



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ	การตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชด้วยการเปลี่ยนสีของสีย้อมแอซิดบลู-25		
	Colorimetric Detection of Pesticides by Acid Blue 25		
ชื่อนิสิต	ภิญญาญจน์ อินตะแสน	เลขประจำตัว	5833071123
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2561		

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

การตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชด้วยการเปลี่ยนสีของสีย้อมแอซิดบลู-25

Colorimetric Detection of Pesticides by Acid Blue 25

โดย

นางสาวภิญญาญจน์ อินตะแสน

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

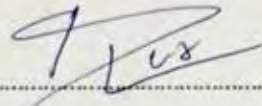
โครงการ การตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชด้วยการเปลี่ยนสีของสีย้อมแอซิดบลู-25

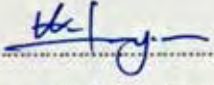
โดย นางสาวกัญญาณัญญ์ อินต๊ะแสน

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


คณะกรรมการสอบโครงการ


.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. ลักษณ์า ตูบาส)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ อิมยิ้ม)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. คณศ วงษ์ระวี)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี


.....หัวหน้าภาควิชาเคมี
(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย พาราสุข)

วันที่ ๒๕ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ชื่อโครงการ การตรวจวัดสารปรอทด้วยวิธีการเปลี่ยนสีของสีย้อมแอซิดบลู-25

ชื่อนิสิตในโครงการ นางสาวกัญญาญจน์ อินตะแสน เลขประจำตัว 5833071123

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ อิ่มยิ้ม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการตรวจวัดทางสีอย่างง่ายที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าสำหรับสารปรอทด้วยวิธีการเปลี่ยนสีของสีย้อมแอซิดบลู-25 โดยการใช้สารละลาย Au(III) ก่อน จากนั้นเติมสารละลายแอซิดบลู-25 และสามารถทำการวิเคราะห์สารปรอทจากการเปลี่ยนสีของสารละลายแอซิดบลู-25 จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการทดลองพบว่า สารละลายแอซิดบลู-25 สามารถถูกฟอกจางสีได้ด้วยสารละลาย Au(III) ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถทำให้สารละลายแอซิดบลู-25 เปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วงแดงซึ่งสามารถสังเกตการเปลี่ยนสีอย่างเห็นได้ชัดและพีเอชไม่มีผลต่อการทดลอง สำหรับการตรวจวัดพาราควอตใช้เวลาในการตรวจวัดนานจึงจำเป็นต้องพัฒนาต่อไป และ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซล สามารถตรวจวัดได้ที่เวลา 20 นาที และกราฟความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 1 – 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9886

คำสำคัญ: สารปรอทด้วยวิธีการเปลี่ยนสี, การตรวจวัดทางสี, พาราควอต, 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซล, แอซิดบลู-25

Project Title Colorimetric Detection of Pesticides by Acid Blue 25

Student Name Miss Pinyakarn Intasan Student ID 5833071123

Advisor Name Associate Professor Apichat Imyim, Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2018

Abstract

A simple method based on colorimetric detection was developed for determination of pesticides including paraquat and benzothiazole derivative; 2-mercaptobenzothiazole. The method was initiated by the reaction between pesticides and Au(III) ions. Then, Acid blue 25 was added to observe the change of its color leading to pesticide determination. Au(III) solution at high concentration was able to decolorize of Acid blue 25 from blue to colorless and the optimum concentration of Au(III) solution was obtained at 10 ppm which could change Acid blue 25 color from blue to purple-red. Also, pH did not affect the decolorization. The detection of paraquat required a long reaction time; therefore, this method needs to develop in the future. While 2-mercaptobenzothiazole could be detected at 20 minutes and the linear range was 1 – 30 ppm obtained from UV-Visible spectrum at 625 nm with the correlation coefficient (R^2) of 0.9886.

Keywords: pesticides, colorimetric detection, paraquat, 2-mercaptobenzothiazole, acid blue 25

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและรายงานฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้หากไม่ได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ความรู้ และ วิธีการต่าง ๆ รวมถึงให้คำปรึกษาตลอดการทำวิจัย และสละเวลาอันมีค่าเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของเนื้อหา ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ลักษณะ ดูบาส และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณศ วังษ์ระวี ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบในครั้งนี้ รวมถึงสมาชิกในหน่วยปฏิบัติการวิจัยการวิเคราะห์เชิงสภาวะแวดล้อม (Environmental Analysis Research Unit) ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการเรียน การสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ประจำปีการศึกษา 2561

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง และกราฟ	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	3
1.2.1 วัตถุประสงค์	3
1.2.2 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.3 ประเภทของสารปราบศัตรูพืช	3
1.4 การวิเคราะห์สารปราบศัตรูพืชด้วยด้วย colorimetry	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	6
บทที่ 2 การทดลอง	7
2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	7
2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	7
2.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	7
2.4 วิธีการทดลอง	8
2.4.1 การเตรียมสารเคมี	8

	๗
2.4.2 การทดสอบปฏิกิริยาระหว่างสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะ	9
2.4.3 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่ pH ต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะทอง	9
2.4.4 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายโลหะทองกับสารละลายแอสิตบลู-25	9
2.4.5 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโลหะทองกับสารละลายพาราควอด	9
2.4.6 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโลหะทองกับสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล	9
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	11
3.1 การทดสอบปฏิกิริยาระหว่างสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะ	11
3.2 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่ pH ต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะทอง	13
3.3 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายโลหะทองกับสารละลายแอสิตบลู-25	13
3.4 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโลหะทองกับสารละลายพาราควอด	17
3.5 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโลหะทองกับสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล	19
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	23
4.1 สรุปผลการทดลอง	23
4.2 ข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ประวัติผู้วิจัย	27

สารบัญตาราง และกราฟ

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงสีของสารละลายระหว่างแอสิตบัลลู-25 กับสารละลายโลหะชนิดต่าง ๆ	11
ตารางที่ 3.2 แสดงสีของสารละลายแอสิตบัลลู-25 กับสารละลายทองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	14
ตารางที่ 3.3 การเปลี่ยนสีของสารละลายผสมระหว่างสารละลายโลหะทอง สารละลายแอสิตบัลลู-25 และสารละลายพาราควอตในเวลาต่างๆ	17
ตารางที่ 3.4 สีของสารละลายโลหะทอง สารละลายแอสิตบัลลู-25 และสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ	21
กราฟ	หน้า
กราฟที่ 3.1 การดูดกลืนแสงระหว่างสารละลายแอสิตบัลลู-25 ที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0	15
กราฟที่ 3.2 การดูดกลืนแสงระหว่างสารละลายโลหะทองที่ความเข้มข้นต่างๆ	16
กราฟที่ 3.3 การดูดกลืนแสงระหว่างสารละลายแอสิตบัลลู-25 ผสมกับสารละลายโลหะทองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	16
กราฟที่ 3.4 สเปกตรัมการเปลี่ยนสีของสารละลายผสมระหว่างสารละลายโลหะทอง สารละลายแอสิตบัลลู-25 และสารละลายพาราควอต ในเวลาต่าง ๆ	19
กราฟที่ 3.5 สเปกตรัมของสารละลายโลหะทอง สารละลายแอสิตบัลลู-25 และสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เวลา 20 นาที	22
กราฟที่ 3.6 กราฟระหว่างความเข้มข้นของ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซลกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ที่เวลา 20 นาที	22

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างของพาราควอต	1
รูปที่ 1.2 โครงสร้าง 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซล	2
รูปที่ 1.3 โครงสร้างของแอซิดบลู-25	2
รูปที่ 3.1 สารละลายควบคุม (Blank control) และสารละลายแอซิดบลู-25 ผสมกับสารละลาย Au(III) ที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0 ตามลำดับ	12
รูปที่ 3.2 สารละลายควบคุม (Blank control) และสารละลายแอซิดบลู-25 ผสมกับสารละลาย Fe(III) ที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0 ตามลำดับ	12

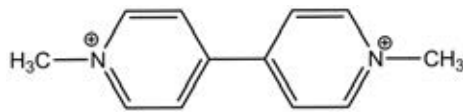
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

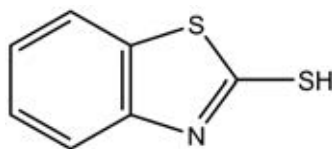
เกษตรกรรมถือเป็นรากฐานที่สำคัญของเศรษฐกิจไทย ซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรนิยมใช้สารปราบศัตรูพืช เพื่อควบคุมคุณภาพของผลผลิตไม่ได้รับความเสียหายจากศัตรูพืช และทำให้เกษตรกรมีผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้สารปราบศัตรูพืชในปริมาณที่มากเกินไปเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดไว้จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภค เนื่องจากสารพิษสามารถเข้าสู่ร่างกายทั้งทางผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ และระบบทางเดินอาหาร อีกทั้งยังเกิดการสะสมในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการเจ็บป่วยและการเสียชีวิต นอกจากนี้สารเคมีที่ใช้ปราบศัตรูพืชยังคงตกค้าง และสามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จากสถิติการนำเข้าวัตถุอันตรายของประเทศไทยปี 2560 พบว่า พาราควอตไดคลอไรด์ (paraquat dichloride) มีการนำเข้าเป็นอันดับ 1 [1] ในขณะนี้ 53 ประเทศทั่วโลกได้มีมติให้ยุติการใช้พาราควอตอย่างถาวรเนื่องด้วยผลกระทบที่ร้ายแรงต่อตัวผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ประเทศไทยมีการใช้สารประเภทอนุพันธ์เบนโซไทอะโซล (benzothiazole) กำจัดเชื้อราในพืชอีกด้วย

พาราควอต (paraquat) หรือ 1,1'-ไดเมทิล-4,4'-ไบไพริดีเนียม ไดคลอไรด์ (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride) มีชื่อทางการค้าในประเทศไทย คือ กรัมมีอ็อกโซน (gramozone) เป็นสารที่นิยมใช้ป้องกันและกำจัดวัชพืช (herbicides) พาราควอตละลายน้ำได้ดีและอยู่ในรูปแคตไอออน จึงทำให้เจือปนในสิ่งแวดล้อมได้ง่าย เป็นอันตรายต่อร่างกายและอวัยวะส่วนต่าง ๆ ซึ่งหากสัมผัส สูดดมหรือรับประทาน อาจทำให้เสียชีวิตในที่สุด



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของพาราควอต

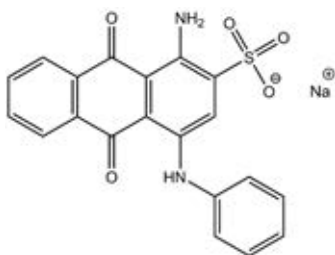
ในขณะที่ สารกลุ่มเบนโซไทอะโซล benzothiazole นั้น มักจะถูกนำมาใช้กำจัดเชื้อรา (fungicides) โดยมักจะอยู่ในรูปอนุพันธ์ของเบนโซไทอะโซล (benzothiazole) เช่น 2-(ไทโอไซยาโนเมทิลไทโอ) เบนโซไทอะโซล (2-(thiocyanomethylthio) benzothiazole), 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล (2-mercaptobenzothiazole) ซึ่งสารกลุ่มนี้มีผลระคายเคืองต่อผิวหนัง ระบบหายใจและก่อให้เกิดมะเร็งได้ ในโครงสร้างของ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล มีหมู่ไทออลอยู่



รูปที่ 1.2 โครงสร้าง 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซล

วิธีการตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชชนิดพาราควอตและอนุพันธ์ของเบนโซโทอะโซล ในงานวิจัยที่ผ่านมาประกอบไปด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ วิธีที่ 1 การใช้เทคนิคทางเคมีวิเคราะห์ เช่น เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง [2] เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี [3-5] เทคนิคโวลแทมเมตรี[6] เป็นต้น เทคนิคเหล่านี้มีความจำเพาะและความแม่นยำสูง แต่อุปกรณ์มีความซับซ้อน ราคาแพงและใช้เวลาในการวิเคราะห์ วิธีที่ 2 การประยุกต์ใช้สารชีวภาพในการตรวจวัดหรือที่เรียกว่าไบโอเซนเซอร์ เช่น การจับระหว่างโมเลกุลของโฮสต์-เกสต์ [7] อิมมูโนเซนเซอร์ [8] การใช้ไบโอเซนเซอร์ตรวจวัดนั้นสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยได้ ราคาไม่แพง แต่มีความเสถียรต่ำและมีความยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง วิธีที่ 3 การใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ [9,10] ด้วยวิธี turn-off [11] หรือ turn-on [12,13] เทคนิคนี้ใช้สารน้อย มีความไวสูง ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะสารที่สามารถเรืองแสงได้เท่านั้น และวิธีที่ 4 ชุดน้ำยาทดสอบ test kit [14] เป็นวิธีการทดสอบสารพิษเบื้องต้นที่นิยมใช้ในการแพทย์ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวกและรวดเร็ว แต่ไม่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณได้

แอสิดบลู-25 (acid blue 25; AB25) เป็นสีย้อมกรด มีลักษณะเป็นผงสีน้ำเงิน ละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมขนสัตว์ เส้นไหม ไนลอน กระจดาช แอสิดบลู-25 นิยมถูกนำมาใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดสีของสีย้อมด้วยปฏิกิริยาต่าง ๆ [15] เช่น การดูดซับสีย้อมออกจากน้ำเสีย [16] เนื่องจากประจุลบของแอสิดบลู-25 นั้นสามารถทำปฏิกิริยากับประจุบวกของโลหะและสารปราบศัตรูพืชได้ ด้วยเหตุนี้ สีย้อมแอสิดบลู-25 ที่มีประจุลบสามารถเกิดอันตรกิริยากับสารปราบศัตรูพืชชนิดพาราควอต ซึ่งมีประจุบวกได้



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของแอสิดบลู-25

สีย้อมแอสิดบลู-25 มีหมู่ฟังก์ชันควิโนน แอมีน และซัลโฟนิล ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะได้ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีของแอสิดบลู-25 และสารปราบศัตรูพืชก็มีหมู่ฟังก์ชันที่

สามารถเกิดปฏิกิริยากับไอออนของโลหะได้เช่นกัน หากผสมสารปราบศัตรูในสารละลายของสารเชิงซ้อนแอสิตบลู-โลหะ สารปราบศัตรูน่าจะเกิดปฏิกิริยากับไอออนโลหะได้ ทำให้เกิดสีที่แตกต่างจากกรณีไม่มีสารปราบศัตรูพืช

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า หากนำประจุบวกของโลหะทองมาเกิดอันตรกิริยากับแอสิตบลู-25 ที่เป็นประจุลบ ก็จะทำให้เกิดการฟอกจางสีของแอสิตบลู-25 และเมื่อนำสารละลายผสมระหว่างโลหะกับแอสิตบลู-25 นี้ไปผสมกับพาราควอต พบว่าสีของสารละลายเปลี่ยนไปจาก ไม่มีสี เป็นสีฟ้าอ่อน ในขณะเดียวกันเมื่อนำสารละลายผสมระหว่างโลหะกับแอสิตบลู-25 นี้ไปผสมกับอนุพันธ์ของเบนโซโทอะโซล ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเช่นเดียวกันกับพาราควอต

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาพัฒนาวิธีการตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชให้ง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน โดยเลือกสารปราบศัตรูพืชชนิดพาราควอตที่มีประจุบวกและอนุพันธ์ของเบนโซโทอะโซล คือ 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซล (2-mercaptobenzothiazole) ที่มีหมู่ไทออล ซึ่งน่าจะเกิดปฏิกิริยากับโลหะได้ และยับยั้งการฟอกจางสีของสารละลายผสมระหว่างสีย้อมแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะ ซึ่งจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของสีย้อมแอสิตบลู-25 ได้ วิธีการเป็นวิธีที่รวดเร็ว ไม่ซับซ้อน ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือได้

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์

ศึกษาการตรวจวัดสารปราบศัตรู โดยอาศัยการเปลี่ยนสีของสีย้อมแอสิตบลู-25 ด้วยสารละลายโลหะ

1.2.2 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการเปลี่ยนสีของสีย้อม แอสิตบลู-25 ด้วยสารละลายโลหะทอง เมื่อทดสอบกับสารปราบศัตรูพืช คือ พาราควอตและ 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซล

1.3 ประเภทของสารปราบศัตรูพืช

สารปราบศัตรูพืชสามารถจำแนกได้ด้วยหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน เช่น ชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการกำจัด โครงสร้างทางเคมี และลักษณะทางกายภาพ ซึ่งโดยทั่วไปนิยมจำแนกตามชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการกำจัด โดยจำแนกได้ดังนี้

สารกำจัดแมลง (insecticides) ใช้กำจัดแมลงที่เป็นศัตรูพืช เช่น เพลี้ยต่าง ๆ แมลงเต่าทอง ตัวงักแก๊ง ฯลฯ ซึ่งสารในนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ คือ ออร์กาโนฟอสเฟส (organophosphate) คาร์บาเมต (carbamate) ออร์กาโนคลอรีน (organochlorie) ไพรีทรอยด์ (pyrethiod) โดยจะมีความแตกต่างกันที่โครงสร้างทางเคมี โดยกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เป็นสารกลุ่มที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

ในสิ่งมีชีวิตและส่งผลต่อระบบประสาท มีพิษรุนแรง แต่สามารถสลายตัวได้เร็ว ตัวอย่างเช่น ดีดีวีพี (DDVP) มาลาไรออน (malathion) พาราไรออน (parathion) กลุ่มคาร์บาเมต จะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ ละลายน้ำได้ดี และมีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์เลือดอุ่น ตัวอย่างเช่น แอลดิคาร์บ (aldicarb) คาร์บาริล (carbaryl) เมตโทมิล (methomyl) กลุ่มออร์กาโนคลอรีน มีธาตุคลอรีนเป็นส่วนประกอบ ปัจจุบันได้ถูกระงับการใช้ เนื่องจากสลายตัวได้ช้า จึงมักพบการสะสมในสิ่งแวดล้อมและมีความเป็นพิษสูง ตัวอย่างเช่น ดีดีที (DDT) อัลดริน (aldrin) เอนดริน (endrin) กลุ่มไพรีทรอยด์ เป็นสารสังเคราะห์เลียนแบบพืชไพรีธรัม (pyrethrum) แต่พัฒนาให้สามารถทนต่อการสลายตัวด้วยแสงแดด มีราคาแพงจึงไม่เป็นที่นิยม เช่น เดลตาเมธริน (deltamethrin) เพอร์เมธริน (permethrin) เรสเมธริน (resmethrin)

สารกำจัดวัชพืช (herbicides) ใช้กำจัดแมลงที่เป็นวัชพืชต่าง ๆ สามารถแบ่งตามลักษณะการเลือกทำลายได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารประเภทเลือกทำลาย และสารประเภทไม่เลือกทำลาย โดยสารประเภทเลือกทำลาย จะเป็นสารที่ทำลายวัชพืชได้เพียงบางชนิดเท่านั้น มีความเฉพาะเจาะจง เช่น พวกแอทราซีน (atrazine) 2,4-ดี (2,4-D) แต่สารประเภทไม่เลือกทำลาย จะมีผลทำลายวัชพืชทุกชนิด เช่น พาราควอต (paraquat) ไกลโฟเสต (glyphosate) ไกลฟุซิเนต (glufosinate)

สารกำจัดเชื้อรา (fungicides) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดดูดซึม และชนิดไม่ดูดซึม โดยสารที่เป็นชนิดดูดซึม จะสามารถถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของพืชได้ เช่น ไตรดีมีฟอน (triadimefon) ไตรโฟลีน (triforine) ไดโนแคบ (Dinocap) แต่สารชนิดไม่ดูดซึมจะไม่เข้าไปในเนื้อเยื่อพืช จะกำจัดเชื้อราที่อยู่บนพืช เช่น ไทแรม (thiram) ซีเน็บ (zineb) แคปตาโฟล (captafol)

สารกำจัดสัตว์ฟันแทะ (rodenticides) มักจะเป็นสารที่มีฤทธิ์ด้านการแข็งตัวของเลือด เมื่อแบ่งตามระยะเวลาในการออกฤทธิ์จะแบ่งได้ 2 ชนิด คือ สารที่ออกฤทธิ์เร็ว เช่น ซิงค์ฟอสไฟด์ (zinc phosphide) ฟลูออโรอาซิเตท (Fluoroacetate) ทัลเลียม (Thallium) และสารที่ออกฤทธิ์ช้า เช่น วอร์ฟาริน (warfarin) ไดฟีนาคูม (difenacoum) โบรดิฟาคูม (brodifacoum)

1.4 การวิเคราะห์สารปราบศัตรูพืชด้วยด้วย colorimetry

งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สารปราบศัตรูพืชด้วยเทคนิคการวัดสีที่ผ่านมา ดังนี้

ในปี 2011 Sun และคณะ [17] ศึกษาการสร้างตัวตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชชนิดออร์กาโนฟอสเฟต (OPs) ใช้เอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส (acetylcholinesterase; AChE) ในการเกิดปฏิกิริยาการเร่งและการ

รวมตัวของกรดลิวโปอิก (lipoic acid; LA) ที่คลุมนอยู่บนผิวอนุภาคทองนาโนเมตร ไทโอโคลีน (thiocholine: TCh) จะทำให้เกิดการรวมตัวกันของกรดลิวโปอิกและจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งออร์กาโนฟอสเฟตนั้นจะเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้ไม่สามารถสร้าง TCh ได้ ทำให้สีของกรดลิวโปอิกค่อย ๆ จางลงตามความแตกต่างของความเข้มข้นของสารปราบศัตรูพืช

ในปี 2014 Marcos และคณะ [18] ศึกษาปฏิกิริยาเอนไซม์ฮอร์เซราดิชเพอร์ออกซิเดส (horseradish peroxidase; HRP) กับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะทำให้เอนไซม์ฮอร์เซราดิชเพอร์ออกซิเดสเกิดการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและเลขออกซิเดชันชั้น ที่ออกซิเดชันสเตต HRPII กับเหล็ก จะได้เป็นออกซิเพอร์ริล ซึ่งจะสามารถทำให้ออร์กาโนฟอสเฟตเกิดการสลายตัวได้ในปฏิกิริยาเฟนตัน และสามารถหาปริมาณออร์กาโนฟอสเฟตจากปฏิกิริยาดังกล่าวได้ และยังสามารถสังเกตเห็นผลการตรวจวัดจากค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงไปอีกด้วย

ในปี 2016 Lv และคณะ [19] ได้ศึกษาการตรวจวัดออร์กาโนฟอสฟอรัส (OPPs) ด้วยเอนไซม์แอลคาไลน์ฟอสฟาเทส (alkaline phosphatase; ALP) ที่สะสมอยู่บนพื้นผิวของอนุภาคทองนาโนเมตร โดยเอนไซม์จะเร่งการเกิดดีฟอสฟอริเลชันของพารา-อะมิโนฟีนิล ฟอสเฟต (p-APP) และ พารา-อะมิโนฟีนอล (p-AP) ซึ่งจะสามารถรีดิวซ์ไอออนเงินให้กลายเป็นโลหะเงินได้ โดยจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวของอนุภาคทองนาโนเมตร จากงานวิจัยพบว่า สารละลายจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลืองในตอนแรก จากนั้นจึงเป็นสีเทาและความหนาของชั้นเงินจะเพิ่มขึ้นอีกด้วย ออร์กาโนฟอสฟอรัสจะเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ ดังนั้นจึงไม่เกิดการดีฟอสฟอริเลชันและจะเกิดการสะสมเงินบนอนุภาคนาโนเมตรได้ยาก สีของสารละลายจึงเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเหลืองได้ยากหรืออาจไม่แตกต่างกัน

ปี 2002 Andreou และ Clonis [20] ได้ศึกษาการสร้างตัวตรวจวัดเส้นใยแก้วนำแสงโดยใช้เอนไซม์ glutathione S-transferase I (GST-I) ตรึงอยู่บนพื้นผิวด้านนอกของเซ็นเซอร์ เพื่อตรวจวัดอะทราซีน (atrazine) ชั้นในของเซ็นเซอร์จะเป็นชั้นโซล-เจลที่มีอินดิเคเตอร์อยู่ คือ โบโรโมครีซอลกรีน เมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์และอะทราซีน จะเกิดการปล่อยโปรตอนและทำให้โซล-เจลเกิดการเปลี่ยนสี

ในปี 2016 Tian และคณะ [21] ได้ศึกษาผลของลำดับความยาวแอปตาเมอร์ (aptamer) ในการตรวจวัดอะเซตามิพริด (acetamiprid) โดยใช้แอปตาเมอร์ที่คลุมนอยู่บนอนุภาคทองระดับนาโนเมตร สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนเมตรที่แอปตาเมอร์คลุมนอยู่จะมีสีชมพูแดง แอปตาเมอร์สายที่สั้นจะสามารถหลุดจากอนุภาคทองนาโนเพื่อไปจับกับโมเลกุลของอะเซตามิพริดได้ จากนั้นอนุภาคทองระดับนาโนเมตรจะเกิดการรวมตัวกันและกลายเป็นสีม่วง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนสีเมื่อตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชได้

ในปี 2016 Rohit และคณะ [22] ศึกษาการตรวจวัดเมตซัลฟูรอน-เมทิล (metsulfuron-methyl) โดยการใช้ dithiocarbamate-p-tertbutylcalix[4]arene ที่ติดอยู่กับอนุภาคทองคำนาโนเมตร (DTC-PTBCA-AuNPs) ซึ่งช่องว่างภายใน DTC-PTBCA จะมีความจำเพาะกับเมตซัลฟูรอน-เมทิลและเกิดการจับกันแบบโฮสต์-เกสต์ด้วย π - π ทำให้การดูดกลืนแสงของอนุภาคทองคำนาโนเมตรเกิดเลื่อนทางแดง (red shift) ดังนั้นจึงสามารถเห็นการเปลี่ยนสีได้ด้วยตาเปล่า

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชได้ด้วยการเปลี่ยนสีของสารละลายสีย้อมแอซิดบลู-25

บทที่ 2

การทดลอง

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. UV-Vis spectrophotometer, HP8453, AGILENT
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง, SI-234, DEHVER INSTRUMENT
3. เครื่องชั่ง 5 ตำแหน่ง, METTLER TOLEDO
4. มาตรฐานฟิโอส, LE409, METTLER TOLEDO
5. กล่อง Studio box

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ไมโครปิเปต
2. บีกเกอร์
3. แท่งแก้วคนสาร
4. หลอดทดลอง
5. ตะแกรงหลอดทดลอง
6. ขวดวัดปริมาตร
7. ขวดใส่น้ำกลั่น
8. ซ้อนตักสาร
9. พาสเจอร์ปิเปต
10. แท่งกวนแม่เหล็ก
11. คิวเวต
12. หลอดหยดสาร

2.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. แอซิดบลู 25 (Acid blue 25; $C_{20}H_{13}N_2NaO_5S$)

2. สารละลายโลหะมาตรฐาน ได้แก่ Au(III) Pd(II) Ag(I) Cr(III) Ni(II) Zn(II) Hg(II) Fe(III) As(V) Cu(II) Mn(II) Co(II)
3. พาราควอตไดคลอไรด์ (Paraquat dichloride; $C_{12}H_{14}Cl_2N_2$)
4. 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล (2-Mercaptobenzothiazole; $C_7H_5NS_2$)
5. เอทานอล (Ethanol; C_2H_5OH), ISO, AR, Reagent grade, MERCK
6. สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution) pH 4.0, 7.0, traceable to SRM from NIST and PTB, MERCK
7. สารละลายบัฟเฟอร์โซเดียมไฮดรอกไซด์/โซเดียมไบคาร์บอเนต pH 11.0
8. น้ำปราศจากไอออน (DI water)

2.4 วิธีการทดลอง

2.4.1 การเตรียมสารเคมี

2.4.1.1 การเตรียมสารละลายแอสิตบลู-25

การเตรียมสารละลายแอสิตบลู-25 โดยการชั่งแอสิตบลู-25 จำนวน 0.825 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออนและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

2.4.1.2 การเตรียมสารละลายโลหะต่าง ๆ ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

การเตรียมสารละลายโลหะต่าง ๆ ได้แก่ Au(III) Pd(II) Ag(I) Cr(III) Ni(II) Zn(II) Hg(II) Fe(III) As(V) Cu(II) Mn(II) Co(II) ด้วยการนำสารละลายโลหะมาตรฐานชนิดต่าง ๆ ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 2.5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนได้ปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร

2.4.1.3 การเตรียมสารละลายพาราควอตความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เตรียมสารละลายพาราควอตความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการนำสารละลายพาราควอตไดคลอไรด์ความเข้มข้น 27.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มา 0.0125 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

2.4.1.4 การเตรียมสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

เตรียมสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการชั่ง 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล 2.5 มิลลิกรัม ละลายและปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอล

2.4.2 การทดสอบปฏิกิริยาระหว่างสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะ

นำสารละลายโลหะต่าง ๆ ใส่ลงไปในหลอดทดลองปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายแอสิตบลู-25 ปริมาตร 2 มิลลิลิตรลงไป จากนั้นจึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงสี

2.4.3 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่ pH ต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะทอง

เตรียมสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0 ด้วยการนำสารละลายแอสิตบลู-25 มาปรับด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4.0, 7.0 และสารละลายบัฟเฟอร์ NaOH/NaHCO₃ pH 11 จากนั้นนำสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ pH ต่าง ๆ ใส่ลงไปในหลอดทดลอง และเติมสารละลายโลหะทองความเข้มข้น 1, 5, 10, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยปริมาตรที่เท่ากัน จากนั้นจึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีและนำไปวิเคราะห์ด้วย UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400–800 นาโนเมตร

2.4.4 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายโลหะทองกับสารละลายแอสิตบลู-25

เตรียมสารละลายโลหะทองที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยการเจือจางสารละลายโลหะทองความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายโลหะทองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ใส่ลงไปในหลอดทดลอง จากนั้นจึงเติมสารละลายแอสิตบลู-25 ด้วยปริมาตรที่เท่ากัน จากนั้นจึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีและนำไปวิเคราะห์ด้วย UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400–800 นาโนเมตร

2.4.5 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโลหะทองกับสารละลายพาราควอต

เตรียมสารละลายพาราควอตความเข้มข้น 0.001, 0.01, 1, 10, 20, 30, 50, 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายโลหะทอง ณ ความเข้มข้นที่เหมาะสมใส่ลงไปในหลอดทดลอง เติมสารละลายแอสิตบลู-25 และเติมสารละลายพาราควอตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นจึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีและนำไปวิเคราะห์ด้วย UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400–800 นาโนเมตร

2.4.6 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายโลหะทองกับสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล

เตรียมสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซลความเข้มข้น 0.001, 0.01, 1, 10, 20, 30, 50, 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายโลหะทอง ณ ความเข้มข้นที่เหมาะสมใส่ลงไปในหลอดทดลอง เติมสารละลาย

แอสิตบลู-25 และเติมสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากนั้นจึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีและนำไปวิเคราะห์ด้วย UV-vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400–800 นาโนเมตร โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

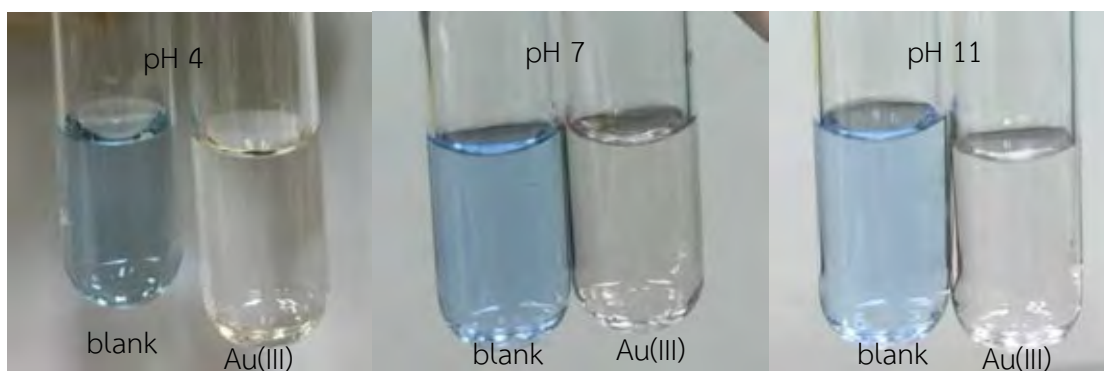
3.1 การทดสอบปฏิกิริยาระหว่างสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะ

ในการทดสอบปฏิกิริยาระหว่างสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0 กับสารละลายโลหะชนิดต่าง ๆ ได้แก่ Au(III) Pd(II) Ag(I) Cr(III) Ni(II) Zn(II) Hg(II) Fe(III) As(V) Cu(II) Mn(II) Co(II) ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้สารละลายทั้งสองในปริมาตรที่เท่ากัน ผลการทดลองเมื่อเทียบกับสารละลายแบลنگ์ จะได้ว่า สารละลายแบลنگ์จะมีสีฟ้าของแอสิตบลู-25 และสารละลายแอสิตบลู-25 ทุกค่า pH ที่ทำปฏิกิริยากับ Au(III) จะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินกลายเป็นใส ไม่มีสี และสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับ Fe(III) ที่ pH 7 สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินกลายเป็นฟ้าอ่อน และ pH 11 สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวอ่อน แต่ที่ pH 4 ยังคงมีสีน้ำเงิน เช่นเดียวกับกับสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับโลหะชนิดอื่น แล้วสารละลายไม่เกิดการเปลี่ยนสี ดังตารางที่ 3.1 เนื่องจาก โลหะ Au(III) อาจเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับแอสิตบลู-25 ได้ ในขณะที่โลหะชนิดอื่นไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ เมื่อ Au(III) เกิดปฏิกิริยารีดักชันรับอิเล็กตรอนจากแอสิตบลู-25 เปลี่ยนจาก Au(III) กลายเป็น Au(0) ซึ่งจะสามารถทำให้สารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินกลายเป็นไม่มีสีได้ อีกทั้งโครงสร้างของแอสิตบลู-25 สูญเสียความเป็นอะโรมาติกจากการให้อิเล็กตรอน ทำให้ไม่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วงที่สามารถมองเห็นได้ สีของสารละลายจึงกลายเป็นใส ไม่มีสี ดังรูปที่ 3.1 ในทุก ๆ pH ดังนั้น จึงเลือกสารละลายโลหะ Au(III) ในงานวิจัยนี้ เพราะมีการเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจน สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

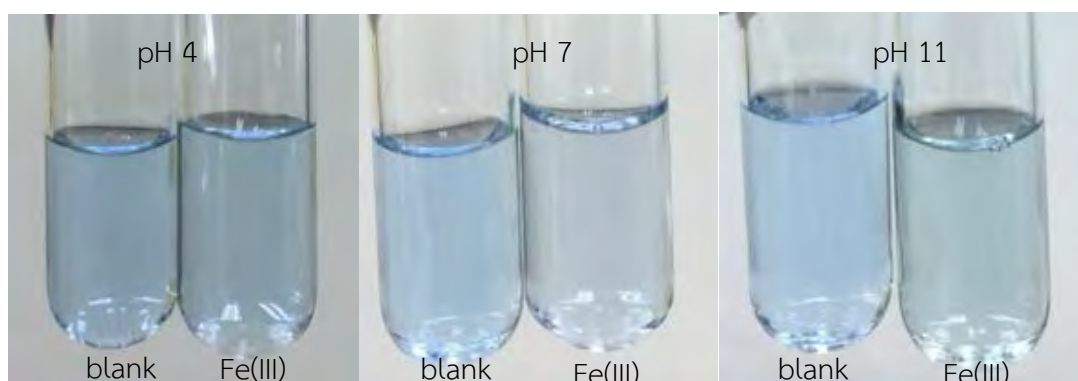
ตารางที่ 3.1 แสดงสีของสารละลายระหว่างแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะชนิดต่าง ๆ

ชนิดโลหะ	สีของสารละลายแอสิตบลู-25 ผสมกับสารละลายโลหะ		
	pH 4	pH 7	pH 11
Au(III)	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี
Pd(II)	-	-	-
Ag(I)	-	-	-
Cr(III)	-	-	-
Ni(II)	-	-	-

ชนิดโลหะ	สีของสารละลายแอสซิดบลู-25 ผสมกับสารละลายโลหะ		
	pH 4	pH 7	pH 11
Zn(II)	-	-	-
Hg(II)	-	-	-
Fe(III)	-	สีฟ้าอ่อน	สีเขียวอ่อน
As(V)	-	-	-
Cu(II)	-	-	-
Mn(II)	-	-	-
Co(II)	-	-	-



รูปที่ 3.1 สารละลายควบคุม (Blank control) และสารละลายแอสซิดบลู-25 ผสมกับสารละลาย Au(III) ที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 สารละลายควบคุม (Blank control) และสารละลายแอสซิดบลู-25 ผสมกับสารละลาย Fe(III) ที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0 ตามลำดับ

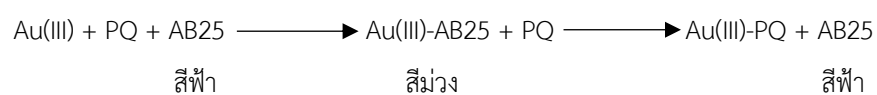
3.2 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่ pH ต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะทอง

เมื่อทดสอบการเปลี่ยนสีของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่มี pH 4.0, 7.0 และ 11.0 กับสารละลายโลหะทอง พบว่า สารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทุก ๆ ค่า pH ที่นำมาทดสอบจะมีการเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินกลายเป็นใส ไม่มีสีเหมือนกันทุก pH ดังรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของความเป็นกรดและเบสนั้นไม่ได้ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาและการเปลี่ยนสี จึงสามารถเลือกสารละลายแอสิตบลู-25 ที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อได้ทุกค่า pH













3.3 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายโลหะทองกับสารละลายแอสิตบลู-25

ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายโลหะทองที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร กับสารละลายแอสิตบลู-25 ดังตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ชัดว่าที่สารละลายโลหะทองความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายสีจะอ่อนลงกลายเป็นสีน้ำเงินอ่อนเมื่อเทียบกับสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ไม่ได้เติมสารละลายโลหะทอง เพราะปริมาณโลหะทองที่ไปทำปฏิกิริยากับแอสิตบลู-25 มีน้อยกว่ามากๆ จึงทำให้สารละลายยังคงมีสีน้ำเงินของแอสิตบลู-25 ที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน สารละลายโลหะทองความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายที่ได้จะมีสีม่วง เนื่องจากมีปริมาณโลหะทองมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับแอสิตบลู-25 ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันของโลหะทองกับแอสิตบลู-25 และทำให้เกิดการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ต่ำลงหรือ blue shift แต่ปริมาณโลหะทองยังคงมีน้อยกว่าแอสิตบลู-25 จึงได้สีม่วงที่มีสีเข้มจากสีน้ำเงินของแอสิตบลู-25 สารละลายโลหะทองความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีสีแดงม่วง เพราะปริมาณโลหะทองที่ทำปฏิกิริยากับแอสิตบลู-25 มีปริมาณที่พอดี ได้สารประกอบที่ให้สีใหม่ และสีน้ำเงินของแอสิตบลู-25 ได้หายไป สารละลายโลหะทองความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีสีน้ำตาลเหลืองอ่อน ซึ่งไม่เหลือสีน้ำเงินของแอสิตบลู-25 แล้ว เพราะมีปริมาณทองที่มากเกินไปและสีที่ได้คือสีของสารละลายโลหะทอง ที่สารละลายโลหะทองความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีสีเหลืองอ่อน เพราะมีปริมาณโลหะทองมากเกินไปที่จะพอกจากสีของแอสิตบลู-25 และสามารถยืนยันด้วยสเปกตรัมการดูดกลืนแสง ดังกราฟที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของสารละลายแอสิตบลู-25 จะมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 600 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโลหะทอง จะเห็นได้ว่า สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดมีการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ต่ำลงหรือ blue shift ซึ่งสารจะดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นต่ำลง จึงทำให้สารมีสีม่วง จากผลการทดลอง จึงเลือกสารละลายโลหะทองที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเมื่อทำปฏิกิริยากับแอสิตบลู-25 แล้ว จะมีสีที่แตกต่างจากแอสิตบลู-25 อย่างชัดเจน

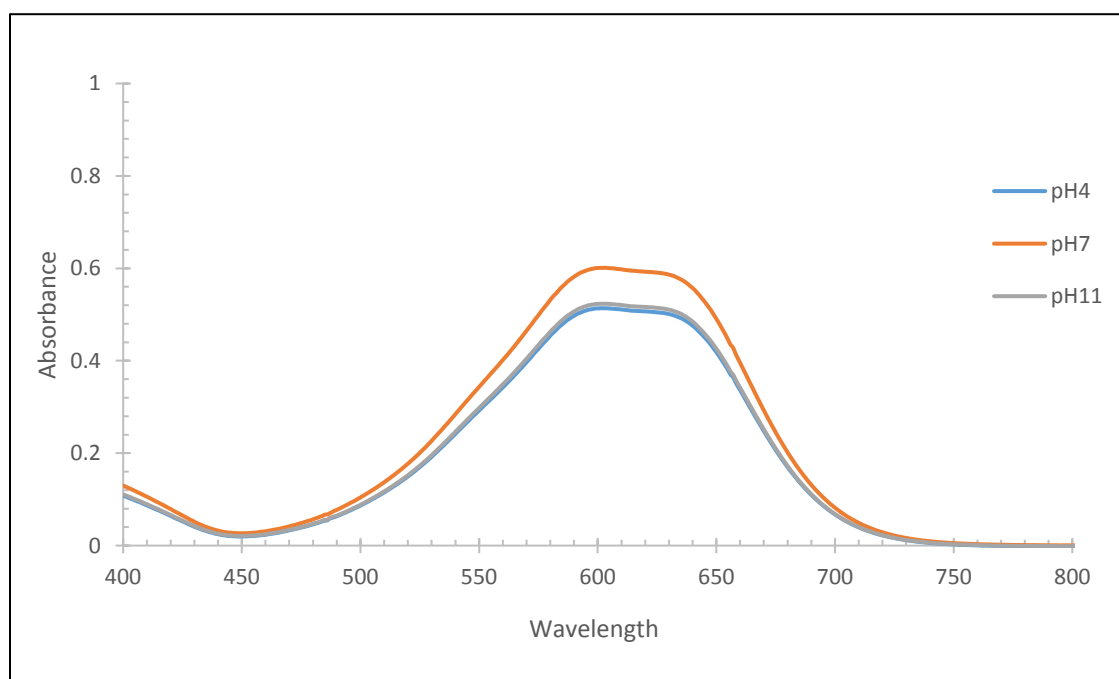
แผนภาพที่ 1.1 กลไกการเกิดสีของสารละลายเมื่อตรวจวัดพาราควอต



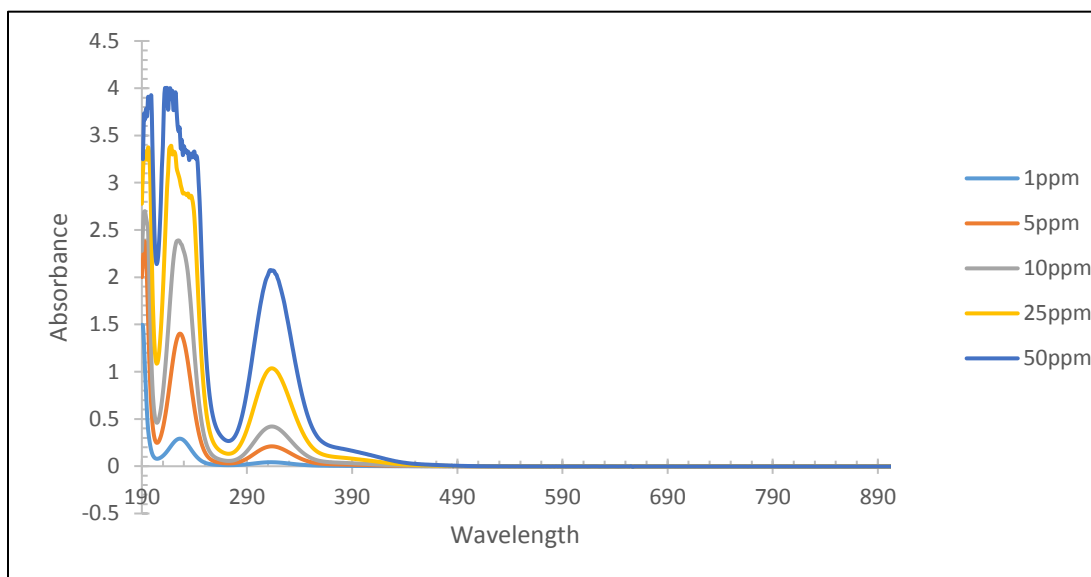
ตารางที่ 3.2 แสดงสีของสารละลายแอสิตบูลู-25 กับสารละลายทองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Au(III) (ppm)	สีของสารละลายแอสิตบูลู-25 กับผสมกับสารละลายโลหะ		
	pH 4	pH 7	pH 11
0			
1			
5			
10			

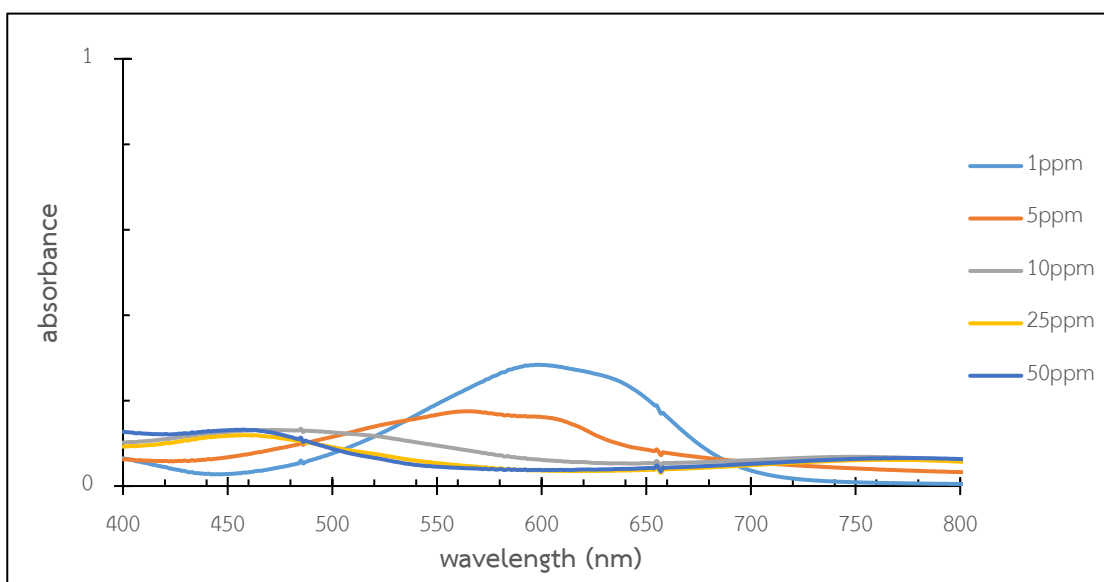
Au(III) (ppm)	สีของสารละลายแอสซิดบลู-25 กับผสมกับสารละลายโลหะ		
	pH 4	pH 7	pH 11
25			
50			



กราฟที่ 3.1 การดูดกลืนแสงระหว่างสารละลายแอสซิดบลู-25 ที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0



กราฟที่ 3.2 การดูดกลืนแสงระหว่างสารละลายโลหะทองที่ความเข้มข้นต่างๆ


















กราฟที่ 3.3 การดูดกลืนแสงระหว่างสารละลายแอสิตบลู-25 ผสมกับสารละลายโลหะทองที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

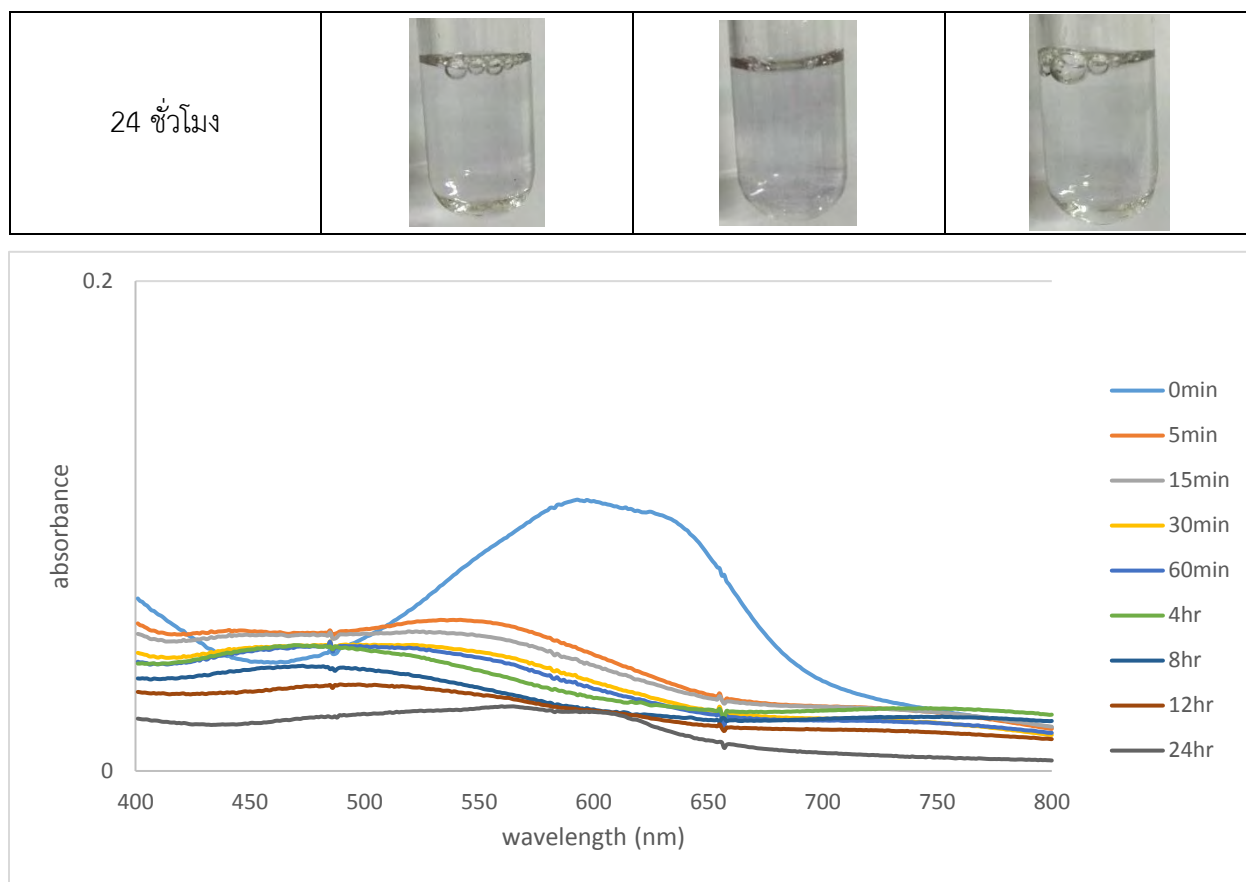
3.4 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับ สารละลายโลหะทองกับสารละลายพาราควอต

ในการวิเคราะห์กับสารละลายพาราควอตนี้ จะมีลำดับการเติมสาร คือ เติมสารละลายโลหะทองก่อน จากนั้นเติมสารละลายพาราควอต และสุดท้ายจึงเติมด้วยสารละลายแอสิตบลู-25 โดยสารละลายแต่ละชนิดจะเติม ด้วยปริมาตรเท่ากับ 2 มิลลิลิตร และกำหนดอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารละลายโลหะทองต่อสารละลายพาราควอต คือ 1:0.5, 1:1 และ 1:2 จากนั้นจึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 0, 5, 15, 30 นาที 1, 3, 6, 9, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเติมสารละลายแอสิตบลู-25 แล้วสารละลายผสมจะมีสีน้ำเงิน แต่เมื่อเวลาผ่านไป ตั้งแต่ 1 นาที จากการสังเกตด้วยตาเปล่า จะเห็นได้ว่าสารละลายมีสีม่วงอ่อน เพราะโลหะทองที่อยู่ในสารละลาย จะไปเกิดปฏิกิริยากับสารละลายแอสิตบลู-25 และเมื่อเวลาผ่านไป 9 ชั่วโมง พบว่า สารละลายจะกลายเป็นสีฟ้าอ่อน ซึ่งเป็นสีของแอสิตบลู-25 เพราะโลหะทองจะหลุดจากสารละลายแอสิตบลู-25 และไปจับกับพาราควอต จึงทำให้ได้สีฟ้าของสารละลายแอสิตบลู-25 กลับมา ซึ่งจะเป็นเช่นเดียวกันในทุก ๆ อัตราส่วนโดยโมล และเมื่อวิเคราะห์ด้วย UV-vis spectrophotometer จะได้สเปกตรัมดังกราฟที่ 3.2 แต่จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำมาก จนไม่สามารถระบุความแตกต่างได้อย่างชัดเจน จึงไม่สามารถวิเคราะห์พาราควอตได้

ตารางที่ 3 3 การเปลี่ยนสีของสารละลายผสมระหว่างสารละลายโลหะทอง สารละลายแอสิตบลู-25 และ สารละลายพาราควอตในเวลาต่างๆ

ระยะเวลา	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารละลายโลหะทองต่อสารละลายพาราควอต		
	1:0.5	1:1	1:2
0			
5 นาที			

15 นาที			
30 นาที			
1 ชั่วโมง			
3 ชั่วโมง			
6 ชั่วโมง			
9 ชั่วโมง			
12 ชั่วโมง			



กราฟที่ 3 4 สเปกตรัมการเปลี่ยนสีของสารละลายผสมระหว่างสารละลายโลหะทอง สารละลายแอสิตบลู-25 และ สารละลายพาราควอต ในเวลาต่าง ๆ

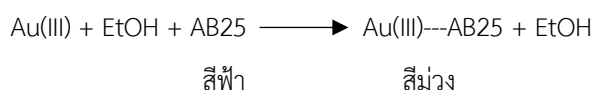
3.5 การตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ของสารละลายแอสิตบลู-25 ที่ทำปฏิกิริยากับ สารละลายโลหะทองกับสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล

ในการวิเคราะห์กับสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซลนี้ จะเติมสารละลายโลหะทองความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อน เพื่อให้สีที่เปลี่ยนใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ 3.3 ซึ่งเป็นสีที่แตกต่างจากสารละลายแอสิตบลู-25 และจะสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน จากนั้นเติมสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล ที่ความเข้มข้น 0.001, 0.01, 1, 5, 10, 30, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และสุดท้ายจึงเติมด้วยสารละลายแอสิตบลู-25 โดยสารละลายแต่ละชนิดจะเติมด้วยปริมาตรเท่ากัน 0.5 มิลลิตร จากนั้นจึงสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ผลการสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายจะได้ดังตารางที่ 3.4 ที่เวลา 0 นาที สารละลายทุกความเข้มข้นมีสีฟ้าเหมือนกัน เมื่อเวลาผ่านไป สารละลายควบคุม สารละลายที่ความเข้มข้น

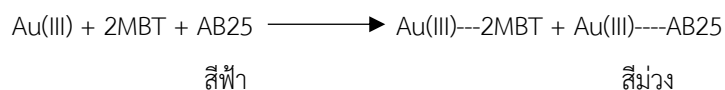
0.001, 0.01, 1, 5, 10 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร จะค่อย ๆ เริ่มเปลี่ยนเป็นสีม่วงตั้งแต่ที่เวลา 5 นาที จนกระทั่งที่เวลา 20 นาที สารละลายที่กล่าวมาจะกลายเป็นสีม่วงที่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างกับสีของสารละลายเริ่มต้นด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน ในขณะที่สารละลายความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นจะมีสีฟ้าตั้งแต่เริ่มต้นและไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีแต่อย่างใด

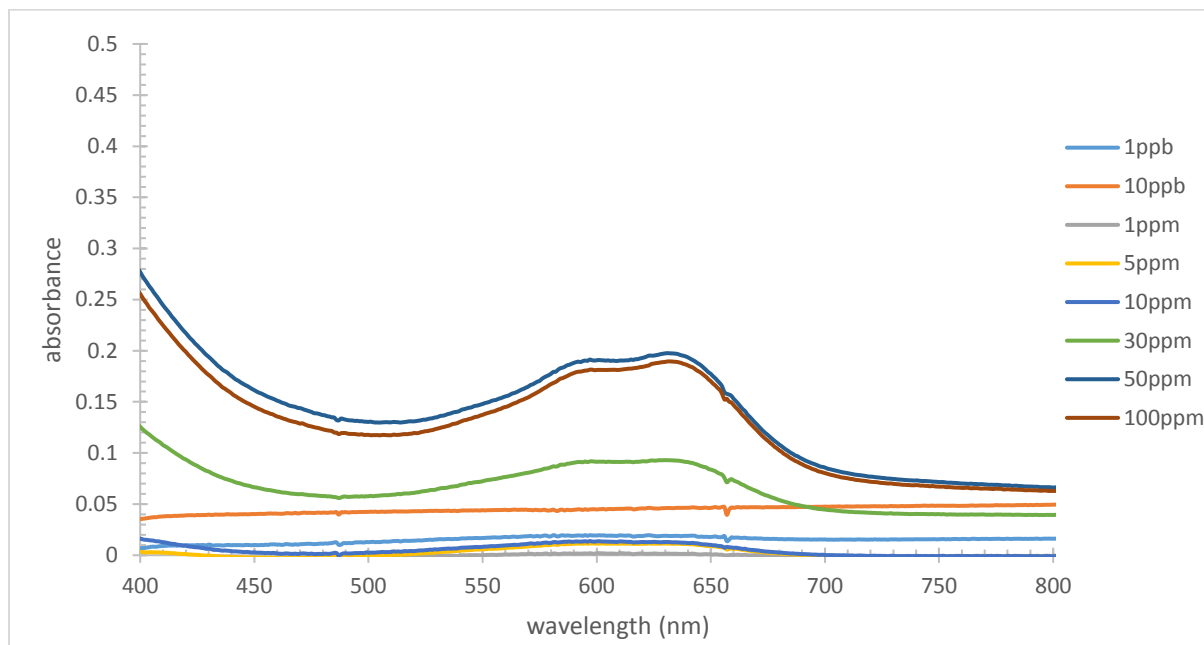
จากผลการทดลองที่ได้ คาดว่าเกิดจากโลหะทองจับกับ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซลก่อน และเมื่อเติมสารละลายแอสิตบลู-25 โลหะทองที่ไม่ได้จับกับ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซลจึงจะไปจับกับแอสิตบลู-25 ทำให้เกิดสีม่วง โดยสารละลายควบคุม (blank) ซึ่งไม่มี 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซลอยู่เลย โลหะทองจึงทำปฏิกิริยากับแอสิตบลู-25 ได้ทั้งหมด จึงทำให้ได้สารละลายสีม่วง และเมื่อเพิ่มปริมาณ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซล โลหะทองจับสาร 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซลด้วย ทำให้โลหะทองที่ไปทำปฏิกิริยากับแอสิตบลู-25 มีปริมาณลดลง สารละลายจึงมีสีม่วงลดลงและมีสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น และเมื่อ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซลมากเกินไป จึงทำให้ไม่มีโลหะทองเหลือพอที่จะไปจับแอสิตบลู-25 สารละลายจึงมีสีน้ำเงินและไม่เปลี่ยนสี ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมของสารละลายผสม ณ เวลา 20 นาที ดังกราฟที่ 3.3 โดยสารละลายที่ความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 640 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของแอสิตบลู-25 เมื่อความเข้มข้นลดลง ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดจะยิ่งลดลง เพราะการเกิดสีม่วงของการที่โลหะทองจับกับแอสิตบลู-25 และเมื่อพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซลกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ดังกราฟที่ 3.4 จะได้ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ดีที่ช่วงความเข้มข้น 1-30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9886

แผนภาพที่ 1.2 กลไกการเกิดสีของสารละลายแบลงก์

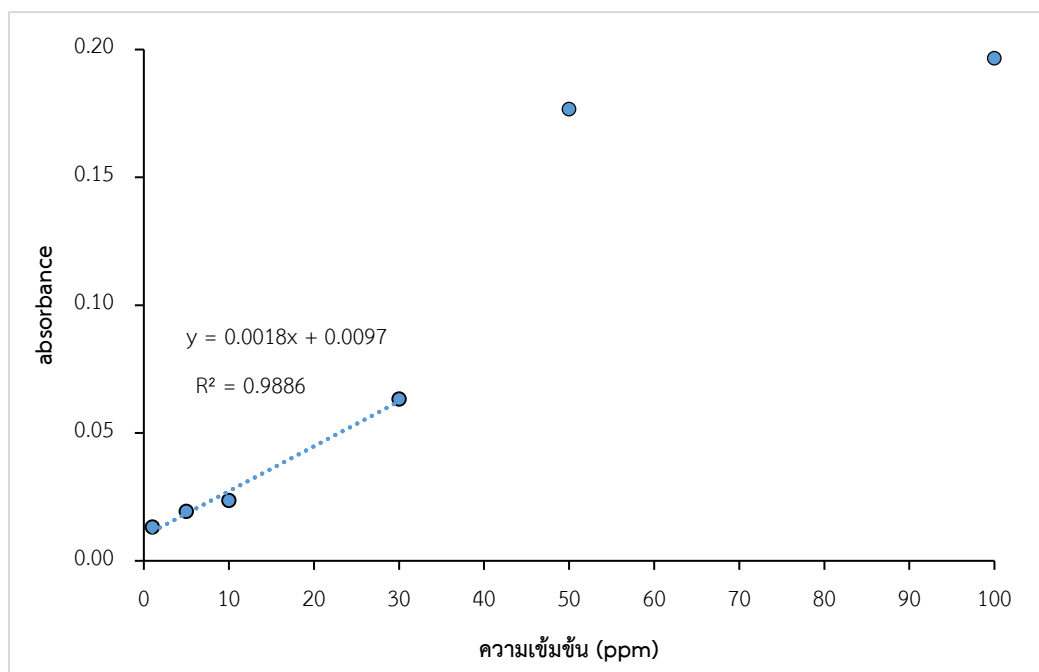


แผนภาพที่ 1.2 กลไกการเกิดสีของสารละลายที่มีปริมาณของ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทโอะโซล น้อยกว่าปริมาณของสารละลายทอง





กราฟที่ 3.5 สเปกตรัมของสารละลายโลหะทอง สารละลายแอสิตบลู-25 และสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เวลา 20 นาที



กราฟที่ 3.6 กราฟระหว่างความเข้มข้นของ 2-เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซลกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร ที่เวลา 20 นาที

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

4.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการตรวจวัดสารปราบศัตรูพืชชนิดพาราควอตและอนุพันธ์ของเบนโซโทอะโซล คือ 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซล โดยให้สารละลายแอสิตบลู-25 ทำปฏิกิริยากับสารละลายโลหะ เพื่อให้เกิดการฟอกจางสี และเมื่อนำไปทดสอบกับสารปราบศัตรูพืชทั้งสองชนิดจึงจะเกิดการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีที่สามารถสังเกตเห็นได้ เมื่อทดสอบสารละลายแอสิตบลู-25 กับสารละลายโลหะชนิดต่าง ๆ จะพบว่าสารละลายโลหะทองเหมาะสมสำหรับการทดลอง เนื่องจากสารละลายโลหะทองสามารถฟอกจางสีสารละลายแอสิตบลู-25 จากสีน้ำเงินกลายเป็นไม่มีสีได้และผลการทดลองที่ pH 4.0, 7.0 และ 11.0 แสดงให้เห็นว่าค่า pH ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของสารละลายแอสิตบลู-25 และความเข้มข้นของสารละลายทองที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง คือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายแอสิตบลู-25 สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีแดงม่วง ซึ่งเป็นสีที่แตกต่างจากสีของสารละลายแอสิตบลู-25 อย่างชัดเจน เมื่อนำไปทดสอบกับสารปราบศัตรูพืชทั้งสองชนิด โดยมีลำดับการเติมสาร คือ สารละลายโลหะทอง สารปราบศัตรูพืช และสารละลายแอสิตบลู-25 ในการทดสอบกับสารละลายพาราควอต พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 9 ชั่วโมง สารละลายผสมจะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงกลายเป็นสีฟ้าอ่อน แต่เมื่อวิเคราะห์ด้วย UV-vis spectrophotometer จะได้สเปกตรัมที่ค่าการดูดกลืนแสงต่ำมากจนไม่สามารถระบุการเปลี่ยนแปลงได้ จึงไม่สามารถวิเคราะห์พาราควอตด้วยวิธีการนี้ได้ แต่ในการทดสอบกับสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซลนั้น พบว่า สารละลายผสมจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง และเมื่อพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซล กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร จะได้กราฟเส้นตรงที่ช่วงความเข้มข้น 1 – 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถวิเคราะห์หาปริมาณ 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซล ได้ด้วยการเปลี่ยนสีในช่วงความเข้มข้น 1 – 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาและพัฒนาการตรวจวัดพาราควอตด้วยการตรวจวัดทางสี
2. ศึกษาและพัฒนาการตรวจ 2-เมอร์แคปโทเบนโซโทอะโซล ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. รายงานสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี พ.ศ. 2561, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561.
2. Hong, G.; Hu, L.; Tang, Y.; Zhang, T.; Kang, X.; Zhao, G.; Lu, Z. Prognosis and survival analysis of paraquat poisoned patients based on improved HPLC-UV method. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods* **2016**, *80*, 75–80.
3. de Almeida, RM.; Yonamine, M. Gas chromatographic-mass spectrometric method for the determination of the herbicides paraquat and diquat in plasma and urine samples. *Journal of Chromatography B* **2007**, *853*, 260–264.
4. Domínguez, C.; Reyes-Contreras, C.; M.Bayona, J. Determination of benzothiazoles and benzotriazoles by using ionic liquid stationary phases in gas chromatography mass spectrometry. Application to their characterization in wastewaters *Journal of Chromatography A* **2012**, *1230*, 117–122.
5. Naccarato, A.; Gionfriddo, E.; Sindona, G.; Tagarelli, A. Simultaneous determination of benzothiazoles, benzotriazoles and benzosulfonamides by solid phase microextraction-gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry in environmental aqueous matrices and human urine *Journal of Chromatography A* **2014**, *1338*, 164-173.
6. Farahiab, A.; Achak, M.; El Gainib, L.; El Mhammedia, M.A.; Bakasseb, M. Silver particles-modified carbon paste electrodes for differential pulse voltammetric determination of paraquat in ambient water samples *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences* **2018**, *19*, 37–43.
7. Sun, S.; Li, F.; Liu, F.; Wang, J.; Peng, X. Fluorescence detecting of paraquat using host-guest chemistry with cucurbit[8] uril *Scientific Reports* **2014**, *4*, 3570.
8. Garcia-Febreroab, R.; Salvadorab, J.; Sanchez-Baezaab, F.; Marco, M. Rapid method based on immunoassay for determination of paraquat residues in wheat, barley and potato *Food Control* **2014**, *41*, 193–201.

9. Patra, L.; Aich, K.; Gharami, S.; Mondal, T. A new carbazole-benzothiazole based chemodosimeter for chromogenic and fluorogenic detection of CN^- *Journal of Luminescence* **2018**, *201*, 419–426.
10. Shen, Y.; Zhang, X.; Zhang, C.; Zhang, Y.; Jin, J.; Li, H. A simple fluorescent probe for the fast sequential detection of copper and biothiols based on a benzothiazole derivative *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **2018**, *191*, 427–434.
11. Zhaoa, Z.; Zhang, F.; Zhang, Z. A facile fluorescent "turn-off" method for sensing paraquat based on pyranine-paraquat interaction *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **2018**, *199*, 96–101.
12. Tu, J.; Xiao, L.; Jiang, Y.; He, Q.; Sun, S.; Xu, Y. Near-infrared fluorescent turn-on detection of paraquat using an assembly of squaraine and surfactants *Sensors and Actuators B: Chemical* **2015**, *215*, 382–387.
13. Zenga, S.; Li, S.; Suna, X.; Lia, M.; Xinga, Z.; Li, J. A benzothiazole-based chemosensor for significant fluorescent turn-on and ratiometric detection of Al^{3+} and its application in cell imaging *Inorganica Chimica Acta* **2019**, *486*, 654–662.
14. นวัตกรรมใหม่ของประเทศไทย การวิจัยชุดทดสอบสารเคมีกำจัดแมลงและวัชพืช , กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี, 2559, 79-86.
15. Ghodbane, H.; Hamdaoui, O. Decolorization of antraquinonic dye, C.I. Acid Blue 25, in aqueous solution by direct UV irradiation, UV/H₂O₂ and UV/Fe(II) processes *Chemical Engineering Journal* **2010**, *160*, 226–231.
16. Tovar-Gómez, R.; Rivera-Ramírez, DA.; Hernández-Montoya, V.; Bonilla-Petriciolet, A.; Durán-Valle, CJ.; Montes-Morán, MA. Synergic adsorption in the simultaneous removal of acid blue 25 and heavy metals from water using a $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ -modified carbon *Journal Hazardous Materials* **2012**, *199-200*, 290–300.
17. Sun, J.; Guo, L.; Bao, Y.; Xie, J. A simple, label-free AuNPs-based colorimetric ultrasensitive detection of nerve agents and highly toxic organophosphate pesticide *Biosens and Bioelectron* **2011**, *28*, 152–157.

18. Marcosa, S.; Callizoa, E.; Mateosa, E.; Galbána, J. An optical sensor for pesticide determination based on the autoindicating optical properties of peroxidase *Talanta* **2014**, *122*, 251–256.
19. Lv, B.; We, M.; Liu, Y.; Liu,X.; Wei, W.; Liu, S. Ultrasensitive photometric and visual determination of organophosphorus pesticides based on the inhibition of enzyme-triggered formation of core-shell gold-silver nanoparticles *Microchim Acta* **2016**, *183*, 2941–2948.
20. Andreou, V.; Clonis, Y. Novel fiber-optic biosensor based on immobilized glutathione S-transferase and sol–gel entrapped bromocresol green for the determination of atrazine *Analytica Chimica Acta* **2002**, *460*, 151–161.
21. Tian, Y1.; Wang, Y.; Sheng, Z.; Li, T.; Li, X. A colorimetric detection method of pesticide acetamiprid by fine-tuning aptamer length *Anal. Biochem.* **2016**, *513*, 87–92.
22. Rohit, J.; Singhal, S.; Kailasa,S. Dithiocarbamate-calix[4]arene functionalized gold nanoparticles as a selective and sensitive colorimetric probe for assay of metsulfuron-methyl herbicide via non-covalent interactions *Sensors and Actuators B: Chemical* **2016**, *237*, 1044–1055.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวปิยนุกาญจน์ อินตะแสน เกิดเมื่อวันที่ 4 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2539 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษา
ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนปิ่นสร้อยแยลส์วิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อปีการศึกษา 2557 เข้าศึกษา
ต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2558
เคยได้รับทุนการศึกษา Sponsorship Student จากบริษัท อาโตเทค จำกัด เมื่อ พ.ศ. 2561 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อ
ได้ บ้านเลขที่ 51 ตำบลสันกำแพง อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ รหัสไปรษณีย์ 50130 อีเมล
Pinyakarn.in@gmail.com