



การตรวจวัดไอออนตะกั่วในน้ำตัวอย่างด้วยตาเปล่า

โดยใช้รีเอเจนต์สกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาว

Naked-Eye Detection of Lead Ion in Water sample using Reagent Extracted from White Dragon Fruit Peel

วารางคณา เขาคี^{1*} รติกร วงศ์กิติ¹ และสุภัตตรา มาแดง¹

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

*Corresponding Author, E-mail: warangkha.k@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการตรวจวัดไอออนของโลหะในน้ำตัวอย่างด้วยตาเปล่าทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณโดยใช้สารสกัดจากพืช เบต้าไซยานินเป็นสารสกัดที่ได้จากเปลือกแก้วมังกรขาวโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย จากนั้นทำการทดสอบการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเบต้าไซยานินกับไอออนโลหะร่วมกับผลของพีเอช พบว่าตะกั่ว (Pb^{2+}) สามารถเปลี่ยนสีของเบต้าไซยานินได้อย่างชัดเจนในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 สภาวะที่เหมาะสมในการหาปริมาณ Pb^{2+} ทำได้โดยการนำรีเอเจนต์ปริมาตร 10 ไมโครลิตรหยดลงในสารละลายผสมระหว่างบัฟเฟอร์พีเอช 6 ที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร กับน้ำตัวอย่างปริมาตร 200 ไมโครลิตร โดยความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า คือ 3×10^{-4} โมลาร์ โดยไม่มีผลรบกวนจากไอออนอื่นยกเว้นไอออนซัลเฟต (SO_4^{2-}) วิธีที่พัฒนาขึ้นยังให้ผลสอดคล้องกันเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค AAS

ABSTRACT

This study focused on the qualitative and quantitative naked-eye detection of metal ion in water sample using reagent extracted from plants. Betacyanin could be extracted from white dragon fruit peel using ethanol as a solvent, and the interaction between betacyanin and metal ion was then examined along with the effect of pH. Pb^{2+} was found to be able to clearly change the color of betacyanin under buffer solution pH 6. The optimum condition for the detection of Pb^{2+} was observed by adding 10 μ L of reagent in the mixture of 500 μ L of 0.01 M buffer pH 6 and 200 μ L of water sample. The detection limit of naked-eye detection was

3×10^{-4} M without interference from other ions, except sulphate ion. This developed method also showed correlated results comparing with AAS technique.

คำสำคัญ: เปลือกแก้วมังกร ตะกั่ว เบต้าไซยานิน การตรวจวัดด้วยตาเปล่า

Keywords: Dragon fruit peel, Pb^{2+} , Betacyanin, Naked-eye detection

1. บทนำ

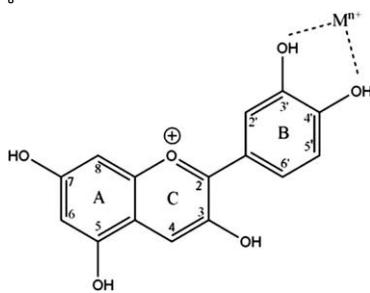
ปัจจุบันเราจะพบแหล่งน้ำที่เน่าและสกปรกได้ทั่วไป อันเนื่องมาจากปัจจัยหลายประการ ซึ่งผลกระทบที่ตามมาก่อให้เกิดอันตรายและความเสียหายอย่างมหาศาล ทั้งต่อการอุปโภคและบริโภค สาเหตุหนึ่งของน้ำเสียมาจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) ปรอท (Hg) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) จากแหล่งต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โรงงานผลิตสี โรงงานผลิตสารพิษกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น ในปัจจุบันการตรวจสอบโลหะหนักในน้ำนิยมใช้เครื่องมือต่างๆ ในการตรวจสอบ เช่น UV-Visible Spectrophotometer, Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และ Inductively Coupled Plasma (ICP) เป็นต้น ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่ละเอียด ถูกต้อง อย่างไรก็ตาม ผู้วิเคราะห์จะต้องมีความรู้ความเข้าใจในการใช้เครื่องมือ การทำการวิเคราะห์จะต้องอยู่ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น นอกจากนี้เครื่องมือยังมีราคาแพง ใช้สารเคมีปริมาณมาก และสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ยังเป็นอันตรายต่อผู้ทำการวิเคราะห์และสิ่งแวดล้อมด้วย

ในปัจจุบันมีการผลิตชุดเครื่องมือในการทดสอบโลหะหนักเบื้องต้น คือ Test Kit ซึ่งมีความสะดวกในการวิเคราะห์มากขึ้นและทำได้ง่ายกว่าวิธีการใช้เครื่องมือ ผู้ทำการวิเคราะห์ไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญสูงและชุดทดสอบมีราคาถูกกว่า แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิต Test Kit ก็ยังใช้

สารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น เมื่อทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดการปนเปื้อนและเป็นสาเหตุของน้ำเสียอีกด้านหนึ่งด้วย จากการศึกษาเอกสารเบื้องต้น พบว่าสารจากธรรมชาติบางชนิดสามารถเกิดอันตรกิริยากับโลหะบางชนิดได้ จึงเกิดแนวความคิดที่จะศึกษาการใช้สารสกัดจากธรรมชาติเป็นรีเอเจนต์สำหรับทดสอบโลหะหนักในน้ำเบื้องต้น โดยวิธีนี้จะทำให้การวิเคราะห์ง่ายและสะดวก ไม่จำเป็นต้องทำในห้องปฏิบัติการ และไม่ใช่อันตรายต่อผู้ทำการวิเคราะห์เพราะเป็นสารสกัดจากธรรมชาติ รวมทั้งเป็นการนำพืชที่หาง่ายในท้องถิ่นมาทำให้เกิดประโยชน์และได้รีเอเจนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้อาจพัฒนาเป็นชุดทดสอบโลหะหนักในน้ำเบื้องต้น เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำด้วยวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดต่อไป

มีงานวิจัยที่ศึกษาการเกิดอันตรกิริยาของสารสกัดจากธรรมชาติกับไอออนโลหะ ยกตัวอย่างเช่น พงษ์เทพ (2542) พบว่าแอนโทไซยานินเมื่อสัมผัสกับโลหะบางชนิดจะทำให้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดของการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเกิด bluing ของสี และยังทำให้โมเลกุลของสีตกตะกอน เช่น เหล็กผสม (Fe^{2+} , Fe^{3+}) ตะกั่ว (Pb^{2+}) และ ทองแดง (Cu^{2+}) โดยเฉพาะกรรมวิธีการผลิตอาหารกระป๋องที่มีการให้ความร้อนและมีความเป็นกรดร่วมด้วยจะทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างโลหะดังกล่าวกับหมู่ฟีนอล (Phenol) ของแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในผักและผลไม้ที่นำมาผ่านกรรมวิธีการผลิตส่วน Khaodee และคณะ (2014) ได้

นำไซยานิดิน (Cyanidin) ซึ่งสกัดจากกะหล่ำปลีม่วงไปใช้ในการตรวจหา Cu^{2+} , Pb^{2+} , Al^{3+} และ Fe^{3+} โดยอาศัยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนและการเปลี่ยนสีตามสภาวะกรด-เบส ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่าทั้งในเชิงคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจหา Cu^{2+} , Pb^{2+} , Al^{3+} และ Fe^{3+} เท่ากับ 50, 80, 50 และ 200 ไมโครโมลาร์ (μM) ตามลำดับรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการเกิดอันตรกิริยาของไซยานิดินกับไอออนโลหะที่หมู่ไฮดรอกซิลในวงแหวน B เมื่อเกิดสารเชิงซ้อนทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นมากขึ้น

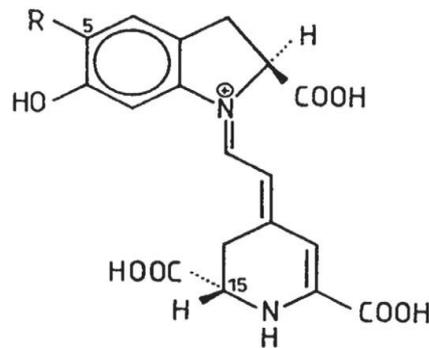


รูปที่ 1 โครงสร้างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไซยานิดิน ที่มา: Khaodee และคณะ (2014)

เบต้าไซยานิน (betacyanin) เป็นสารจำพวกบีตาเลน ซึ่งบีตาเลนเป็นรงควัตถุให้สีที่พบในพืชบางชนิดพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ ละลายน้ำได้ดีพบเป็นครั้งแรกในบีทรูท (*Beta vulgaris* sp.) แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ บีตาไซยานิน (betacyanin) และเบต้าแซนทิน (betaxanthin) ที่ให้สีเหลืองส้ม โครงสร้างพื้นฐานของบีตาเลนเป็นอนุพันธ์อิมโมเนียมของกรดบีตาลามิกที่มี cyclo-Dopa และกรดอะมิโนหรือเอมีนเบต้าไซยานินที่ให้สีแดงถึงม่วงดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535-540 นาโนเมตร (nm) มี 4 ชนิดที่พบบ่อยได้แก่บีตานิน (betanin) บูเจนวิลลีน

(bougainvillein) กอมพรีนิน (gomphrenin) และอะมารานทิน (amaranthin)

เบต้าไซยานินมักเกิดขึ้นร่วมกับเบต้าแซนทิน เช่นเดียวกับแอนโทไซยานินอยู่ร่วมกับฟลาโวนอยด์ ตัวอย่างเช่นในบีทรูทแดงพบเบต้าไซยานินและบีตาแซนทิน 0.04-0.21% และ 0.02-0.14% ตามลำดับแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ (Nilsson, 1970) เบต้าไซยานินมีโครงสร้างพื้นฐานดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของเบต้าไซยานิน ที่มา: Sreekanth และคณะ (2007)

มีรายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อสีและความเสถียรของเบต้าไซยานินประกอบด้วยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ซึ่งจะมีผลต่อความคงตัวของเบต้าไซยานินจากสารสกัดของเปลือกแก้วมังกรขาวการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงทำให้ความคงตัวของเบต้าไซยานินลดลง (อรุษา และคณะ, 2553) ส่วนกรด Betalamic และ cyclo-DOPA-glucoside เป็นสารที่ไม่เสถียรสามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเช่น oxidation และ maillard-reaction ทำให้เกิดสารสีน้ำตาลได้ (Reynoso และคณะ, 1997) และไอออนบวกของโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก ทองแดง ดีบุก และอะลูมิเนียม สามารถเร่งปฏิกิริยาการทำลายโครงสร้างของเบตานินได้เช่นกัน (Pasch และ von Elbe, 1979; Attoe และ von Elbe, 1984) และโลหะหนักกับรงควัตถุสามารถเกิด

สารประกอบเชิงซ้อนและเกิดการเปลี่ยนแปลงสีได้ซึ่งพบว่าในแก้วมังกรขาวอุดมไปด้วยเบต้าไซยานิน แก้วมังกรขาวหรือ Dragonfruit หรือ Pitahaya มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Hylocereus-undatus (Haw) Britt & Rose. เป็นพืชตระกูลแคคตัส (Cactus) เป็นสกุลหนึ่งของตะบองเพชร ดังรูปที่ 3 (จินตน์กานต์, 2558)



รูปที่ 3 ลักษณะของแก้วมังกรขาว

ตะกั่ว (Lead; Pb) เป็นอันตรายต่อร่างกายอย่างรุนแรง เมื่อได้รับตะกั่วในปริมาณที่สูง โดยมีการวิจัยพบว่าคนทั่วไปมีตะกั่วในเลือด 0.25 พีพีเอ็ม จะไม่มีผลใดๆ ต่อร่างกาย แต่ถ้าร่างกายรับตะกั่วเข้าไปในปริมาณมากในทันทีทันใด พิษของสารตะกั่วจะก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อธาตุแคลเซียม สังกะสี และเหล็กในร่างกาย ทำให้ระบบการเรียนรู้บกพร่องในเด็ก โดยตะกั่วจะเข้าไปแทนที่แคลเซียม มีผลยับยั้งการปล่อยสารสื่อประสาท และรบกวนการควบคุมเมตาบอลิซึมของเซลล์ ทำให้มีการสะสมตะกั่วเพิ่มขึ้นในไตและกระดูก (ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2554)

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาสารให้สีจากแก้วมังกรขาวมาประยุกต์ใช้ตรวจวัด Pb^{2+} ในน้ำ ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ทำให้การตรวจวัดง่าย สะดวก รวดเร็ว เป็นการตรวจวัดเบื้องต้นเพื่อจะเป็นประโยชน์ต่อการตรวจวัดด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสกัดสารสีจากเปลือกแก้วมังกรขาว

ทำความสะอาดเปลือกแก้วมังกรขาวสด 200 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออน หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในบีกเกอร์ 3 ใบ เติมน้ำกลั่น อะซิโตนและเอทานอล ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์แช่ทิ้งไว้ในตู้เย็น 72 ชั่วโมง จากนั้นกรองสารสกัดที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บสารสกัดไว้ในตู้เย็น

2. การทำปฏิกิริยาสารละลาย

นำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวที่สกัดด้วยเอทานอล 100 มิลลิลิตร ใส่ในกรวยแยกเติมคลอโรฟอร์ม 50 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน แล้วไขชั้นคลอโรฟอร์มทิ้งไปนำสารสกัดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3. ผลของพีเอชต่อการตรวจวัด Pb^{2+}

ใส่สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 3, 4, 5, 6 และ 7 ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ลงในภาดหลุมพลาสติก หลุมละ 500 ไมโครลิตร หยดสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 1 หยด ลงในภาดหลุมที่มีสารละลายบัฟเฟอร์นั้นๆ (ส่วน blank ให้ใช้น้ำกลั่น ปริมาตร 1 หยด แทนสารละลาย Pb^{2+}) จากนั้นหยดสารสกัดที่ได้จากเปลือกแก้วมังกรขาว 1 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารสกัด

4. ผลของความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ต่อการตรวจวัด Pb^{2+}

ใส่สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 ที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 โมลาร์ ลงในภาดหลุมพลาสติก หลุมละ 500 ไมโครลิตร หยดสารละลาย Pb^{2+} ที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 1 หยด ลงไปในภาดหลุมที่มีสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 (ส่วน blank ให้ใช้น้ำกลั่นปริมาตร 1 หยด แทนสารละลายโลหะ) หยดสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาว 1 หยด ลงไปใน

สภาพหลุมทุกหลุม สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีเทียบกับสารละลาย blank ที่เติมน้ำกลั่นแทนสารละลายตะกั่ว

5. ปริมาตรของรีเอเจนต์ที่เหมาะสมของการตรวจวัด Pb^{2+}

ใส่สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ลงในภาชนะพลาสติกจำนวน 10 หลุม ปริมาตรหลุมละ 500 ไมโครลิตร หลุมที่ 2-10 หยดสารละลาย Pb^{2+} ที่มีความเข้มข้น 5×10^{-5} , 8×10^{-5} , 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , 8×10^{-4} , 1×10^{-3} , 3×10^{-3} และ 5×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ตามลำดับ (ส่วนหลุมที่ 1 ให้ใช้น้ำกลั่นปริมาตร 200 ไมโครลิตร แทนสารละลาย Pb^{2+}) หยดสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวปริมาตร 5, 10, 20 และ 30 ไมโครลิตร ลงไปในภาชนะแต่ละชุดสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของแต่ละชุดเทียบกับสารละลาย blank ที่เติมน้ำกลั่นแทนสารละลาย Pb^{2+}

6. ผลของตัวรบกวน (Interfering Effect) ต่อการตรวจวัด Pb^{2+}

ใส่สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ลงในภาชนะพลาสติกจำนวน 10 หลุม ปริมาตรหลุมละ 500 ไมโครลิตร หยดสารละลาย Pb^{2+} ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงไปในแต่ละหลุม (เตรียมทั้งหมด 5 ชุด สำหรับเป็นชุดควบคุม 1 ชุด และชุดทดลอง 4 ชุด) หยดตัวรบกวนที่ต้องการศึกษา ซึ่งได้แก่ $Ca(NO_3)_2$, $MgCl_2$, KCl และ Na_2SO_4 ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 20 ไมโครลิตรลงในแต่ละชุดจากนั้นหยดสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงไปทุกหลุมของทุกชุด สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีเทียบกับชุดควบคุมที่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลาย Pb^{2+}

7. การวิเคราะห์ Pb^{2+} แบบ semi-quantitative analysis

1. ใส่สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ลงในภาชนะพลาสติกจำนวน 10 หลุม ปริมาตรหลุมละ 500 ไมโครลิตร

2. หลุมที่ 2-10 หยดสารละลายโลหะ Pb^{2+} ที่มีความเข้มข้น 5×10^{-5} , 8×10^{-5} , 1×10^{-4} , 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , 8×10^{-4} , 1×10^{-3} , 3×10^{-3} และ 5×10^{-3} โมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ตามลำดับในหลุมที่ 1 เป็นสารละลาย blank ใช้น้ำกลั่นปริมาตร 200 ไมโครลิตร แทนสารละลายโลหะ Pb^{2+}

3. หยดสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาว ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงไปทุกหลุม

4. สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไปในแต่ละความเข้มข้นของโลหะ

8. การประยุกต์วิธีการตรวจวัดในน้ำตัวอย่างจริงเทียบความถูกต้องกับเทคนิค AAS

ใส่สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ลงในภาชนะพลาสติกหลุมละ 500 ไมโครลิตรเติมน้ำตัวอย่างที่ได้จากการเจือจางน้ำทิ้งจากการทดลอง (ในที่นี้เตรียมทั้งหมด 3 ความเข้มข้น) ลงไป 200 ไมโครลิตร เติมสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวปริมาตร 10 ไมโครลิตร สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไปเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแบบ semiquantitative analysis และจากเทคนิค AAS

3. ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. การสกัดสารสีจากเปลือกแก้วมังกรขาว

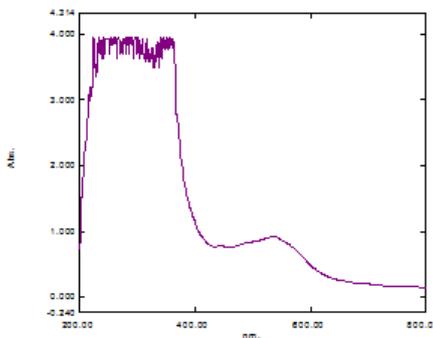
จากการศึกษาพบว่า ตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำกลั่น อะซิโตนและเอทานอล สามารถสกัดสารสีออกจากพืชได้ แต่เอทานอลให้ผลดีที่สุด เนื่องจากสารสีมีความเข้มข้น สามารถเก็บไว้ได้นาน สภาพหลังการสกัด

ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (รูปที่ 4 (ก)) และเปลือกแก้ว มังกรขาวยังเป็นส่วนที่เหลือทิ้ง การตรวจสอบ คุณลักษณะเบื้องต้นของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกร ขาว เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี- วิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าความยาวคลื่นที่ให้

ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงวิสเปกโตรที่ประมาณ 536 นาโนเมตร (รูปที่ 4 (ข)) จากค่าดังกล่าวสนับสนุนว่า สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวคือ เบต้าไซยานิน และสอดคล้องกับการทดลองของ Nilsson (1970) และวิภาดาและคณะ (2552)



(ก)



(ข)

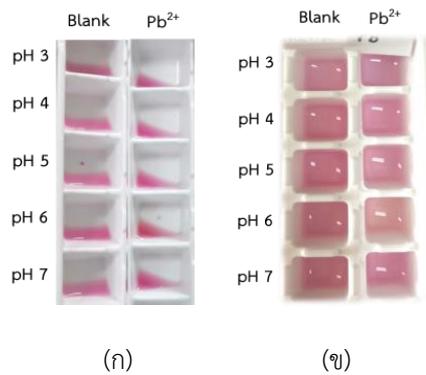
รูปที่ 4 สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาว (ก) และสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกร ขาวที่วัดด้วยเครื่องยูวี-วิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ข)

2. ผลของพีเอชและความเข้มข้นของ บัฟเฟอร์

จากการเติมสารสกัดลงในสารละลายผสม ของบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กับไอออนโลหะ ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พบว่าสารสกัดจากเปลือก แก้วมังกรขาวสามารถเกิดอันตรกิริยากับ Pb^{2+} ที่ สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 โดยเปลี่ยนสีจากชมพูเข้ม เป็นสีแดงดังรูปที่ 5 นอกจากนี้ความเข้มข้นของ สารละลายบัฟเฟอร์มีผลต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ไอออนโลหะกับสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาว จาก การทดสอบพบว่าสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 ที่มีความ

เข้มข้น 0.01 โมลาร์เบต้าไซยานินสามารถเกิดอันตร กิริยากับ Pb^{2+} อย่างชัดเจนกว่า (รูปที่ 5 (ข)) อีกทั้งไม่ เป็นการสิ้นเปลืองและลดผลกระทบต่อไอออนอื่นใน บัฟเฟอร์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่ ความเข้มข้นเป็น 0.01 โมลาร์

การเปลี่ยนแปลงของสีของเบต้าไซยานินที่ เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากโครงสร้างของเบต้าไซยานินถูก ทำลายดังมีรายงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนสภาพของเบต้า ไซยานินว่าไอออนโลหะบางชนิดสามารถเร่งปฏิกิริยา การทำลายโครงสร้างของเบตาานินได้ (Pasch และ von Elbe, 1979; Attou และ von Elbe, 1984)



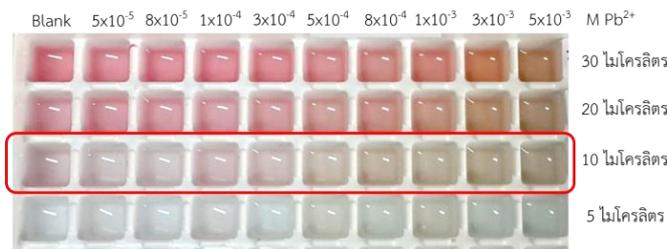
รูปที่ 5 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวกับ Pb^{2+} ในสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (ก) และ 0.01 โมลาร์ (ข)

3. ผลของปริมาตรรีเอเจนต์ต่อขีดจำกัดการตรวจวัดด้วยตาเปล่า

ผลของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการตรวจวัด Pb^{2+} ด้วยตาเปล่าโดยการเติมสารละลาย Pb^{2+} ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ลงในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร แล้วเติมรีเอเจนต์ปริมาตร 5, 10, 20 และ 30 ไมโครลิตร เปรียบเทียบการ

เปลี่ยนแปลงสี พบว่าปริมาตรของรีเอเจนต์ 10 ไมโครลิตร สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของรีเอเจนต์เมื่อความเข้มข้นของ Pb^{2+} ต่ำที่สุด คือ 3×10^{-4} โมลาร์ดังรูปที่ 6

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการตรวจวัด Pb^{2+} ด้วยตาเปล่า พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่เห็นการเปลี่ยนแปลงสีในระดับความเข้มข้นของ Pb^{2+} ต่ำสุดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 6 ผลของปริมาตรรีเอเจนต์ต่อการตรวจวัด Pb^{2+} ด้วยตาเปล่า

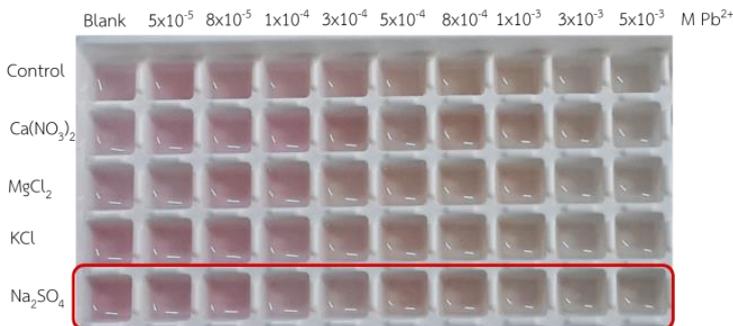
ตารางที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมของการตรวจวัด Pb^{2+} ด้วยตาเปล่า

สารละลาย	ปริมาตร (μL)
บัฟเฟอร์ 0.01 โมลาร์	500
สารละลายโลหะ หรือตัวอย่าง	200
รีเอเจนต์	10

4. ผลของตัวรบกวน (Interfering Effect)

จากการศึกษาผลของตัวรบกวน ซึ่งได้แก่ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgCl_2 , KCl และ Na_2SO_4 ต่อการตรวจวัด Pb^{2+} ด้วยตาเปล่า พบว่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปของรีเอเจนต์ของชุดทดสอบที่เติม Na_2SO_4 มีสีที่แตกต่างจากสีของชุดควบคุม ดังรูปที่ 7 ซึ่งการรบกวนดังกล่าว

เกิดจาก Pb^{2+} ทำปฏิกิริยากับ SO_4^{2-} ที่มาจาก Na_2SO_4 แล้วจะเกิดตะกอน PbSO_4 ทำให้ไม่สามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างเบต้าไซยานินกับ Pb^{2+} จึงไม่สามารถตรวจวัด Pb^{2+} ในน้ำตัวอย่างได้หากมีไอออนของ SO_4^{2-} เกือบ



รูปที่ 7 ผลของตัวรบกวนต่อการตรวจวัด Pb^{2+} ด้วยตาเปล่า

5. การตรวจวัดโลหะหนักแบบ semi quantitative analysis โดยการสังเกตด้วยตาเปล่า

จากการตรวจวัด Pb^{2+} โดยใช้สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวในสถานะที่เหมาะสมและสังเกต

การเปลี่ยนแปลงสีด้วยตาเปล่า สามารถแสดงผลของการวิเคราะห์ Pb^{2+} แบบ semiquantitative analysis ได้ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงความเข้มข้นดังตารางที่ 2 และมีการเปลี่ยนแปลงของสีดังรูปที่ 8

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงสีกับความเข้มข้นของ Pb^{2+}

ความเข้มข้นของ Pb^{2+} (M)	สีของสารละลาย
น้อยกว่า 3×10^{-4}	สีชมพูอ่อน
3×10^{-4} ถึง 5×10^{-4}	สีโอลโรส
มากกว่า 5×10^{-4}	สีส้มอ่อน



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงสีกับความเข้มข้นของ Pb^{2+}

6. เปรียบเทียบความถูกต้องกับเทคนิค AAS ผลการทดสอบวิธีการตรวจวัด Pb^{2+} ในน้ำตัวอย่างจริงด้วยสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาว แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีเทียบกับตารางที่ 2 พบว่าผล

การทดสอบด้วยรีเอเจนต์ที่สกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวให้ผลสอดคล้องกับการตรวจวัดด้วยเทคนิค AAS ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การตรวจวัด Pb^{2+} ในน้ำตัวอย่างจริงเปรียบเทียบระหว่างเทคนิค AAS กับการตรวจวัดด้วยตาเปล่า

Unknown	ความเข้มข้นของ Pb^{2+} (M)	
	AAS	สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาว
1	6.94×10^{-4}	$> 5 \times 10^{-4}$
2	8×10^{-5}	$< 3 \times 10^{-4}$
3	7×10^{-5}	$< 3 \times 10^{-4}$

จากผลการประยุกต์วิธีการตรวจวัดในน้ำตัวอย่างจริง ทำให้เห็นว่าเทคนิคนี้สามารถนำมาตรวจวัดไอออนโลหะ Pb^{2+} ในน้ำตัวอย่างจริงในเบื้องต้นได้ โดยมีความง่าย สะดวก รวดเร็ว และเป็นการใช้พืชในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์

4. สรุปผลการวิจัย

รีเอเจนต์ที่สกัดได้จากเปลือกแก้วมังกรขาวได้แก่เบต้าไซยานินซึ่งให้ผลตอบสนองต่อการตรวจวัด Pb^{2+} ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจนที่ พีเอช 6 ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งการหาปริมาณทำได้โดยการนำสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรขาวปริมาตร 10 ไมโครลิตร หยดลงในสารละลายผสมระหว่างบัฟเฟอร์พีเอช 6 ที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร กับน้ำตัวอย่างปริมาตร 200 ไมโครลิตร โดยความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของรีเอเจนต์ได้ด้วยตาเปล่า คือ 3×10^{-4} โมลาร์ การวิเคราะห์ Pb^{2+} แบบ semiquantitative analysis โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วงความเข้มข้น เมื่อประยุกต์วิธีการตรวจวัดในน้ำตัวอย่างจริงที่มี Pb^{2+} โดยเทียบความถูกต้องกับเทคนิค AAS พบว่าความเข้มข้น

ของ Pb^{2+} ในน้ำตัวอย่างจริงสอดคล้องกัน จากการวิจัยนี้ทำให้การตรวจวัดมีความความสะดวกและง่าย โดยผู้ทำการตรวจวัดไม่ต้องมีความชำนาญสูงและไม่จำเป็นต้องทำในห้องปฏิบัติการ อีกทั้งการตรวจวัดด้วยวิธีนี้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ทำการวิเคราะห์เพราะเป็นสารสกัดจากธรรมชาติ เป็นการนำพืชที่หาง่ายในท้องถิ่นมาทำให้เกิดประโยชน์และได้รีเอเจนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมนอกจากนี้อาจจะพัฒนาเป็นชุดทดสอบ Pb^{2+} ในน้ำ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำด้วยวิธีการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ สำหรับอุปกรณ์และสารเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่อำนวยความสะดวกสำหรับเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง

เอกสารอ้างอิง

- จินตน์กานต์ งามสุทธา. (2558). แก้วมังกรขาว ผลไม้มากคุณค่า. แหล่งข้อมูล: http://it.doa.go.th/pibai/pibai/n15/v_8-sep/rai.html. ค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2558.
- วิภาดา สอนองราชกุล, วิภาวี ขำวิจิตรม, วารินทร์ ยางเดิม, ปรียาภัทร เขาว์ชาญ และพัชรภรณ์ สารเสนา. (2552). การสกัดสารสีจากเปลือกผลแก้วมังกร. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ 2(1): 9-16.
- ศูนย์การเรียนรู้อุตสาหกรรมเหมืองแร่. ตะกั่ว. แหล่งข้อมูล: <http://lc.dpim.go.th>. ค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2558.
- อรุษา เขาวนลิขิต, ประเสริฐ เตชชีวพงศ์ และปริญญา ตั้งเจริญกิจ. (2553). ความคงตัวของเบต้าไซยานินจากเปลือกแก้วมังกรขาว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41(3/1): 409-412.
- Attoe, E.L. and von Elbe, J.H. 1984. Oxygen involvement in betanin degradation. Zeitschrift fur Lebensmittel-untersuchung und Forschung A 179: 232-236.
- Khaodee, W. Auangmaitreepirom, W. Tuntulani, T. (2014). Effectively simultaneous naked-eye detection of Cu(II), Pb(II), Al(III) and Fe(III) using cyanidin extracted from red cabbage as chelating agent. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 126: 98-104.
- Nilsson, T. (1970). Studies into the pigments in beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *rubra* L.). Lantbrukhogskolans Annaler 36: 179-219.
- Pasch, J.H. and von Elbe, J.H. (1979). Betanine stability in buffered solutions containing organic acids, metal cations, antioxidants, or sequestrants. Journal of Food Science 44: 72-74.
- Reynoso, R., Garcia, F.A., Morales, D. and Gon-zalez de Mejia, E. (1997). Stability of Betalain Pigments from a Cactacea Fruit. Journal of Agricultural Food Chemistry 45: 2884-2889.
- Sreekanth, D., Arunasree, M.K., and Roy, K.R.. (2007). Betanin, a betacyanin pigment purified from fruits of *Opuntia ficus-indica* induces apoptosis in human chronic myeloid leukemia cell line-K562. Phytomedicine 14: 739-746.

