



การพัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในปัสสาวะ ด้วยการใช้ คาร์บอนควอนตัมดอท

Sensitive Detection of Calcium Oxalate in Urine Samples by Carbon Quantum Dots

ธัญกานต์ ทองคำ นาโอมิ เงินท็อก
ทองเพียร สิงห์ชัย¹ จิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร²

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงราย, ตำบลรอบเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57000, ประเทศไทย

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย, ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120, ประเทศไทย

Email: 05822naomi@pcccr.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อสังเคราะห์คาร์บอนควอนตัมดอท (CQDs) จากใบสับปะรดและวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสงและทางกายภาพ (2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ CQDs ในการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมออกซาเลต (CaOx) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำคัญของการเกิดนิ่วในระบบทางเดินปัสสาวะ การสังเคราะห์ดำเนินการด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้ใบสับปะรดบดเผาผสมกับแอมโมเนีย และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นตรวจสอบลักษณะของสารด้วยเทคนิค UV-Vis spectrophotometry ประเมินคุณสมบัติการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต ผลการสังเคราะห์พบว่า CQDs ที่ได้ให้การเรืองแสงสีเขียวเด่นชัด โดยมีความยาวคลื่นการเรืองแสงสูงสุดอยู่ที่ 323 นาโนเมตร การศึกษาความเหมาะสมของอัตราส่วนการเจือจางระหว่าง CQDs และเอทานอล ในช่วง 1:1 ถึง 1:10 พบว่า อัตราส่วนที่ 1:5 ให้ความเข้มฟลูออเรสเซนซ์สูงสุด การตกแต่งพื้นผิวด้วย MnO₂ เพื่อเพิ่มความจำเพาะต่อการจับกับ CaO_x โดยทดสอบความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ 0.2 M ซึ่งเหมาะสมที่สุดในการส่งเสริมการก่อกำของ MnO₂ บนพื้นผิว CQDs ผลการตรวจวัดเชิงปริมาณพบว่า ความเข้มของสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ลดลงตามความเข้มข้นของ CaOx อย่างเป็นระบบ สะท้อนถึงความไวและประสิทธิภาพของ CQDs@MnO₂ ในการตรวจจับ CaOx ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า CQDs จากใบสับปะรด สามารถประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์เรืองแสงต้นทุนต่ำที่มีศักยภาพสำหรับการตรวจหาความเสี่ยงของโรคนิ่วในระบบทางเดินปัสสาวะ ซึ่งสามารถพัฒนาต่อยอดสู่การใช้จริงในงานด้านการแพทย์เชิงป้องกันได้ในอนาคต

คำสำคัญ: คาร์บอนควอนตัมดอท, ใบสับปะรด, แคลเซียมออกซาเลต, นิ่วในไต, เซนเซอร์เรืองแสง

1. บทนำ

โรคนิ่วในระบบทางเดินปัสสาวะเป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญ โดยพบว่านิ่วที่มีแคลเซียมเป็นส่วนประกอบมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 80 ซึ่งชนิดที่พบบ่อยที่สุดคือนิ่วแคลเซียมออกซาเลต (Calcium Oxalate: CaOx) ปัจจุบันการตรวจวิเคราะห์ทาง

ห้องปฏิบัติการมาตรฐาน เช่น เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ การอัลตราซาวด์ หรือเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง (เช่น HPLC) มีความแม่นยำสูงแต่มีค่าใช้จ่ายแพง ใช้เวลาตรวจนาน และไม่สะดวกต่อการตรวจคัดกรองในพื้นที่ห่างไกล (Point-of-Care Testing)

เพื่อแก้ปัญหานี้ คณะผู้จัดทำจึงสนใจประยุกต์ใช้คาร์บอนควอนตัมดอท (Carbon Quantum Dots: CQDs) ซึ่งเป็นวัสดุนาโนเรืองแสงที่มีความเป็นพิษต่ำและมีความไวสูง มาใช้เป็นเซนเซอร์ทางแสง โดยเลือกใช้ “ไบสับปะรด” ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในจังหวัดเชียงรายเป็นสารตั้งต้นเพื่อความยั่งยืนเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ เพื่อสังเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติของ CQDs จากไบสับปะรด และประเมินประสิทธิภาพการเปลี่ยนสี/ลดความเข้มแสงเรืองแสงในการวัดปริมาณ CaOx เชิงปริมาณ

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การสังเคราะห์ CQDs จากไบสับปะรด

สับปะรด

นำไบสับปะรดมาล้างทำความสะอาด บดและเผาให้เป็นคาร์บอน จากนั้นนำผงคาร์บอนไบสับปะรดผสมกับสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นในอัตราส่วนที่กำหนด นำเข้าทำปฏิกิริยาด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal Method) ที่อุณหภูมิ $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สารละลายที่ได้จะถูกนำไปกรองและหมุนเหวี่ยงแยกตะกอนเพื่อเก็บส่วนใสที่เป็น CQDs

2.2 การตรวจสอบคุณสมบัติทางแสงและกายภาพ

นำสารละลาย CQDs ที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดด้วยเทคนิค UV-Vis Spectrophotometry ตรวจสอบโครงสร้างขนาดและรูปร่างอนุภาคนาโนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และทดสอบคุณสมบัติการเรืองแสงภายใต้หลอดไฟอัลตราไวโอเลต (UV light)

2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพและการทดสอบตรวจวัด CaOx

1. การหาอัตราส่วนตัวทำละลายที่เหมาะสม: ทดสอบเจือจาง CQDs ด้วยเอทานอลในอัตราส่วนตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:10 แล้ววัดค่าความเข้มสีและฟลูออเรสเซนซ์ผ่านระบบค่าสี RGB
2. การตกแต่งพื้นผิวอนุภาค: ทำการปรับปรุงพื้นผิวของ CQDs ด้วยการก่อดัชนี

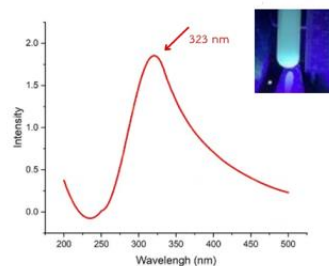
แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) โดยแปรผันความเข้มข้นของกรดซิตริก (0.01 M ถึง 0.2 M) เพื่อเพิ่มความจำเพาะต่อการจับผลึก CaOx

3. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ: นำ CQDs@MnO_2 ที่ปรับปรุงแล้วไปทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐาน CaOx ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ บันทึกการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์และการเปลี่ยนสีภายใต้แสง UV เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน

3. ผลการทดลอง

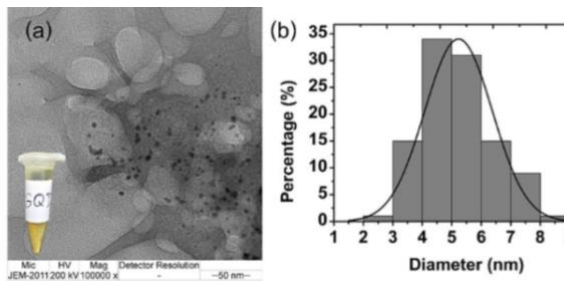
3.1 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสงและเชิงกายภาพของ CQDs จากไบสับปะรด

จากการทดลองศึกษาดำเนินการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงแสงของ CQDs จากไบสับปะรดที่สังเคราะห์ได้ภายใต้แสง UV-Light ในกล่องดำที่พบว่ามีเรืองแสงสีเขียวเด่นชัด และเมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เพื่อตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงพบว่า มีความยาวคลื่นการเรืองแสงสูงสุดอยู่ที่ 323 นาโนเมตร ผลแสดงดังกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของ CQDs

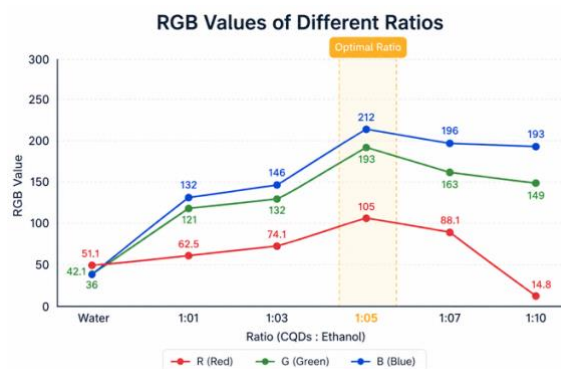
ผลการวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ซึ่งให้เห็นว่าคาร์บอนควอนตัมดอท (CQDs) ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะทรงกลมเกือบสมบูรณ์ มีการกระจายตัวที่ไม่เกาะกลุ่ม และมีขนาดอนุภาคนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5 นาโนเมตร ดังรูปและกราฟที่ 2



รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM
กราฟที่ 2 การกระจายขนาดอนุภาค

3.2 ผลของอัตราส่วนการเจือจาง

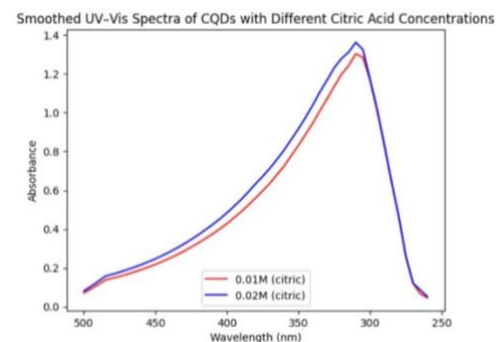
การศึกษาผลของค่าสี RGB ของอัตราส่วนที่เหมาะสมในการการเจือจางระหว่าง CQDs ต่อเอทานอล พบว่า ค่าความเข้มฟลูออเรสเซนซ์สูงสุดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดเหมาะสมที่อัตราส่วน 1:5 และจะลดลงเมื่อเพิ่มหรือลดอัตราส่วนจากจุดดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของสารมีผลต่อค่าความเข้มฟลูออเรสเซนซ์อย่างชัดเจน โดยวิเคราะห์ด้วยค่า RGB ได้ผลดังกราฟที่ 3



กราฟที่ 3 กราฟค่าสี RGB ของอัตราส่วนระหว่าง CQDs ต่อเอทานอลในอัตราส่วนต่างๆ

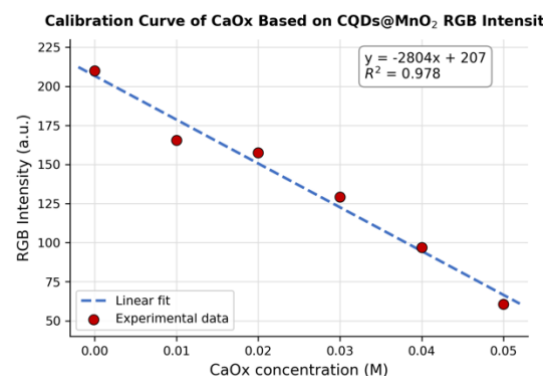
3.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมออกไซด์ของ CQDs จากไบสับปรต ดำเนินการการสังเคราะห์ลิแกนด์แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) บนพื้นผิวคาร์บอนควอนตัมดอท (CQDs) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของตัวแปรที่สนใจศึกษาที่มีผลต่อคุณสมบัติทางแสงของวัสดุ ได้แก่ ความเข้มข้นของ

กรดซิตริก เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ CQDs@MnO_2 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของ CQDs@MnO_2 เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดซิตริกเพิ่ม แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีผลต่อคุณสมบัติทางแสงของวัสดุ โดยความเข้มข้น 0.02 M ให้ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงดีกว่าภายใต้เงื่อนไขการศึกษาในนี้ ดังกราฟที่ 4



กราฟที่ 4 กราฟค่าการดูดกลืนแสงความเข้มข้นของกรดซิตริก 0.01 และ 0.02 M

ผลการศึกษา CQDs@MnO_2 ที่ความเข้มข้นของกรดซิตริก 0.02 M ถูกนำมาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของ CQDs และการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายภายใต้แสง UV ที่ความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์ (CaOx) แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ CaOx มีผลต่อค่า RGB อย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อความเข้มข้นของ



CaOx เพิ่มขึ้น ค่า RGB จะลดลงตามความสัมพันธ์เชิง



เส้น จึงสามารถใช้สมการดังกล่าวในการคำนวณหาความเข้มข้นของ CaOx ได้ ดังกราฟที่ 5
กราฟที่ 5 กราฟมาตรฐานการเปลี่ยนสีของสารละลายภายใต้ UV ต่อ CaOx ที่เปลี่ยนไป

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 อภิปรายผลการทดลอง

CQDs ที่สังเคราะห์จากใบสับปะรดสามารถเรืองแสงสีเขียวเด่นชัดภายใต้แสงยูวี โดยมีความยาวคลื่นการเรืองแสงสูงสุดที่ 323 นาโนเมตร (ภาพที่ 1) สะท้อนให้เห็นว่าวิธีการสังเคราะห์สามารถสร้างอนุภาคที่มีคุณสมบัติการเรืองแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อตรวจสอบด้วยกล้อง TEM พบว่าอนุภาคมีลักษณะทรงกลมเกือบสมบูรณ์ กระจายตัวได้ดี และมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 5 นาโนเมตร (ภาพที่ 2) ซึ่งเป็นช่วงขนาดที่เหมาะสมต่อการเกิดสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของคาร์บอนควอนตัมดอท นอกจากนี้ การศึกษาอัตราส่วนการเจือจางระหว่าง CQDs และเอทานอลพบว่าอัตราส่วน 1:5 ให้ค่าความเข้มฟลูออเรสเซนซ์สูงสุด ขณะที่การเพิ่มหรือลดอัตราส่วนจากจุดดังกล่าวทำให้ความเข้มฟลูออเรสเซนซ์ลดลง แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของตัวทำละลายมีผลต่อประสิทธิภาพการเรืองแสงของ CQDs อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ เมื่อนำ CQDs@MnO₂ ที่สังเคราะห์ได้ไปใช้ตรวจวัดแคลเซียมออกซาลเลต (CaOx) พบว่าความเข้มของสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ลดลงเมื่อความเข้มข้นของ CaOx เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นของ CaOx แสดงให้เห็นว่า CaOx ส่งผลต่อการเกิดกระบวนการฟลูออเรสเซนซ์ควีนซิง (fluorescence quenching) ของ CQDs@MnO₂ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดความเข้มข้นของ CaOx

4.2 สรุปผลการทดลอง

สามารถสังเคราะห์คาร์บอนควอนตัมดอท (CQDs) จากใบสับปะรดด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้อนุภาคทรงกลมที่มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 5 นาโนเมตร และสามารถเรืองแสงสี

เขียวภายใต้แสงยูวี โดยให้ความเข้มข้นฟลูออเรสเซนซ์สูงสุดเมื่อเจือจางด้วยเอทานอลในอัตราส่วน 1:5 การตกแต่งพื้นผิวด้วย MnO₂ ภายใต้สภาวะกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.02 M ทำให้ได้ CQDs@MnO₂ ที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดแคลเซียมออกซาลเลต (CaOx) โดยความเข้มของสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ลดลงตามความเข้มข้นของ CaOx และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตามสมการ $y = -2804x + 207$ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของ CQDs จากใบสับปะรดในการพัฒนาเป็นเซนเซอร์เรืองแสงต้นทุนต่ำสำหรับการตรวจคัดกรองความเสี่ยงโรคนี้ในระบบทางเดินปัสสาวะ

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาผลของสารรบกวนอื่นที่อาจพบในปัสสาวะ เช่น ยูเรียหรือกรดยูริก เพื่อเพิ่มความแม่นยำในสภาวะใช้งานจริง และควรพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนสำหรับวิเคราะห์ค่า RGB จากภาพถ่ายโดยตรง เพื่อความสะดวกในการใช้งานแบบ Point-of-Care

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของนางทองเพียร สิงห์ชัย ครูที่ปรึกษา และผศ.ดร.จิรพัฒน์ พงษ์ เสนาบุตร ที่ปรึกษาพิเศษ ที่ให้คำแนะนำ แนวคิด และคำปรึกษาตลอดการดำเนินโครงการ และขอบคุณบิดามารดาและเพื่อนนักเรียนทุกคนที่ให้อำนาจใจและความช่วยเหลือมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

- ชาญชัย บุญหล้า. (2561). การทดสอบความแม่นยำของการตรวจวัดดัชนีการตกผลึกแคลเซียมออกซาลเลต (COSI) เพื่อการวินิจฉัยโรคนี้ในปัสสาวะและการพัฒนานวัตกรรมวิธีการตรวจวัดปริมาณออกซาลเลตในปัสสาวะโดยอาศัยอนุภาคนาโนควอนตัมดอท. กรุงเทพมหานคร: คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิชญุตม์ ฤกษ์นันท์. (2561). การพัฒนาระบบตรวจวัดแคลเซียมออกซาลเลตในปัสสาวะเพื่อการคัดกรองโรคนี้ไว้ได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ.



กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่าย
เอกสาร.

- Boonla, C. (2007). *Kidney stone: From molecular lithogenesis to stone prevention*. จุฬาลงกรณ์เวช
สาร. **51**(2): 103–123.
- Khan, M. E., Mohammad, A., & Yoon, T. (2022). *State-of-the-art developments in carbon quantum dots (CQDs): Photo-catalysis, bio-imaging, and bio-sensing applications*. *Chemosphere*. **302**: 134815.
- Kumar, A., & Das, J. (2021). *Carbon quantum dots for biomedical applications: Review and analysis*. *Frontiers in Materials*. **8**: 700403.
- Lim, S. Y., Shen, W., & Gao, Z. (2015). *Carbon quantum dots and their applications*. *Chemical Society Reviews*. **44**(1): 362–381.
- Mohd Yusoff, N., Rashid, J. I. A., & Abdullah, J. (2022). *A review on carbon dots: Synthesis, characterization and its application in optical sensor for environmental monitoring*. *Nanomaterials*. **12**(16): 2835.
- Sriboonlue, P., Suwantrai, S., & Prasongwatana, V. (1998). *An indirect method for urinary oxalate estimation*. *Clinica Chimica Acta*. **273**(1): 59–68.