

บทคัดย่อ

ไอออนเหล็ก (Fe^{3+}) เป็นไอออนโลหะที่มีบทบาทสำคัญทั้งในระบบชีวภาพและสิ่งแวดล้อม สามารถปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้จากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่เป็นกรด Fe^{3+} ที่สูงเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ รวมถึงก่อให้เกิดความไม่สมดุลของระบบนิเวศ ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินระดับนาโน (AgNPs) ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นไบโอเซนเซอร์ในการตรวจวัด Fe^{3+} ในน้ำ โดยใช้สารสกัดเปลือกมังคุดเป็นสารรีดิวซ์ทางชีวภาพ กระบวนการเริ่มต้นจากการสกัดเปลือกมังคุดด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วนคงที่ 1:60 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าสารสกัดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) เฉลี่ย 59.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการสังเคราะห์ AgNPs มีการศึกษาความเข้มข้นของ AgNO_3 ตั้งแต่ 0 ถึง 200 มิลลิโมลาร์ ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือการใช้ AgNO_3 100 มิลลิโมลาร์ (AgNPs-100) ซึ่งแสดงพีคการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 435 นาโนเมตร ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ยืนยันว่าอนุภาคมีขนาดเฉลี่ย 23.41 ± 15.03 นาโนเมตร มีการกระจายตัวสม่ำเสมอและไม่รวมกลุ่มกัน ขณะที่ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ยืนยันการมีอยู่ของหมู่ฟังก์ชันฟีนอลที่ช่วยในการรีดิวซ์ไอออนเงิน ไบโอเซนเซอร์ AgNPs-100 แสดงความไวและความจำเพาะเจาะจงต่อไอออน Fe^{3+} สูงสุดเมื่อเทียบกับไอออนรบกวนชนิดโลหะอื่น ๆ โดยใช้เวลาในการอ่านค่าตอบสนองที่ 10 นาที ไบโอเซนเซอร์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีมากในการตรวจวัดความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในช่วง 2 ถึง 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ($R^2 = 0.989$) และมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 1.10 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และขีดจำกัดในการหาปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 3.34 ส่วนในล้านส่วน (ppm) นอกจากนี้ เซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นยังมีความเสถียรในการทำงานครอบคลุมสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ค่า pH 3.5, 7 และ 10 และสามารถตรวจวัด Fe^{3+} ได้หลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 84 วัน แม้ว่าการตอบสนองจะลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายังสามารถนำไปใช้งานได้ หากมีการจัดทำกราฟมาตรฐานให้สอดคล้องกับระยะเวลาการเก็บรักษา งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์เป็นไบโอเซนเซอร์มีประสิทธิภาพ ราคาถูก และสามารถประยุกต์ใช้ตรวจสอบคุณภาพน้ำจริงได้ ทั้งนี้ในการปรับปรุงไบโอเซนเซอร์ให้มีความเสถียรมากขึ้นยังคงเป็นสิ่งที่ท้าทายในอนาคต

Abstract

Water has long been recognized as essential for life. However, the quality of water resources has been continuously declining due to the introduction of undesirable substances. Water pollution mainly originates from industrial activities, domestic sources, agricultural practices, and global environmental changes. Therefore, this research aimed to synthesize silver nanoparticles (AgNPs) using an environmentally friendly method for application as a biosensor, utilizing mangosteen peel extract. The process began with extracting mangosteen peel using deionized water at a fixed ratio of 1:60 g/mL at 90 °C. The extract contained an average total phenolic content (TPC) of 59.84 mg/L, which acted as both a reducing agent and a stabilizing agent during the synthesis process. The synthesis of AgNPs was carried out by varying the concentration of AgNO₃ from 0 to 200 mM. Characterization results indicated that the optimal condition was obtained at 100 mM AgNO₃ (AgNPs-100), which showed a maximum absorption peak at 435 nm. Transmission electron microscopy (TEM) confirmed that the nanoparticles had an average size of 23.41 ± 15.03 nm, with uniform distribution and no significant aggregation. In addition, ATR-FTIR analysis confirmed the presence of phenolic functional groups, which contributed to the reduction of silver ions for nanoparticle formation. For biosensing application, AgNPs-100 exhibited the highest sensitivity and selectivity toward Fe³⁺ ions compared with other interfering metal ions, with an optimal response time of 10 minutes. The biosensor showed an excellent linear relationship for Fe³⁺ detection in the concentration range of 2–100 ppm ($R^2 = 0.989$). The limit of detection (LOD) and the limit of quantification (LOQ) were determined to be 1.10 ppm and 3.34 ppm, respectively. Furthermore, the developed sensor demonstrated developed sensor also exhibited stable performance under acidic and alkaline conditions at pH values of 3.5, 7, and 10. In addition, it was able to detect Fe³⁺ after storage at 4 °C for 84 days. Although the response slightly decreased over time, a high linear correlation was still maintained, indicating that the sensor remains applicable for practical use, provided that a calibration curve corresponding to the storage duration is prepared.