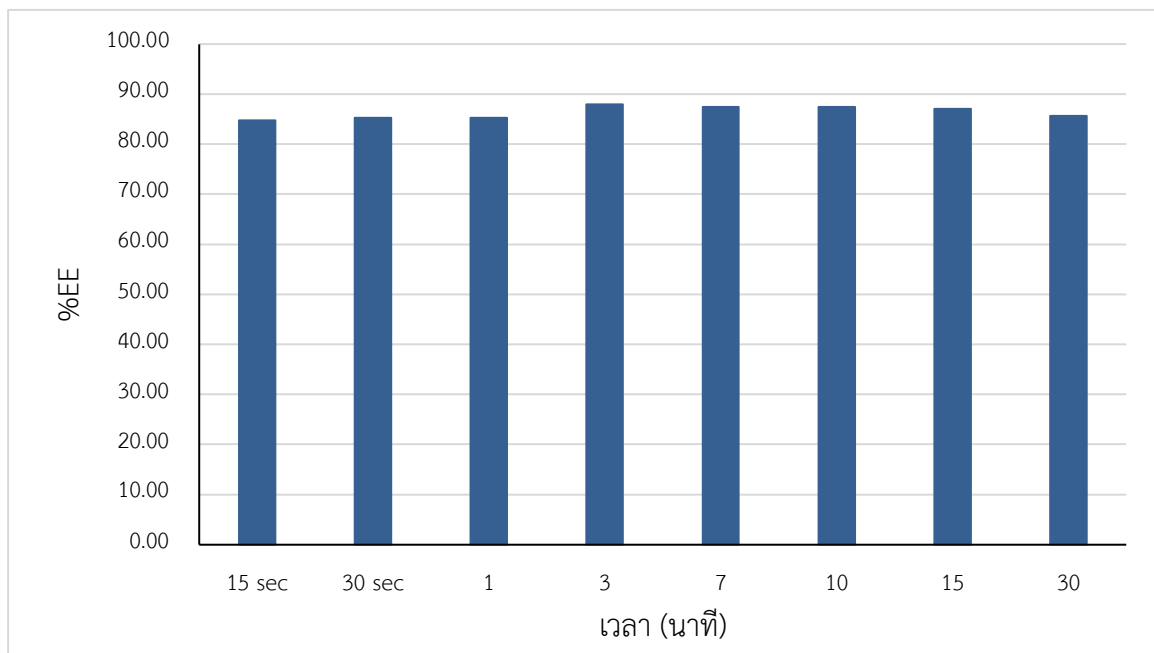
รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิตาโคลพริตที่อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีบุกแตกต่างกัน

ซึ่งปริมาณของตัวทำละลายดีบุกที่ใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริตโดยเทคนิคการสกัดด้วยของเหลวสามารถแบ่งได้เป็น 2 บทบาท คือ ในแง่ของการใช้ปริมาณตัวทำละลายดีบุกปริมาณมาก อาจส่งผลให้ได้ %EE สูง แต่ในทางกลับกัน ก็สามารถส่งผลให้ได้ %EE ต่ำได้เช่นเดียวกัน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีบุกที่ 3:1 ได้ %EE มากที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น ๆ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหวัง เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะสกัดอิมิตาโคลพริตโดยใช้ตัวทำละลายดีบุกปริมาณน้อย เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมี และส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รวมทั้งเพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพความใช้ได้ของตัวทำละลายดีบุกสำหรับการสกัดอิมิตาโคลพริต นอกจากนี้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีบุกที่ 3:1 เป็นการใช้น้ำปริมาณสารละลายอิมิตาโคลพริตประมาณ 3 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการแยกสารละลายอิมิตาโคลพริตออกจากตัวทำละลายดีบุก เพราะในขั้นตอนการแยกสารละลายอิมิตาโคลพริตจะต้องใช้หลอดฉีดยาและเข็มฉีดยาในการดูดสารละลายอิมิตาโคลพริตออกมาอย่างน้อย 1 mL เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณอิมิตาโคลพริตหลังการสกัดด้วย UV-Vis ซึ่งถ้าใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีบุกเป็น 1:1 หรือ 2:1 สารละลายอิมิตาโคลพริตที่จะใช้ในการสกัดจะประมาณ 2 กรัม ซึ่งในการดูดสารละลายอิมิตาโคลพริตออกมา 1 mL อาจจะทำให้สารละลายอิมิตาโคลพริตในส่วนต่อระหว่างวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีบุกออกมาด้วย ซึ่งอาจส่งผลต่อ %EE ได้ รวมถึงในด้านต้นทุนของกระบวนการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีบุก เป็นที่แน่นอนว่าการทดลอง

ส่วนใหญ่ต้องการที่จะได้ %EE สูง ในขณะที่ต้องการใช้ปริมาณตัวทำละลายดีบุกเพียงเล็กน้อยเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการสกัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปริมาณตัวทำละลายดีบุกที่ใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริต ดังนั้นอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีบุกเป็น 3:1 จึงเหมาะสมสำหรับการสกัดอิมิดาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีบุก

3.5 ศึกษาเวลาผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีบุก

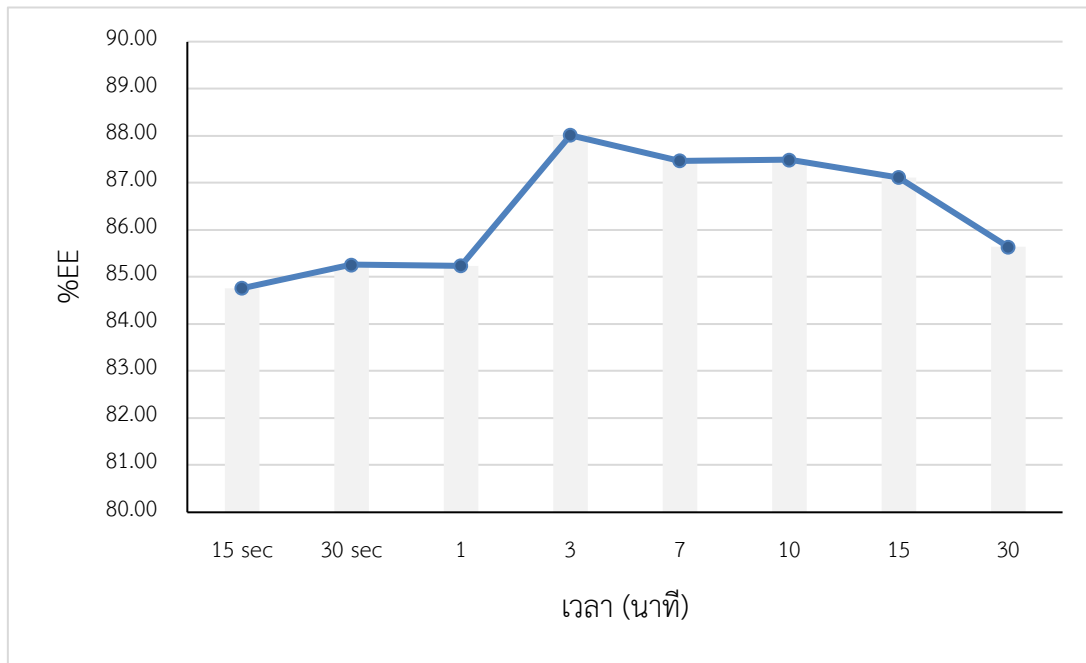
เวลาที่ใช้ในการเขย่าผสมรวมกันระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีบุกเป็นอีกหนึ่งพารามิเตอร์ที่สะท้อนถึงจลนศาสตร์ของกระบวนการแยก [3] เพื่อที่จะหาเวลาเขย่าที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดอิมิดาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีบุก ในการทดลองนี้จะใช้ตัวทำละลายดีบุกอัตราส่วนของเมทอลต่อโทมอลเป็น 1:2 และใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีบุกเป็น 3:1 ซึ่งเวลาที่จะทำการศึกษา ได้แก่ 15 วินาที, 30 วินาที, 1, 3, 7, 10, 15 และ 30 นาที หลังจากทำการสกัดเสร็จแล้ว นำสารละลายอิมิดาโคลพริตไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณด้วย UV-Vis พบว่า %EE ที่เวลา 15 วินาที, 30 วินาที, 1, 3, 7, 10, 15 และ 30 นาที เท่ากับ 84.76 ± 1.21 , 85.26 ± 1.45 , 85.24 ± 1.42 , 88.01 ± 1.47 , 87.47 ± 0.78 , 87.49 ± 1.37 , 87.11 ± 0.21 และ 85.64 ± 0.08 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิดาโคลพริตที่เวลาในการผสมต่าง ๆ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าทุกค่าเวลาที่ทำการศึกษาได้ %EE มากกว่า 80 ทั้งหมด แสดงว่าการถ่ายโอนอิมิดาโคลพริตจากในน้ำสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น [37] ซึ่งสะท้อนถึงจลนศาสตร์ของกระบวนการแยก คือ จลนศาสตร์ที่รวดเร็วจะต้องการเวลาในการเขย่าผสมรวมสองวัฏภาคสั้น ๆ [7] แต่เมื่อลองทำการเปลี่ยนช่วงของแกน y ของกราฟรูปที่ 3.7 จาก 0 ถึง 100.0 ให้เป็น 80.00 ถึง 90.00 จะทำให้สังเกตเห็นถึงแนวโน้มของ %EE ที่มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการเขย่าผสมสองวัฏภาคเข้าด้วยกัน โดย %EE จะค่อย ๆ

เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเวลาที่ 3 นาที ได้ %EE มากที่สุด ซึ่งคาดว่า เป็นจุดสมดุลของการที่ตัวทำละลายดีปยูเทคติก จะเข้าไปสัมผัสกับอิมิตาโคลพริตที่อยู่ในน้ำได้ดีที่สุด โดยหลังจากนั้นตั้งแต่เวลาที่ 7 ถึง 30 นาที %EE จะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ ดังนั้นเวลาการเขย่าผสมรวมกันระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก คือ 3 นาที

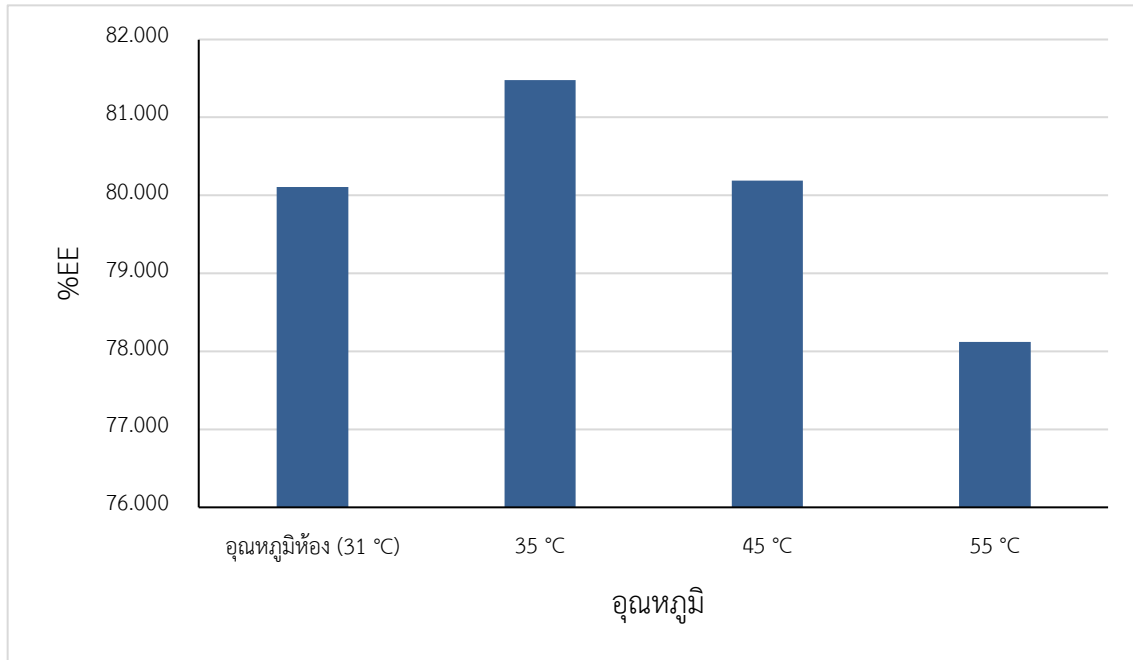


รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสกัดและเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการผสม

3.6 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก

พารามิเตอร์สุดท้ายที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอิมิตาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก เพื่อที่จะได้อุณหภูมิที่ดีที่สุดที่ให้ประสิทธิภาพการสกัดสูงสุด โดยการทดลองนี้จะใช้ตัวทำละลายดีปยูเทคติกอัตราส่วนเมนทอลต่อโทมอลเป็น 1:2 และใช้อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกเป็น 3:1 แล้วทำการผสมระหว่างสองวัฏภาคเข้าด้วยกันเป็นเวลา 3 นาที ซึ่งการศึกษาอุณหภูมิของการสกัดอิมิตาโคลพริตจะอยู่ในขั้นตอนของการตั้งสารผสมทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง โดยอุณหภูมิที่ทำการศึกษายู่ในช่วงตั้งแต่ 35 ถึง 55 °C ทุก ๆ 10 °C รวมทั้งทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้องด้วย หลังจากทำการสกัดเรียบร้อยแล้ว จะนำสารละลายอิมิตาโคลพริตที่แยกออกมาไปวิเคราะห์ปริมาณด้วย UV-Vis พบว่า % EE ที่อุณหภูมิห้อง เท่ากับ 80.11 ± 0.47 , ที่อุณหภูมิ 35 °C มีค่าเท่ากับ 81.48 ± 1.06 , ที่อุณหภูมิ 45 °C มีค่าเท่ากับ 80.19 ± 0.64 และ ที่อุณหภูมิ 55 °C มีค่าเท่ากับ 78.12 ± 0.70 ดังรูปที่ 3.8 นอกจากนี้จะเห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง %EE และอุณหภูมิ ที่มีแนวโน้มของ %EE ลดลง เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวของยาฆ่าแมลงส่วนใหญ่ รวมถึงอิมิตาโคลพริตด้วย [43] อีกทั้งการที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำอิมิตาโคลพริตมีความเป็นพิษสูงขึ้นเช่นกัน [44]

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ อุณหภูมิ 35 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดอิมิดาโคลพริดด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ทำให้มีการถ่ายเทมวลและเพิ่มพื้นผิวของการสกัดได้ดีที่สุด และอิมิดาโคลพริดยังไม่สลายตัว [44, 45] จึงพบการสกัดอิมิดาโคลพริดได้เร็วและมาก



รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพการสกัดอิมิดาโคลพริดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสกัดอิมิดาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติก โดยตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้คือ เมนทอล กับ ไทมอล ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริต ความเข้มข้น 10.00 ppm พบว่า พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสกัดอิมิดาโคลพริตด้วยตัวทำละลายดีปยูเทคติกแสดงดังตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสกัดอิมิดาโคลพริต

พารามิเตอร์	ผลที่ได้
1. อัตราส่วนเมนทอลต่อไทมอล	1:2
2. พีเอชของสารละลายอิมิดาโคลพริต	พีเอช 6
3. อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก	3:1
4. เวลาที่ใช้ในการผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติก	3 นาที
5. อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดอิมิดาโคลพริต	35 °C

ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น เทคนิคโปรตอนนิวเคลียร์แมกนิติกเรโซแนนซ์ ($^1\text{H-NMR}$)
- อาจเปลี่ยนตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่ใช้ให้เหมาะสมกับอิมิดาโคลพริตมากกว่าเดิม รวมทั้งศึกษาอัตราส่วน HBA ต่อ HBD ให้หลากหลายมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุธาสินี อึ้งสูงเนิน, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช, *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย*, 2558, 9, 50-63.
- [2] I. A. Saleh, N. Zouari, M. A. Al-Ghouti, Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches, *Environmental Technology & Innovation*, 2019, 19, 101026.
- [3] M. Grassi, G. Kaykioglu, V. Belgiorno, G. Lofrano, Emerging Compounds Removal from Wastewater Natural and Solar Based Treatments, in: G. Lofrano (Ed), Chapter 2 Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater by Adsorption Process, Springer Netherlands, Dordrecht, 2012, pp. 15-37.
- [4] A. Samsidara, S. Siddiqueea, S. M. Shaarani, A review of extraction, analytical and advanced methods for determination of pesticides in environment and foodstuffs, *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 71, 188-201.
- [5] C. Florindo, L.C. Branco, I.M. Marrucho, Development of hydrophobic deep eutectic solvents for extraction of pesticides from aqueous environments, *Fluid Phase Equilibria*, 2017, 448, 135-142.
- [6] M. Nasiri, H. Ahmadzadeh, A. Amiri, Sample preparation and extraction methods for pesticides in aquatic environments: A review, *Trends in Analytical Chemistry*, 2020, 123, 115772.
- [7] C. Florindo, N.V. Monterio, B.D. Rbeiro, L.C. Branco, I.M. Marrucho, Hydrophobic deep eutectic solvents for purification of water contaminated with Bisphenol-A, *Journal of Molecular Liquids*, 2020, 297, 111841.
- [8] A. Shishov, A. Bulatov, M. Locatelli, S. Carradori, V. Andrich, Application of deep eutectic solvents in analytical chemistry. A review, *Microchemical Journal*, 2017, 135, 33-38.
- [9] R. C. Gupta, D. Milatovic, Biomarkers in Toxicology, in R. C. Gupta (Ed), Chapter 23 Insecticides, Academic Press, Cambridge, 2014, pp. 389-407.
- [10] J. K. Malik, M. Aggarwal, S. Kalpana, R. C. Gupta, Reproductive and Developmental Toxicology, in: R. C. Gupta (Ed), Chapter 36 Chlorinated hydrocarbons and pyrethrins/pyrethroids, Academic Press, Cambridge, 2017, pp. 633-655.
- [11] N. S. Moghaddam, M. P. Zakaria, D. Omar, K. Sijam, Extraction Efficiency and HPLC Determination of Imidacloprid in Soil, *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 2012, 21, 985-995.

- [12] M. A. Sarkar, P. K. Biswas, S. Roy, R. K. Kole, A. Chowdhury, Effect of pH and Type of Formulation on the Persistence of Imidacloprid in Water, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1999, 63, 604-609.
- [13] L. C. Martíneza, A. P. Rueda, W. G. Gonçalvesa, A. F. P. A. Freirec, J. C. Zanunciod, H. Bozdoğanẽ, J. E. Serrão, Toxicity and cytotoxicity of the insecticide imidacloprid in the midgut of the T predatory bug, *Podisus nigrispinus*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, 167, 69-75.
- [14] S. Pang, Z. Lin, Y. Zhang, W. Zhang, N. Alansary, S. Mishra, P. Bhatt, S. Chen, Insights into the Toxicity and Degradation Mechanisms of Imidacloprid Via Physicochemical and Microbial Approaches, *Toxics*, 2020, 8, 0065.
- [15] J. Xiong, H. Li, X. Ma, J. You, Synthesis and application of a novel solid-phase extraction adsorbent for multiresidue analysis of insecticides in water, *Journal of Separation Science*, 2018, 41, 417-602.
- [16] S. M. Goulart, R. D. Alves, A. A. Neves, J. H. D. Queiroz, T. C. D. Assis, M. E. L.R. D. Queiroz, Optimization and validation of liquid-liquid extraction with low temperature partitioning for determination of carbamates in water, *Analytica Chimica Acta*, 2010, 671, 41-47.
- [17] J. H. Y. Galani, M. Houbraken, M. V. Hulle, P. Spanoghe, Comparison of electrospray and UniSpray, a novel atmospheric pressure ionization interface, for LC-MS/MS analysis of 81 pesticide residues in food and water matrices, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2019, 411, 5099-5113
- [18] M. Saraji, M. T. Jafari, H. Sherafatmand, Sol-gel/nanoclay composite as a solid-phase microextraction fiber coating for the determination of organophosphorus pesticides in water samples, *Anal Bioanal Chem*, 2015, 407, 1241-1252.
- [19] C. M. Bolzan, S. S. Caldas, B. S. Guimarães, E. G. Primel, Dispersive Liquid-Liquid Microextraction with Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry for the Determination of Triazine, Neonicotinoid, Triazole and Imidazolinone Pesticides in Mineral Water Samples, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2015, 26, 1902-1913.
- [20] J. Kim, K. Choi, D. Chung, Sample Preparation for Capillary Electrophoretic Applications, *Comprehensive Sampling and Sample Preparation*, 2012, 3, 701-721.
- [21] Y. Su, S. Xia, R. Wang, L. Xiao, Hormone Metabolism and Signaling in Plant, in: J. Li, C. Li S. M. Smith (Eds), 13 Phytohormonal quantification based on biological principles, Academic Press, Cambridge, 2017, pp. 431-470.
- [22] Liquid-Liquid Extraction, Retrieved from.

- <http://portal.unimap.edu.my/portal/page/portal30/Lecture%20Notes/Fakulti%20Teknologi%20Kejuruteraan%20Jabatan%20Kimia/SEMESTER%201%20SIDANG%20AKADEMIK%2020182019/PTT%20356%20SEPARATION%20ENGINEERING/LIQUID-LIQUID%20EXTRACTION.pdf> (accessed 19.03.21)
- [23] M. A. Hassaan, A. E. Nemr, Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques, *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2020, 46, 207-220.
- [24] C. Wu, X. Tu, Handbook of Biofuels Production (Second Edition) Processes and Technologies, in: R. Luque, C. S. K. Lin, K. Wilson, J. Clark (Eds), Biological and fermentative conversion of syngas, Woodhead Publishing, Cambridge, 2016, pp. 335-357.
- [25] M. A. Farajzadeh, B. Feriduni, M. R. A. Mogaddam, Development of counter current salting-out homogenous liquid-liquid extraction for isolation and preconcentration of some pesticides from aqueous samples, *Analytica Chimica Acta*, 2015, 885, 122-131.
- [26] R. Kohli, Developments in Surface Contamination and Cleaning, in: R. Kohli, K. L. Mittal, Chapter 16 Applications of Ionic Liquids in Removal of Surface Contaminations, Elsevier, Amsterdam, 2019, pp. 619-680.
- [27] S. M. Majidi, M. R. Hadjmohammadi, Hydrophobic borneol-based natural deep eutectic solvents as a green extraction media for air-assisted liquid-liquid micro-extraction of warfarin in biological samples, *Journal of Chromatography A*, 2020, 1621, 461030.
- [28] D. J. G. P. V. Osch, C. H. J. T. Dietz, J. V. Spronsen, M. C. Kroon, F. Gallucci, M. V. Sint Annaland, R. Tuinier, A Search for Natural Hydrophobic Deep Eutectic Solvents Based on Natural Components, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2019, 7, 2933-2942.
- [29] B. Tang, H. Zhang, K. H. Row, Application of deep eutectic solvents in the extraction and separation of target compounds from various samples, *Journal of Separation Science*, 2015, 38, 1053-1064.
- [30] X. Li, K. H. Row, Development of deep eutectic solvents applied in extraction and separation, *Journal of Separation Science*, 2016, 39, 3505-3520.
- [31] N. Gissawong, S. Mukdasai, S. Boonchiangma, S. Sansuk, S. Srijaranai, A rapid and simple method for the removal of dyes and organophosphorus pesticides from water and soil samples using deep eutectic solvent embedded sponge, *Chemosphere*, 2020, 260, 127590.
- [32] E. L. Smith, A. P. Abbott, K. S. Ryder, Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications, *Chemical Reviews*, 2014, 114, 11060-11082.

- [33] B. Tang, K. H. Row, Recent developments in deep eutectic solvents in chemical sciences, *Monatshefte für Chemie*, 2013, 144, 1427-1454.
- [34] A. P. Abbott, G. Capper, D. L. Davies, R. K. Rasheed, V. Tambyrajah, Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures, *Chemical Communications*, 2003, 70-71.
- [35] B. B. Hansen, S. Spittle, B. Chen, D. Poe, Y. Zhang, J. M. Klein, A. Horton, L. Adhikari, T. Zelovich, B. W. Doherty, B. Gurkan, E. J. Maginn, A. Ragauskas, M. Dadmun, T. A. Zawodzinski, G. A. Baker, M. E. Tuckerman, R. F. Savinell, J. R. Sangoro, Deep Eutectic Solvents: A Review of Fundamentals and Applications, *Chemical Reviews*, 2021, 121, 1232-1285.
- [36] A. K. Sunol, S. G. Sunol, K. Cogswell, Handbook of Solvents (Third Edition) Volume 2: Use, Health, and Environment, in: G. Wypych (Ed), Substitution of Solvents by Safer Products, Chemtech Publishing, Toronto, 2019, pp. 1455-1634.
- [37] S. Chen, Q. An, H. Sun, M. Mao, Application of ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction combined with liquid-liquid extraction method to the extraction of three pesticide residues from fruit and vegetable samples, *Acta Chromatographica*, 2021, 33, 30-36.
- [38] H. Khanehzar, M. Faraji, A. Nezhadali, Y. Yamini, Combining of modified QuEChERS and dispersive liquid-liquid microextraction as an efficient sample preparation method for extraction of acetamiprid and imidacloprid from pistachio samples, *Journal of the Iranian Chemical Society*, 2021, 18, 641-649.
- [39] M. R. A. Mogaddam, J. Khandaghi, M. A. Farajzadeh, D. Najafzadeh, Development of in-situ synthesis of lighter than water deep eutectic solvents under ultrasonic energy in a narrow tube and application in liquid-phase microextraction, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2020.
- [40] อภิชาติ อิ่มยิ้ม, การจัดทำระบบคุณภาพ ISO 17025 & GLP สำหรับห้องปฏิบัติการเคมี, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, 2016
- [41] Environmental Fate of Imidacloprid, Retrieved from.
<http://cues.cfans.umn.edu/old/pollinators/pdf-pesticides/BaceyEnvironmentalFate.pdf> (accessed 04.04.21)
- [42] M. A. Sarkar, P. K. Biswas, S. Roy, R. K. Kole, A. Chowdhury, Effect of pH and Type of Formulation on the Persistence of Imidacloprid in Water, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1999, 63, 604-609.

- [43] M. M. M. Soliman, Effects of UV-Light, Temperature and Storage on The Stability and Biological Effectiveness of Some Insecticides, *Journal of Plant Protection Research*, 2012, 52, 275-280.
- [44] A. A. Camp, D. B. Buchwalter, Can't take the heat: Temperature-enhanced toxicity in the mayfly *Isonychia bicolor* exposed to the neonicotinoid insecticide imidacloprid, *Aquatic Toxicology*, 2016, 178, 49-57.
- [45] M. Pirsaeheb, N. Fattahi, Development of a liquid-phase microextraction based on the freezing of a deep eutectic solvent followed by HPLC-UV for sensitive determination of common pesticides in environmental water samples, *Royal Society of Chemistry Advance*, 2018, 8, 11412

ภาคผนวก

ตาราง A1 แสดงค่าที่ใช้ในการหาอัตราส่วนของตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมในการสกัด
อิมิดาโคลพรีด

อัตราส่วน Menthol:Thymol	ครั้ง	Absorbance	ความเข้มข้น (ppm)	%EE	\bar{X}	SD	%RSD
1:1	1	0.02940	2.717	73.31	72.49	1.33	1.84
	2	0.03178	2.958	70.95			
	3	0.02951	2.728	73.20			
2:1	1	0.03794	3.579	64.84	64.38	1.18	1.82
	2	0.03974	3.761	63.05			
	3	0.03750	3.535	65.27			
1:2	1	0.02303	2.073	79.63	79.45	0.16	0.21
	2	0.02325	2.095	79.41			
	3	0.02335	2.106	79.31			

ตาราง A2 แสดงค่าที่ใช้ในการหาพีเอชที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพรีด

พีเอช	ครั้ง	Absorbance	ความเข้มข้น (ppm)	%EE	\bar{X}	SD	%RSD
พีเอช 2	1	0.01759	1.524	85.78	84.48	1.33	1.58
	2	0.01889	1.655	84.56			
	3	0.02024	1.810	83.11			
พีเอช 6	1	0.02182	1.951	80.30	79.81	0.63	0.79
	2	0.02300	2.071	79.10			
	3	0.02208	1.978	80.03			
พีเอช 9	1	0.02072	1.841	81.75	83.42	1.74	2.09
	2	0.01725	1.490	85.23			
	3	0.01919	1.686	83.29			

ตาราง A3 แสดงค่าที่ใช้ในการหาอัตราส่วนของวัฏภาคน้ำต่อวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพรีด

วัฏภาคน้ำ ต่อวัฏภาค DES	ครั้ง	Absorbance	ความเข้มข้น (ppm)	%EE	\bar{X}	SD	%RSD
1:1	1	0.02315	2.086	77.57	77.27	0.58	0.75
	2	0.02306	2.077	77.65			
	3	0.02414	2.186	76.60			
2:1	1	0.02202	1.972	78.66	77.80	0.86	1.10
	2	0.02379	2.151	76.95			
	3	0.02293	2.063	77.78			
3:1	1	0.02250	2.021	78.19	80.35	2.27	2.83
	2	0.02049	1.817	80.14			
	3	0.01989	1.757	82.73			
3:2	1	0.01992	1.759	80.70	79.27	1.28	1.61
	2	0.02182	1.952	78.86			
	3	0.02244	2.014	78.25			

ตาราง A4 แสดงค่าที่ใช้ในการหาเวลาผสมวัฏภาคน้ำและวัฏภาคตัวทำละลายดีปยูเทคติกที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพรีด

เวลาเขย่า (sec)	ครั้ง	Absorbance	ความเข้มข้น (ppm)	%EE	\bar{X}	SD	%RSD
15	1	0.01843	1.609	83.60	84.76	1.02	1.21
	2	0.01653	1.418	85.56			
	3	0.01696	1.460	85.12			
30	1	0.01630	1.394	85.80	85.26	1.24	1.45
	2	0.01820	1.586	83.84			
	3	0.01597	1.361	86.13			
60	1	0.01652	1.417	85.57	85.24	1.21	1.42
	2	0.01815	1.581	83.89			
	3	0.01586	1.349	86.25			
180	1	0.01468	1.230	87.47	88.01	1.29	1.47
	2	0.01505	1.268	87.08			
	3	0.01272	1.032	89.49			
420	1	0.01522	1.285	86.91	87.47	0.68	0.78
	2	0.01394	1.155	88.23			
	3	0.01487	1.249	87.27			
600	1	0.01591	1.354	86.20	87.49	1.20	1.37
	2	0.01369	1.121	88.58			
	3	0.01446	1.208	87.70			
900	1	0.01486	1.248	87.28	87.11	1.84	2.11
	2	0.01499	1.262	87.15			
	3	0.01521	1.284	86.91			
1800	1	0.01645	1.409	85.64	85.64	0.67	0.08
	2	0.01652	1.416	85.57			
	3	0.01639	1.403	85.71			

ตาราง A5 แสดงค่าที่ใช้ในการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดอิมิดาโคลพรีด

อุณหภูมิ	ครั้ง	Absorbance	ความเข้มข้น (ppm)	%EE	\bar{x}	SD	%RSD
อุณหภูมิห้อง	1	0.02245	2.024	79.55	80.11	0.47	0.57
	2	0.02071	1.839	81.33			
	3	0.02254	2.024	79.45			
35	1	0.02039	1.807	81.65	81.48	1.06	1.32
	2	0.02107	1.876	80.95			
	3	0.02021	1.789	81.84			
45	1	0.02180	1.949	80.21	80.19	0.64	0.80
	2	0.02120	1.889	80.83			
	3	0.02245	2.015	79.54			
55	1	0.02326	2.097	78.71	78.12	0.70	0.90
	2	0.02365	2.137	78.31			
	3	0.02459	2.231	77.35			

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวพนาวรรณ ประมูลวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 5 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2541 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนราชวินิตบางแก้ว จังหวัดสมุทรปราการ เมื่อปีการศึกษา 2559 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2560 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 205/22 แขวงพระโขนงใต้ เขตพระโขนง จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10260 อีเมล 1998panawan@gmail.com