



การตรวจวัดไอออนเหล็กโดยใช้แอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง

Determination of Iron Ion using Anthocyanin from Roselle

รวีวรรณ วัฒนายน¹, ชูรายา สะตาปอ¹, บิสมี่ ยามา¹, สาธุมา สมนามาน¹, ปิยาภรณ์ วังศิริกุล¹

Rawiwan Wattanayon¹, Suraya Satapor¹, Bismee Yama¹, Saluma Samanman¹, Piyaporn Vangsirigul¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณไอออนเหล็กในน้ำตัวอย่าง โดยการใช้อนุโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงเป็นตัวตรวจวัด แอนโทไซยานินจะเกิดสารเชิงซ้อนกับไอออนเหล็กทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงและสามารถมองเห็นการเปลี่ยนสีของสารละลายด้วยตาเปล่า จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไอออนโลหะ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตอบสนองของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงต่อไอออนเหล็ก คือ ที่ pH 5 โดยแอนโทไซยานินมีความจำเพาะต่อไอออนเหล็กมากกว่าแคดไอออนชนิดอื่นๆ และสามารถนำแอนโทไซยานินไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดไอออนเหล็กในน้ำตัวอย่างจริง ได้แก่ น้ำดื่ม น้ำทะเล และน้ำเชื่อมได้เป็นผลสำเร็จ โดยพบว่าไม่เกิดการรบกวนขององค์ประกอบอื่นๆในน้ำตัวอย่าง

คำสำคัญ: แอนโทไซยานิน กระเจี๊ยบแดง ไอออนเหล็ก

Abstract

The aim of this research was to determine the quantity of iron ion in water using Anthocyanin from Roselle. Fe (III) was detected by forming complexes with Anthocyanin. In this study, It responded to iron ion by changing in the absorption and the color can be detected by naked-eye at pH 5. The proposed Anthocyanin displayed a good selectivity toward iron ion over other cations. It applied to detect Fe (III) in drinking water, sea water and dam water successfully. It was not interfered with the other elements in the water sample (Matrix interference).

Keywords: Anthocyanin, Roselle, Iron ion

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹ Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

บทนำ

เหล็กเป็นโลหะหนักซึ่งเป็นวัสดุที่มีกำลังการรับแรงสูง มีความคงทน จึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ และจัดได้ว่าโลหะเหล็กมีความสำคัญต่อมนุษย์มาก ปัจจุบันพบว่าโลหะหนักถึงแม้ว่าจะมีปริมาณในร่างกายเพียงเล็กน้อย แต่ก็ก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกายหลายประการ เพราะจะเข้าไปรบกวนการทำงานของธาตุต่างๆในร่างกาย นอกจากนั้น ยังเป็นอันตรายต่อผนังเซลล์ ทำให้เกิดเสียสมดุลของประจุไฟฟ้า เกิดการทำลายผนังเซลล์ ก่อให้เกิดความผิดปกติในการแบ่งตัวของเซลล์ มากไปกว่านั้นโลหะหนักต่างๆยังเป็นตัวการก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ทำให้หลอดเลือดอักเสบ ผนังหลอดเลือดขรุขระ เกิดความไม่เรียบของพื้นผิว ส่งผลให้เกิดหลอดเลือดแข็งหรือเกิดลิ่มเลือดอุดตันตามมา รวมทั้งส่งผลต่อการก่อการสร้างไนตริกออกไซด์ของหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดขาดความยืดหยุ่นและหดตัว กลายเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อเส้นเลือดตีบตัน และทำให้ความสามารถในการนำสารอาหารไปหล่อเลี้ยงอวัยวะต่างๆในร่างกายน้อยลง ส่งผลให้เกิดความเสื่อมสภาพของอวัยวะในร่างกายอย่างต่อเนื่อง เช่น เกี่ยวข้องกับโรคอัลไซเมอร์ โรคพาร์กินสัน ออติสติก โรคหัวใจ และหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคไตเสื่อม ตาเสื่อม โรคเรื้อรังต่างๆ เป็นต้น (นิธิยา รัตนพานนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป.)

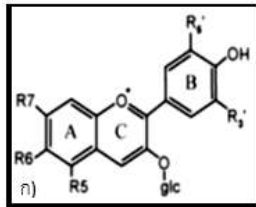
จากพิษของโลหะหนักที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้นักวิชาการหลายกลุ่มเกิดความตระหนักว่าการปนเปื้อนของไอออนเหล็กในสิ่งแวดล้อม อาจเกิดผลกระทบต่อบริเวณและทำให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต การตรวจวัดเพื่อหาปริมาณโลหะหนักจึงมีความสำคัญและได้รับความสนใจในการคิดค้นและพัฒนา จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าเทคนิคที่ใช้ในการตรวจหาปริมาณโลหะหนักในปัจจุบัน ได้แก่ เทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) (วิชชุดา ไชยะโชคและสุธา ขาวเขียว, 2552) เทคนิค Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) (Ion, Violeta & Mira, 2011) นอกจากเทคนิคทาง spectroscopy แล้ว ยังมีเทคนิคทางไฟฟ้าเคมีอีกด้วย คือ เทคนิค Voltammetry (สุดเขต ไชโย, 2555)

ทั้งนี้ เนื่องจากเทคนิคดังกล่าว มีข้อจำกัด คือ เครื่องมือมีความซับซ้อนทำให้ต้องการผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมเครื่องมือ ราคาและค่าบำรุงรักษาสูงมาก และมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก ในงานวิจัยนี้ จึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการตรวจวัดไอออนเหล็กด้วยผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ โดยเลือกใช้แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นลิแกนด์ในการจับไอออนเหล็ก

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าแอนโทไซยานินเป็นลิแกนด์ที่สามารถนำมาใช้ในการตรวจวัดไอออนโลหะ เนื่องจากโครงสร้างของแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะ และโครงสร้างประกอบด้วยวงอะโรมาติกหลายวงทำให้สามารถดูดกลืนแสงได้ดี อีกทั้งยังสามารถมองเห็นสีด้วยตาเปล่าได้ชัดเจน โดยเมื่อแอนโทไซยานินเกิดสารเชิงซ้อนกับไอออนเหล็กทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน โดยจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีและการดูดกลืนแสง (วรรณณา เขาคี, 2557; Mei, Qin, Wang, Wang, Liu & Cai, 2014)

แอนโทไซยานิน เป็นเม็ดสีที่ละลายน้ำได้ เป็นสารให้สีตามธรรมชาติที่จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ จะพบแอนโทไซยานินได้ในดอกอัญชัน กระเจี๊ยบแดง อุ่นง่า ทับทิม กะหล่ำปลีสีม่วง เป็นต้น สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนไปตามสภาวะความเป็นกรด-ด่าง เป็นสารที่ให้สีตั้งแต่สีน้ำเงินเข้มหรืออาจไม่มีสีเลยเมื่อในอูยู่สภาวะต่าง (pH>7) จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกลาง (pH=7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงถึงแดงเข้มได้ในสภาวะเป็นกรด (pH<7) โดยแอนโทไซยานินมีโครงสร้างดังภาพที่ 1 ก) (วรรณณา เขาคี, 2557)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจการใช้แอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง (Roselle) มาใช้เป็นลิแกนด์ในการตรวจวัดไอออนเหล็ก เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่น อีกทั้งยังมีราคาถูก โดยกระเจี๊ยบแดง ดังแสดงในภาพที่ 1 ข) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* L. เป็นไม้ล้มลุก สูง 1-2 เมตร เปลือกต้นเรียบ ลำต้นและกิ่งสีม่วงแดง ใบ เป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับ ใบหยัก ผลรูปไข่ สีแดงเข้ม มีก้านเลี้ยงติดทนขนาดใหญ่อารมณ์อยู่จนผลแก่ (กัศราภรณ์ มลชัยภูววิวัฒน์, 2544)



ภาพที่ 1 ก) โครงสร้างของแอนโทไซยานิน



ข) กระเจี๊ยบแดง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง
2. ศึกษาช่วง pH ที่เหมาะสมการตอบสนองของแอนโทไซยานินต่อสารละลายเหล็ก
3. ศึกษาความจำเพาะของแอนโทไซยานินต่อไอออนเหล็ก (selectivity)
4. ประยุกต์ใช้ตรวจวัดไอออนเหล็กในน้ำตัวอย่างจริงได้

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง

นำกระเจี๊ยบแดงมาล้างให้สะอาด ทิ้งเป็นชั้นเล็กๆ หนัก 2.5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร ให้ความร้อนโดยใช้เตาไฟฟ้าเป็นเวลา 20 นาที ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงขั้นตอนการสกัดในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสกัดโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย

2. ศึกษาช่วง pH ที่เหมาะสมการตอบสนองของแอนโทไซยานินต่อสารละลายเหล็ก

เตรียมสารละลายเหล็กปรับ pH 3 4 และ 5 (Shiono, Matsugaki & Takeda, 2005) โดยใช้กรดซิตริกเป็นบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 5×10^{-2} M 1×10^{-2} M 5×10^{-3} M 1×10^{-3} M 5×10^{-4} M และ 1×10^{-4} M เติมสารละลายแอนโทไซยานิน 2000 ไมโครลิตร ต่อสารละลายเหล็ก 1000 ไมโครลิตร สังเกตการเปลี่ยนสีด้วยตาเปล่า และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-Vis spectroscopy)

3. ศึกษาความจำเพาะของแอนโทไซยานินต่อไอออนเหล็ก (selectivity)

ศึกษาการตอบสนองของแอนโทไซยานินต่อไอออนโลหะ โดยใช้สารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Na}(\text{NO}_3)$ และ $\text{Ag}(\text{NO}_3)$ ศึกษาการตอบสนองที่ pH 5 โดยเติมสารละลาย แอนโทไซยานิน 2000 ไมโครลิตร ต่อสารละลายโลหะ 1000 ไมโครลิตร สังเกตการเปลี่ยนสีด้วยตาเปล่า และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

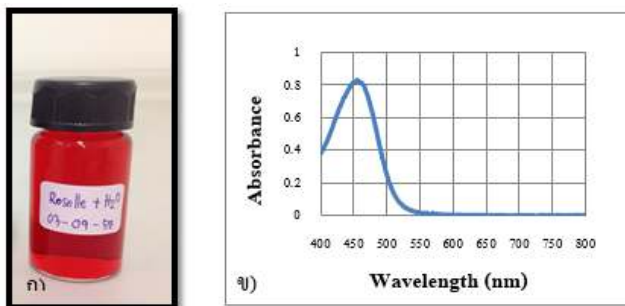
4. ทดสอบการตอบสนองของแอนโทไซยานินต่อไอออนเหล็กในน้ำตัวอย่างจริง

เตรียมโลหะที่ความเข้มข้นต่างๆละลายด้วยน้ำตัวอย่าง คือ น้ำดื่ม น้ำทะเล และน้ำเชิ่อน เติมสารละลายแอนโทไซยานิน 2000 ไมโครลิตร ต่อสารละลายเหล็ก 1000 ไมโครลิตร สังเกตการเปลี่ยนสีด้วยตาเปล่า และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

ผลการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง

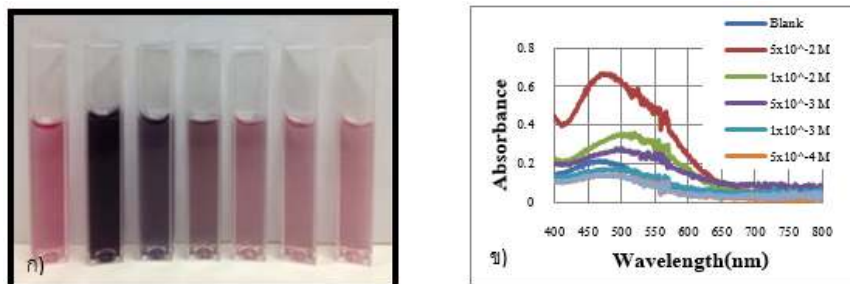
จากการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงโดยใช้น้ำร้อนเป็นตัวทำละลาย พบว่า สีของสารละลายแอนโทไซยานินที่อยู่ในกระเจี๊ยบแดงเป็นสีแดงอมส้ม ดังภาพที่ 3 ก) เมื่อนำสารละลายแอนโทไซยานินไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า จากสเปกตรัมในภาพที่ 3 ข) สารสกัดที่ใช้สกัดด้วยน้ำกลั่น มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 464 นาโนเมตร



ภาพที่ 3 ก) สารสกัดแอนโทไซยานินโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ข) การดูดกลืนแสงของสารสกัดแอนโทไซยานิน

2. ศึกษาช่วง pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไอออนเหล็ก โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโคปี

จากภาพที่ 4 ก) การศึกษาตอบสนองของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงกับไอออนเหล็กที่ pH 5 ด้วยตาเปล่า พบว่าที่สารละลายไอออนเหล็กที่มีความเข้มข้น $1 \times 10^{-3} \text{ M}$, $5 \times 10^{-4} \text{ M}$ และ $1 \times 10^{-4} \text{ M}$ สารละลายแอนโทไซยานินเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีชมพูอ่อนมากและที่ความเข้มข้น $5 \times 10^{-3} \text{ M}$ มีโทนสีม่วงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้นมากที่สุด ($5 \times 10^{-2} \text{ M}$) พบว่าสีเหลืองของสารละลายไอออนเหล็กเริ่มมีการบดบัง และจากสเปกตรัมของภาพที่ 4 ข) พบว่าค่าการดูดกลืนกลืนแสงของแต่ละความเข้มข้นมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด คือที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรแตกต่างกันอย่างชัดเจน

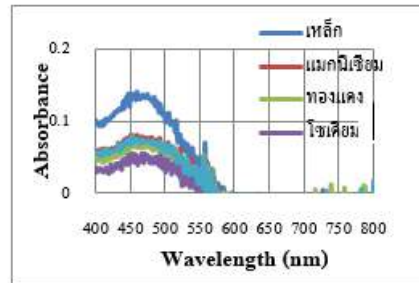


ภาพที่ 4 การตอบสนองของแอนโทไซยานินกับไอออนเหล็กที่ pH 5

ก) ศึกษาการเปลี่ยนสีด้วยตาเปล่า ข) ศึกษาการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโคปี

3. ศึกษาความจำเพาะของแอนโทไซยานินต่อไอออนเหล็ก (selectivity)

ศึกษาการตอบสนองของแอนโทไซยานินต่อไอออนโลหะ คือ ไอออนเหล็ก ไอออนแมกนีเซียม ไอออนสังกะสี ไอออนโซเดียม และไอออนเงิน จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า สีของสารละลายของแอนโทไซยานินกับไอออนเหล็กเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน ส่วนไอออนโลหะอื่น ๆ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของสี ดังภาพที่ 5 ก) และจากสเปกตรัมในภาพที่ 5 ข) พบว่าค่าการดูดกลืนกลืนแสงของแต่ละไอออนอยู่ที่ประมาณ 0.05 ส่วนไอออนเหล็กมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 0.13

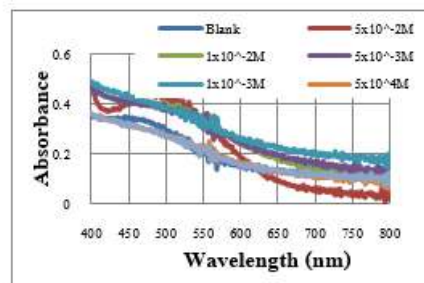
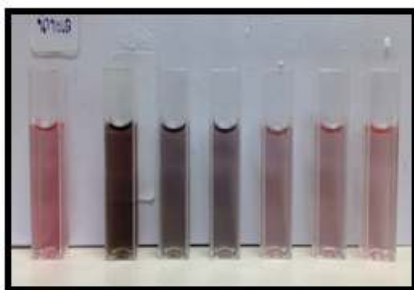


ภาพที่ 5 การตอบสนองของแอนโทไซยานินกับไอออนโลหะ

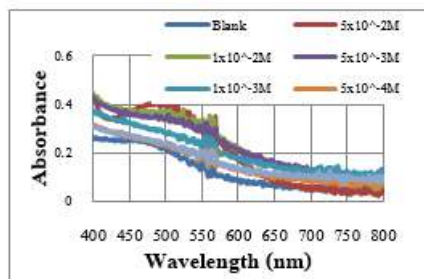
ก) ศึกษาการเปลี่ยนสีด้วยตาเปล่า ข) ศึกษาการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี

4. ทดสอบการตอบสนองของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงกับไอออนเหล็กในน้ำตัวอย่างจริง

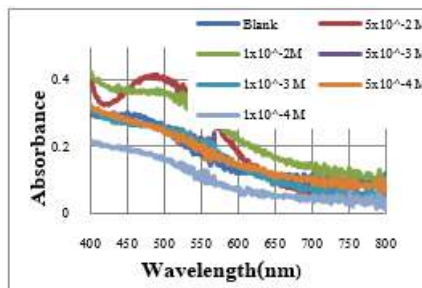
จากการทดลองของน้ำตัวอย่างจริง พบว่า สีของสารละลายแอนโทไซยานินต่อไอออนเหล็กในน้ำดื่ม น้ำทะเล และน้ำเชื้อม จากการศึกษาด้วยตาเปล่า พบว่าสีของสารละลายมีสีเหมือนกับสารละลายของแอนโทไซยานินจับกับไอออนเหล็กในน้ำปราศจากไอออน และจากสเปกตรัมพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินต่อเหล็กของน้ำทะเล น้ำดื่ม น้ำเชื้อม อยู่ในช่วง 0.1-0.4 ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดคือ 500 นาโนเมตร ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของไอออนเหล็กในน้ำปราศจากไอออน ดังภาพที่ 6, 7 และ 8



ภาพที่ 6 การตอบสนองของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงกับไอออนเหล็กในน้ำทะเล



ภาพที่ 7 การตอบสนองของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงกับไอออนเหล็กในน้ำดื่ม



ภาพที่ 8 การตอบสนองของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงกับไอออนเหล็กในน้ำเชื่อม

อภิปรายผล

1. ศึกษาวิธีการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าวิธีการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงด้วยน้ำ เป็นวิธีที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากสีของสารละลายจากภาพที่ 3 ก) และจากค่าการดูดกลืนแสงจากภาพที่ 3 ข) นอกจากนั้น pH ของสารละลายใกล้เคียงกับช่วง pH ที่ไอออนเหล็กสามารถตอบสนองได้ จึงทำให้สะดวกในการปรับค่า pH ในขั้นตอนการวิเคราะห์

2. ศึกษาช่วง pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไอออนเหล็ก โดยใช้เทคนิค ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี

จากภาพที่ 4 ก) การศึกษาตอบสนองของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงกับไอออนเหล็กที่ pH 5 ด้วยตาเปล่า พบว่า โทนสีของสารละลายและค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4 ข) ในแต่ละความเข้มข้นของไอออนเหล็ก ทำให้สามารถบอกความแตกต่างของปริมาณเหล็กได้ นอกจากนี้ หากใช้ pH ในช่วงเบส จะส่งผลให้ไอออนเหล็กอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ (FeOH_2) ทำให้ปริมาณของไอออนเหล็กที่ตรวจวัดได้นั้น น้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้น แอนโทไซยานินจึงสามารถตอบสนองต่อไอออนเหล็กได้ดีที่ pH 5

3. ศึกษาความจำเพาะของแอนโทไซยานินต่อไอออนเหล็ก (selectivity)

ศึกษาการตอบสนองของแอนโทไซยานินต่อไอออนเหล็กเปรียบเทียบกับไอออนโลหะอื่นๆ คือ ไอออนแมกนีเซียม ไอออนสังกะสี ไอออนโซเดียม และไอออนเงิน จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า สีของสารละลายของแอนโทไซยานินเมื่อเกิดสารเชิงซ้อนกับไอออนเหล็กเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน ส่วนไอออนโลหะอื่นๆมองไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับสีของสารละลายแอนโทไซยานิน (Blank) ดังภาพที่ 5 ก) และจากสเปกตรัมในภาพที่ 5 ข) พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละไอออนมีค่าน้อยกว่าค่าการดูดกลืนแสงของแอนโทไซยานินกับไอออนเหล็ก ในงานวิจัยนี้ จึงสามารถยืนยันได้ว่า สามารถใช้แอนโทไซยานินที่สกัดจากกระเจี๊ยบแดงตรวจวัดไอออนเหล็กได้

4. ทดสอบการตอบสนองของแอนโทไซยานินต่อไอออนเหล็กในน้ำตัวอย่างจริง

จากการทดลองของน้ำตัวอย่างจริงได้แก่ น้ำดื่ม น้ำทะเล และ น้ำเชื่อม โดยต้องการศึกษาผลการรบกวนของไอออนและสารประกอบอื่นๆที่อยู่ในน้ำตัวอย่าง โดยผลการศึกษา พบว่าสีของสารละลายแอนโทไซยานินเมื่อจับกับไอออนเหล็กที่อยู่ในน้ำดื่ม น้ำทะเลและน้ำเชื่อมที่ได้ มีสีและค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกับผลการศึกษาที่ไอออนเหล็กในน้ำปราศจากไอออน ดังภาพที่ 6-8 ดังนั้นจากการศึกษานำสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไอออนเหล็กในน้ำตัวอย่างจริง พบว่าไม่เกิดการรบกวนขององค์ประกอบอื่นๆในน้ำตัวอย่าง จึงคาดหวังว่าสามารถนำแอนโทไซยานินไปตรวจวัดไอออนเหล็กที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมได้



สรุป

การศึกษาการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง พบว่าการสกัดด้วยน้ำเป็นตัวทำละลายเหมาะสม สามารถมองเห็นสีของสารละลายแอนโทไซยานินด้วยตาเปล่าชัดเจน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตอบสนองของแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง ต่อไอออนเหล็ก คือ ที่ pH 5 โดยแอนโทไซยานินมีความจำเพาะต่อไอออนเหล็กมากกว่าไอออนแมกนีเซียม ไอออนสังกะสี ไอออนโซเดียม และไอออนเงิน โดยดูจากการเปลี่ยนสีและค่าการดูดกลืนแสง สามารถนำสภาวะที่ทำการศึกษาไปตรวจวัดไอออนเหล็กในตัวอย่างจริง คือ น้ำดื่ม น้ำทะเล และน้ำเชิอน ได้สำเร็จ นั่นคือไม่เกิดการรบกวนขององค์ประกอบอื่นๆ ในน้ำตัวอย่าง

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาพารามิเตอร์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัด
2. ศึกษาโครงสร้างของแอนโทไซยานินด้วยเทคนิค Infrared Spectroscopy เพื่อหาความบริสุทธิ์
3. พัฒนาแอนโทไซยานินให้อยู่ในรูปของแข็ง เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานและความสะดวกนำไปใช้

รายการอ้างอิง

- กัศราภรณ์ มลชัยภูวิวัฒน์. (2544). **พืช ผัก ผลไม้ ด้านมะเร็ง**. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2559, จาก <http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/st2545/4-5/no12/vegetablepic.html>.
- นิธิยา รัตนปัทม และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.). **โลหะหนัก. ฟู้ดเน็ตเวิร์คโซลูชัน**. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2559, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2080/neavy-metal-โลหะหนัก>
- วรางคณา เขาคี. (2557). **ตรวจจับโลหะหนักด้วยสารสกัดจากกะหล่ำปลีม่วง (กะหล่ำปลีแดง)**. บทความวิจัย สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วิษชุดา ไชยะโชค และสุชา ขาวเขียว. (2552). **การบำบัดน้ำเสีย ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้กากของเหลวเขียว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สุดเขต ไชโย. (2555). **การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ทองแดงและปรอทปริมาณน้อยโดยสทรีปิงโวลแทมเมตรี**. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- Ion, T., Violeta, N., & Mira, I. (2011). Determination of Tin in Canned Foods by Inductively Coupled plasma-Mass Spectrometry. **Polish Journal of Environmental Studies**, **21**, 741-754.
- Kiran, K. (2012) Spectrophotometric determination of iron in water samples using 3-Hydroxy Benzyl Amino Benzoic acid. **International Journal of Environmental Sciences**, **3**, 201-208.
- Lohan, M. C., Aguilar-Islas, A. M., Franks, R. P. & Bruland, K. W. (2005). Determination of iron and copper in seawater at pH 1.7 with a new commercially available chelating resin, NTA Superflow. **Analytica Chimica Acta**. **530**, 121-129.
- Mei, X., Qin, H., Wang, J., Wang, G., Liu, C. & Cai, Y. (2014). Studies on Physicochemical Characteristics of Anthocyanin from Super Dark Maize. **Journal of Food and Nutrition Research**, **2**, 109-114.
- Shiono, M., Matsugaki, N. & Takeda, K. (2005). **Structure of the blue cornflower pigment**. **Nature**, **436**, 791-791.
- Tsai, P. J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden B. & Jordan, B. R. (2002). Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.). **Food Research International**, **35**, 351-356.