



การตรวจวัดสารประกอบเคอควินนินในน้ำผลไม้ด้วยขั้วไฟฟ้าต้นทุนต่ำของกราไฟต์ใส่ดินสอด ที่ดัดแปรด้วยกราฟีนออกไซด์

Quercetin Determination in Juice by Low Cost Electrode of Pencil Graphite Modified with Graphene Oxide

รุ่งรัมย์ บุญมี¹ อนุรักษ์ จิตต์บึงพร้าว¹ ธาณิชร์ แดงกาวรัมย์² ยุพร ริมชลการ¹ ประภรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล¹
และ อัญชนา ปรีชารพินทร์^{1*}

Roongratsami Boonmee¹, Anurak Chitbuengphrao¹, Tanin Tangkuaram², Yuporn Rimcholakarn¹,
Prakron Lertsuwanpisan¹ and Anchana Preechaworapun^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

¹Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

²Faculty of Science, Maejo University

*Corresponding author; E-mail: anchanaph@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรวจวัดเคอควินนินทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ใส่ดินสอด (PGE) ที่ดัดแปรด้วยกราฟีนออกไซด์ (GO) เป็นขั้วไฟฟ้าทำงานขั้วไฟฟ้า PGE/GO ได้ตรวจสอบคุณลักษณะด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีจากการศึกษาพบว่าขั้วไฟฟ้าที่ดัดแปรมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทางเคมีไฟฟ้าได้เป็นอย่างดีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์อะซิเตตบัฟเฟอร์ (pH 6.0) โดยใช้เทคนิคสแควร์-เวฟโวลแทมเมตรีในการตรวจวัดเคอควินนินในเชิงปริมาณพบช่วงของความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงของการตรวจวัด 3 ช่วง คือ 0.060-0.27 μM 1-10 μM และ 100-900 μM ขีดต่ำสุดของการตรวจวัดที่อยู่ที่ 0.0361 μM นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ตรวจวัดเคอควินนินในน้ำผลไม้ 3 ชนิด คือน้ำแอปเปิ้ล น้ำองุ่น และน้ำกระเจี๊ยบ

คำสำคัญ: เคอควินนิน กราฟีนออกไซด์ เคมีไฟฟ้า น้ำผลไม้

Abstract

In this study, the electrochemical quercetin determination was investigated by using graphene oxide (GO) modified pencil graphite electrode (PGE) as the working electrode. The GO/PGE was characterized by cyclic voltammetry. The results indicated that the modified electrode showed the excellent electrocatalytic ability to the oxidation of quercetin in acetate buffer solution (pH 6). Square-wave



voltammetry was used for quantitative quercetin determination. The result showed three linearities as 0.060-0.27 μM , 1-10 μM , and 100-900 μM . The limit of PGE/GO detection was found to be 0.0361 μM . Furthermore, PGE/GO can be further applied for quercetin determination in the different varieties of juice (apple juice, grape juice, and roselle juice).

Keywords: Quercetin, Graphene oxide, Electrochemistry, Juice

บทนำ

เคอควิซิทิน (Quercetin; 3,3',4',5,7-penta hydroxyflavones) จัดเป็นสารพฤกษเคมีในกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ที่พบได้ในธรรมชาติร่างกายคนเราไม่สามารถ ผลิตขึ้นได้เองพบเฉพาะในพืชสมุนไพรไทย ผักและผลไม้ เช่น หัวหอมแดง ผักชี ใบเรดิช และถั่ว เป็นต้น เคอควิซิทิน เป็นฟลาโวนอยด์โมเลกุลหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากจัด เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านการอักเสบ ต้านการเกิด ภูมิแพ้ ต้านเชื้อแบคทีเรียและยังช่วยลดความเสี่ยง ต่อการเป็นมะเร็ง [1] ปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมา ใส่ใจสุขภาพมากขึ้น การรับประทานผัก ผลไม้ และ สมุนไพรไทยจึงเป็นที่นิยม ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจ ศึกษาการตรวจวัดเคอควิซิทิน

กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide; GO) ได้มาจากการสังเคราะห์กราฟีน GO เป็นโครงร่าง ตาข่ายของอะตอมคาร์บอนแบบ 2 มิติ ที่ลักษณะ คล้ายกับกราฟีน ซึ่งพื้นที่ที่มีการไฮบริดแบบ sp^2 จะ ถูกแทรกด้วยฟังก์ชันของออกซิเจนจึงส่งผลให้ GO สามารถกระจายตัวในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ได้ จากการสันด้วยระบบอัลตราโซนิคอย่างไรก็ตาม การแตก ของผลึก sp^2 บนระนาบกราฟีนวัสดุยังมีคุณสมบัติของการ นำไฟฟ้า สามารถเหนี่ยวนำความร้อน สารเคมี และสามารถ เป็นตัวเก็บไฟฟ้าได้ [2, 3] จากคุณสมบัติการนำไฟฟ้า ของวัสดุกราฟีนจึงมีกลุ่มนักวิจัยทางเคมีไฟฟ้านำวัสดุ ไปดัดแปรบนขั้วไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคแบบหยด (drop-

casting) [4] และนำมาผสมทำเป็นขั้วไฟฟ้ากราฟีน ออกไซด์เพสท (GO paste electrode) [5, 6] นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่ได้ดัดแปรขั้วไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคทางเคมี ไฟฟ้าโดยตรง [2, 3, 7, 8] ผู้วิจัยคนแรกที่น่า กราฟีนไปติดบนขั้วไฟฟ้าด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า คือ Chen al et.[7] ได้ทำการดัดแปรขั้วไฟฟ้า แกลสคาร์บอนด้วย GO ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทม เมตรี และนำไปตรวจวัดไฮโดรควิโนน และแคทคอล ดังนั้นในงานวิจัยจึงนำ GO มาดัดแปรบนขั้วไฟฟ้า ต้นทุนต่ำของกราไฟต์จากไส้ดินสอมาเป็นขั้วไฟฟ้า สำหรับการตรวจวัดเคอควิซิทิน และนำไปประยุกต์วิเคราะห์ ในตัวอย่างจริงของน้ำผลไม้

วัสดุและวิธีการ

วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ :

การตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้าด้วยเครื่องโพเทนชิ โอสแตท (Potentiostat) CHI 1230A (CHI Instruments, Inc., Austin, USA) ขั้วไฟฟ้าทำงานแกลสคาร์บอน (glassy carbon electrode: GCE, เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm; CH Instruments, Inc., Austin, USA) และ ขั้วไฟฟ้าไส้ดินสอ (pencil graphite electrode: PGE, เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 mm ยาว 6 mm ชนิด 2B, Staedtler, Germany) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงซิลเวอร์/ซิลเวอร์ คลอไรด์ (3 M KCl) และขั้วไฟฟ้าช่วยเป็นสแตนเลสตีล

สารเคมี :

เคอเวอซีตินและโซเดียมฟอสเฟสไดเบสิก ไดเดคคาไฮเดรท ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท Sigma โซเดียมฟอสเฟตโมโนเบสิกไดไฮเดรท ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท Fluka เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) และ กรดอะซิติก (CH_3COOH) จากบริษัท RCI labscan โซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa) จากบริษัท Ajax Finechem ผงกราไฟต์ (Graphite fine powder extra pure) ผลิตจาก Merck น้ำปราศจากไอออน (DI water) ผลิตจากเครื่อง Ultrapure water (ยี่ห้อ: Adrona รุ่น : Crytal EX จากประเทศสวีเดน) ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่ม น้ำแอปเปิ้ล 100% การสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ (GO) :

ประยุกต์จาก Hummers process [2] สรุปได้ดังนี้ นำผงแกรไฟต์มาออกซิไดซ์ด้วยสารละลายของ โซเดียมไนเตรต กรดซัลฟิวริกโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตตามด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และ น้ำเพื่อล้างส่วนเกินของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และแมงกานีสออกไซด์ออก กรองสารแขวนลอยและ ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งสารละลายเป็นกลาง จากนั้น นำตะกอนไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้ง

การตัดแปรขั้วไฟฟ้าใส่ดินสอด :

นำสารละลายอิเล็กโตรไลต์ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 M (pH 7) ใส่ลงในเซลล์ปริมาตร 4 mL และ GO 0.02g ใส่ลงในเซลล์นำไปผสมให้ GO กระจายใน บัฟเฟอร์ ด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 30 นาที นำ ใส่ดินสอดใส่ในดินสอดที่ทำจากโลหะทั้งแท่ง กดใส่ดินสอด ให้ถึงฐานของเซลล์แก้ว นำสายไฟของขั้วทำงานมา ต่อกับขั้วไฟฟ้าดินสอด ให้ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็นซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ และขั้วไฟฟ้าช่วยเป็น Stainless steel จากนั้นเชื่อมต่อกับเครื่อง Electrochemical Analyzer

ให้ศักย์ไฟฟ้าด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีทำการตั้ง parameter เทคนิค ไซคลิกโวลแทมเมตรี ดังนี้ อัตราการ สแกน 0.05 V/s และช่วงศักย์ไฟฟ้าสแกนระหว่าง -1.5 ถึง 0.8 V ในการตรึงกราฟีน

การตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้า :

การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าเป็นแบบระบบ 3 ขั้วไฟฟ้าตรวจวัดที่อุณหภูมิห้องขั้วไฟฟ้าทำงาน ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าใส่ดินสอด และขั้วไฟฟ้า แกลสซีคาร์บอน โดย GCE ก่อนใช้งานขัดด้วยผง อะลูมินาขนาด 0.05 μm จนเป็นเงาคล้ายกระจก จากนั้น ล้างด้วย DI water และเอทานอล ตามลำดับ การติดตั้ง เซลล์เคมีไฟฟ้าระบบ 3 ขั้ว ตามงานวิจัย Preechaworapun et al. [9] โดยขั้วไฟฟ้าใส่ดินสอดเชื่อมต่อกับดินสอดที่ ทำด้วยโลหะสามารถนำไฟฟ้าได้ การตรวจวัดเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ตรวจวัดที่อัตราการสแกน 0.1 V/s การตรวจวัดเพื่อหาปริมาณของเคอเวอซีตินตรวจวัดด้วย เทคนิคสแควเวฟโวลแทมเมตรี

การตรวจวัดเคอเวอซีตินในตัวอย่าง :

เติมสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ pH 6 ในเซลล์ ของระบบทางเคมีไฟฟ้าแบบ 3 ขั้ว ปริมาตร 2 mL จากนั้นเติมตัวอย่างปริมาตร 300 μL ลงในเซลล์ และ ทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคสแควเวฟโวลแทมเมตรี และเทียบสัญญาณจากกราฟมาตรฐานเพื่อหาปริมาณ ความเข้มข้นของเคอเวอซีตินในตัวอย่างน้ำแอปเปิ้ล

ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

ในการวิจัยเป็นการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ เคอเวอซีตินด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้ขั้วไฟฟ้า ทำงานเป็นขั้วไฟฟ้าคาร์บอน 2 ชนิด เปรียบเทียบกัน คือ GCE และ PGE ดัง Figure 1 จากการทดลอง พบว่าเคอเวอซีตินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ศักย์ไฟฟ้า 0.24 และ 0.25 V ความหนาแน่นของกระแสเท่ากับ



0.73 และ 6.39 $\mu\text{A}/\text{mm}^2$ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ศักย์ไฟฟ้าของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของทั้งสองขั้วไฟฟ้าไม่ต่างกัน เมื่อพิจารณาผลของความหนาแน่นกระแส พบว่า PGE สูงกว่า GCE ถึง 8.75 เท่า ดังนั้น PGE จึงใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Preechaworapun et al. [9] ที่ทำการเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าทำงานระหว่าง GCE และ PGE สำหรับการตรวจวัดโลหะหนักพบว่าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนจากไส้ดินสอให้ค่าความหนาแน่นของกระแสสูงกว่าขั้วไฟฟ้าแกรสสิคาร์บอน

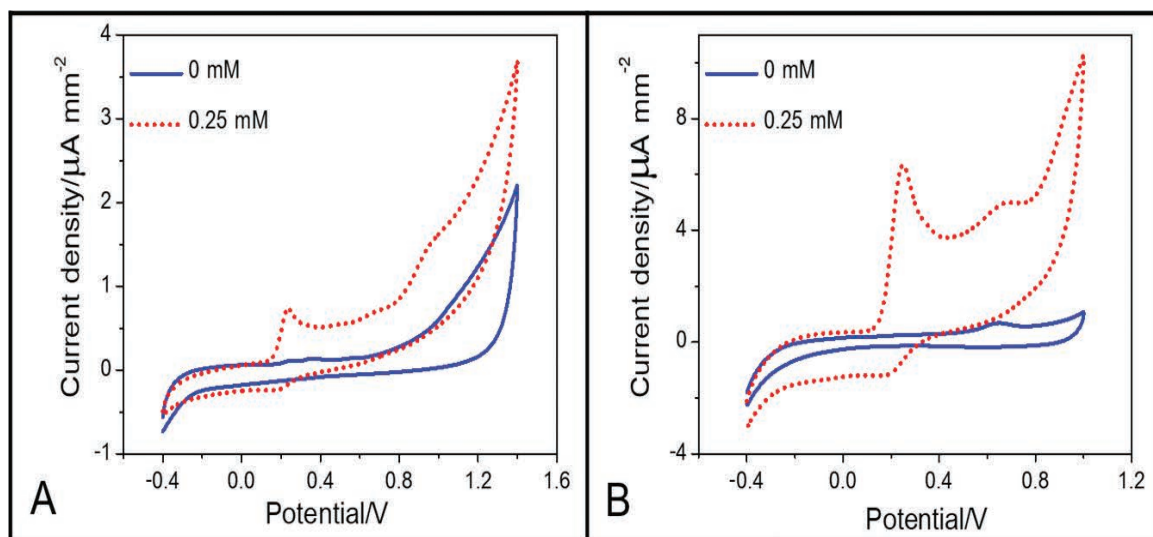


Figure 1. Cyclic voltammograms of 0 and 0.25 mM quercetin at GCE (A) and PGE (B)

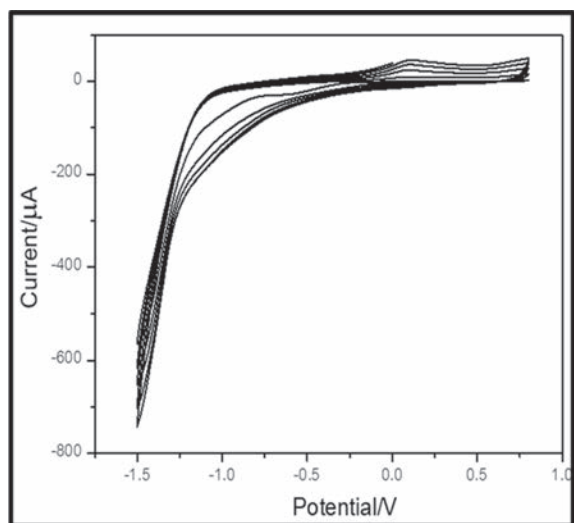


Figure 2. Cyclic voltammogram of GO modified PGE 5 cycles

ในการวิจัยเลือกที่จะตัดแปรขั้วไฟฟ้าด้วย GO ที่แขวนลอยในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.0 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีได้ผลโวลแทมโมแกรมดัง Figure 2 พบว่าเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสูงของกระแสออกซิเดชันที่ศักย์ไฟฟ้า 0.09 V เพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น และกระแสรีดักชันค่อยเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้า -1.0 V นั้นเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่ามีการติดของ GO บนขั้วไฟฟ้า [7] หลังจากทำการตัดแปรขั้วไฟฟ้า นำไปตรวจวัดเคอควินอนที่ความเข้มข้น 0.25 mM ได้ผลดัง Figure 3

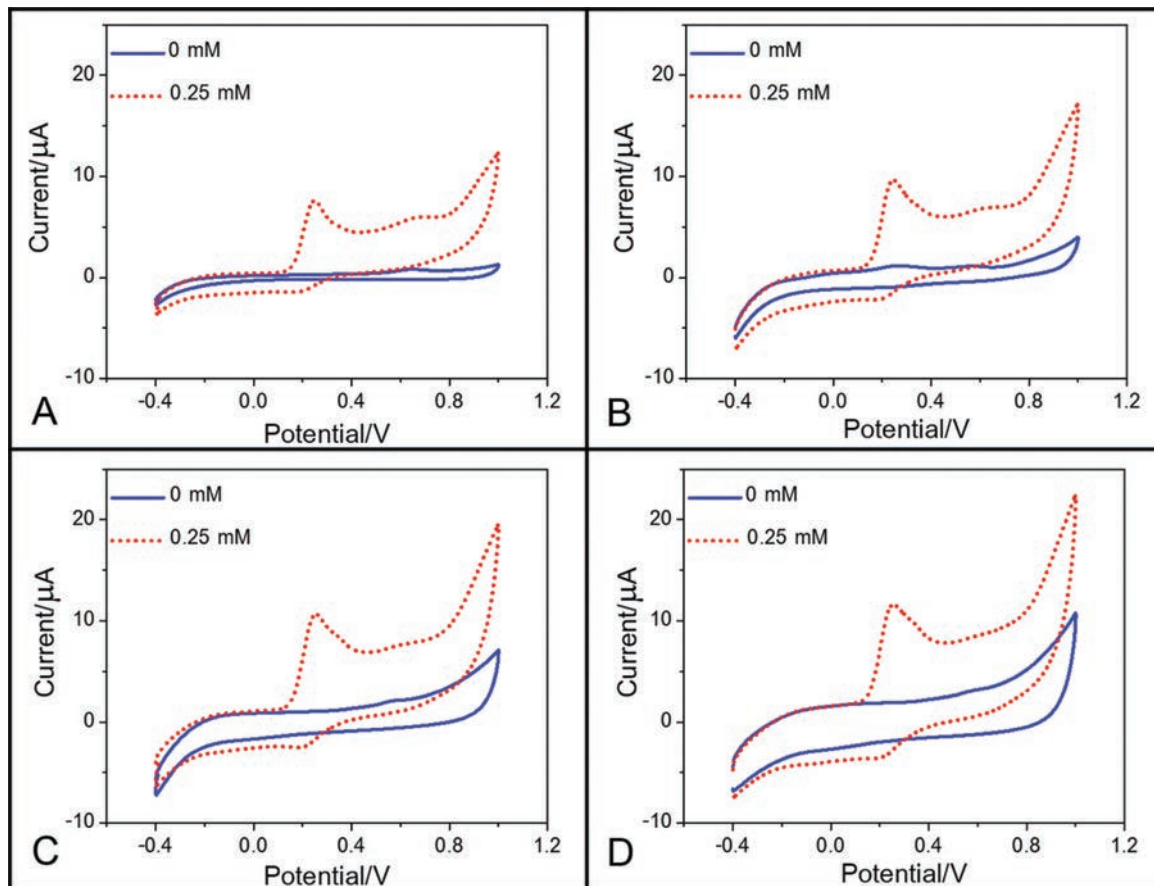


Figure 3. Cyclic voltammograms of quercetin at PGE (A) and PGE modified GO at 1(B), 3(C), and 5(D) cycles

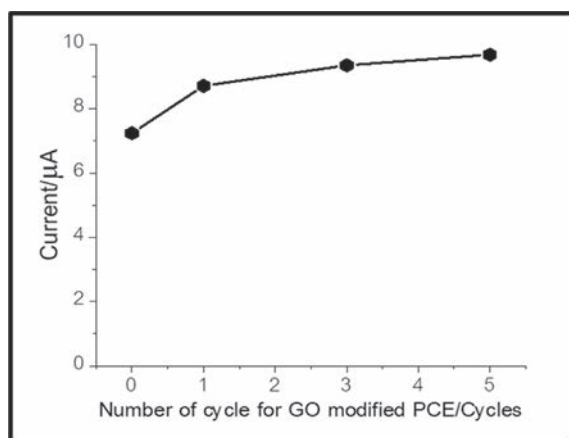


Figure 4. The relationship between the number of cycle for modified PGE and current of quercetin

จาก Figure 3 เป็นสัญญาณจากการตรวจวัด
เคอควิเตนบนขั้วไฟฟ้าสัณฐานที่มีกรดดัดแปรด้วย GO
โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีช่วงของศักย์ไฟฟ้า -1.5
ถึง 0.8 V จำนวนรอบของการสแกน 0,1,3, และ 5 รอบ
ในสารละลายแขวนลอยของ GO จากไซคลิกโวลแทมโม
แกรมพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบของการดัดแปรขั้วไฟฟ้า
มากขึ้นส่งผลให้กระแสพื้นหรือกระแสของอิเล็กโตรไลต์
อะซิเตตบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบ เมื่อคำนวณค่า
ของความสูงกระแสเคอควิเตนหักจากค่ากระแสพื้น
ผลแสดงดังกราฟ Figure 4 พบว่าเมื่อจำนวนรอบของ
การดัดแปรขั้วไฟฟ้าด้วย GO เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสูง
ของกระแสเคอควิเตนที่หักลบกระแสพื้นเพิ่มขึ้นตามลำดับ



แต่เนื่องจากว่าความชันของกระแสสูงมากจากช่วงการตัดแปรที่ 0 ถึง 1 รอบ ที่จำนวนรอบ 3 และ 5 รอบ พบว่าความสูงของกระแสไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก ดังนั้นในการวิจัยจึงเลือกใช้ที่ 1 รอบของ GO ในการตัดแปร PGE เพื่อช่วยลดเวลาในการตัดแปรชีวไฟฟ้า

พฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าด้วยเทคนิคสแควเวฟโวลแทมเมตรีของการตรวจวัดเคอควินินใน 0.1 M อะซิเตตบัฟเฟอร์ (pH 4-7) ละลายใน 20% เอทานอล ที่อัตราการสแกน 0.1 V/s บนชีวไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นได้ผลดัง Figure 5 (A) พบว่าเมื่อสารละลายมี pH เพิ่มขึ้น พีคจะชิฟไปทางลบเพิ่มทำให้ค่าของศักย์ไฟฟ้าลดลงด้วยอัตรา

70 mV pH⁻¹ซึ่งแสดงผลดัง Figure 5(B) โดยแกน y อยู่ด้านขวามือของรูป แสดงให้เห็นว่าค่าความชันเข้าใกล้ 58.5 mV pH⁻¹ ซึ่งให้เห็นว่าในสมการทางเคมีไฟฟ้าของการตรวจวัดเคอควินินมีจำนวนของอิเล็กตรอนและโปรตอนที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาการส่งผ่านชีวไฟฟ้าเท่ากัน [10, 11] ดัง Figure 6 นอกจากนี้ผลความสัมพันธ์ของความสูงกระแสออกซิเดชันของการตรวจวัดเคอควินิน (แกน y อยู่ด้านซ้ายมือ) กับค่า pH ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ดัง Figure 5 (B) พบว่ากระแสสูงสุดอยู่ที่ pH 6 ซึ่งตรงกับสภาวะของ Manokaran et al. [11] และ Preechaworapun et al. [10]

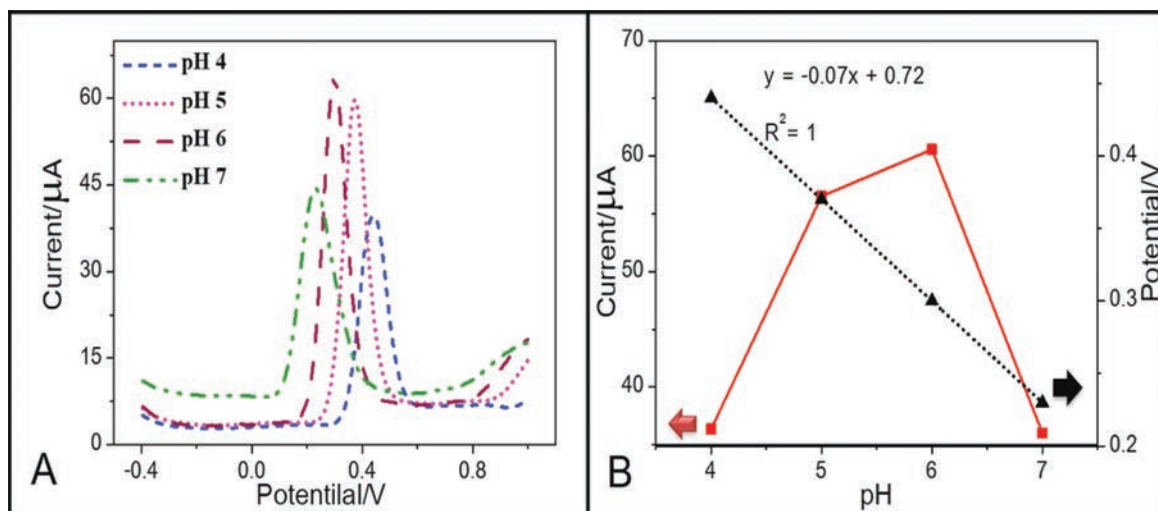


Figure 5. (A) Square-wave voltammograms of 0.25 mM quercetin in 0.1 M acetate buffer (pH 4-7) at PGE/GO. (B) The relationship between the anodic potential (the right of y-axis) / the current (the left of y-axis) with the pH of acetate buffer.

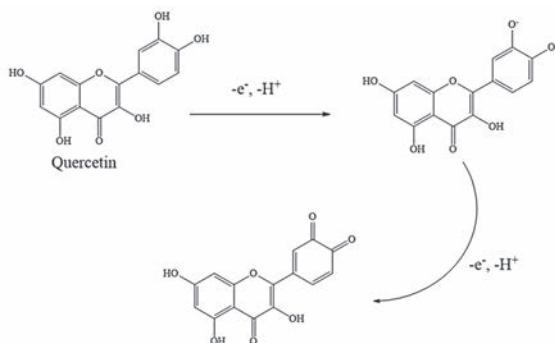


Figure 6. Oxidation reaction of quercetin

จากการศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของขั้วไฟฟ้า GO/PGE (Figure 7) อยู่ในช่วง 0.10-0.26 μM , 1-10 μM และ 100-900 μM ด้วยความไวในการตรวจวัดเท่ากับ 52.22, 2.45 และ 0.01 $\mu\text{A}/\mu\text{M}$ ตามลำดับ ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดแควอซิติน (LOD) อยู่ที่ 0.093 μM และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแควอซิติน (LOQ) เท่ากับ 0.31 μM

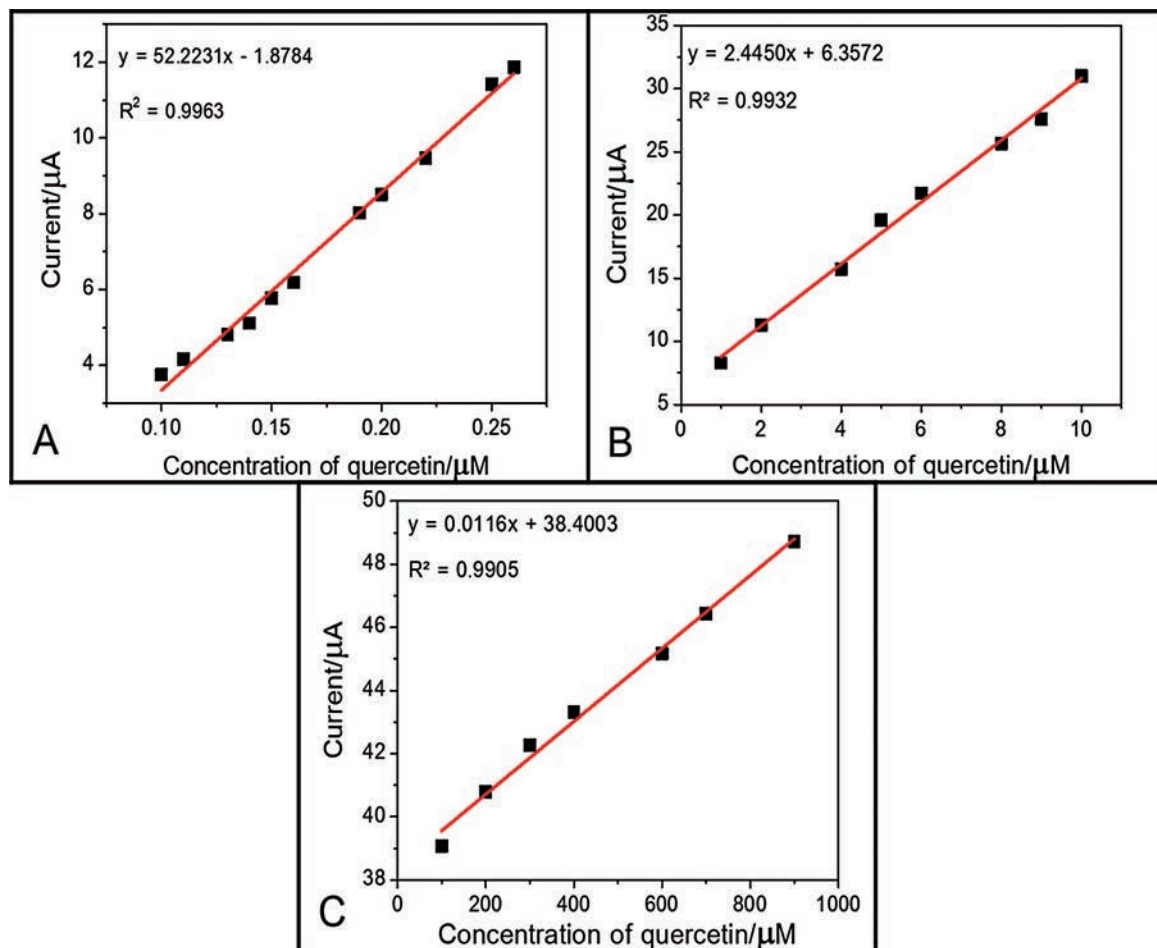


Figure 7. Three linear ranges of quercetin determination in acetate buffer pH 6 using GO/PGE

**Table 1.** Comparison of different electrodes for quercetin determination

Electrode material	Linear range (μM)	Sensitivity	LOD	Ref.
AuNPs/p-MWCNs/GCE	$1.0 \times 10^{-3} - 5.0 \times 10^{-2}$	0.028 $\mu\text{A}/\text{nM}$	$3.3 \times 10^{-10}\text{M}$	[12]
(MWNTs + M3)/GCE	2.36-59	-	-	[13]
PtNPs/PEDOT-MeOH/GCE	0.04-91	9.51 $\mu\text{A}/\mu\text{M}$	5.2 nM	[14]
p-AMT/PGEs	0.1 to 6 $\mu\text{g}/\text{mL}$	10.476 $\mu\text{A}/(\mu\text{g}/\text{mL})$	2.2 μM	[15]
Nafion-MWCNT/GPE	0.01-0.91 mg/L	203.19 $\mu\text{A}/(\text{mg}/\text{L})$	-	[16]
E-GR/P- $\beta\text{CD}/\text{GCE}$	0.005-20	1.74901 $\mu\text{A}/\mu\text{M}$	0.001 μM	[17]
Pt-PDA@SiO ₂ /GCE	0.05 to 0.383	6.47 $\mu\text{A}/\mu\text{M}$	16nM	[11]
GCE	0.5-412	6.62 $\mu\text{A mM}^{-1}$	0.2 μM	[10]
	360-1,600	2.77 $\mu\text{A mM}^{-1}$		
GR/GCE	0.006-10	0.333 $\mu\text{A}/\mu\text{M}$	0.060	3.6 nM [18]
	10-100	$\mu\text{A}/\mu\text{M}$		
GO/PGE	0.10-0.26	52.22 $\mu\text{A}/\mu\text{M}$	0.093 μM	This study
	1-10			
	100-900			

Table 2. The recovery of quercetin determination in some juice (n = 3)

Sample	Quercetin in sample (μM)	Added Value (μM)	Found Value (μM)	Recovery (%)	RSD (%)
Apple juice	62.66 \pm 1.35	26	89.53 \pm 1.35	103.35 \pm 5.20	5.0
		52	114.21 \pm 2.55	99.12 \pm 4.91	4.9
		77	137.52 \pm 2.50	99.12 \pm 4.91	3.3
		103	167.93 \pm 4.24	102.20 \pm 4.12	4.0
Grape juice	73.31 \pm 2.75	26	100.73 \pm 1.17	105.47 \pm 4.49	4.3
		52	121.67 \pm 2.08	92.99 \pm 4.00	4.3
		77	143.67 \pm 2.89	91.37 \pm 3.75	4.1
		103	182.83 \pm 3.33	106.33 \pm 3.23	3.0
Roselle juice	48.33 \pm 2.47	26	74.81 \pm 1.05	101.85 \pm 4.04	4.0
		52	100.33 \pm 2.08	100.00 \pm 4.00	4.0
		77	125.23 \pm 3.36	99.87 \pm 4.36	4.4
		103	151.50 \pm 4.36	100.16 \pm 4.23	4.2

สำหรับการวิเคราะห์เคอควิซตินด้วย GO/PGE (standard addition) คำนวณหาปริมาณเคอควิซตินมาได้ประยุกต์ตรวจวัดในตัวอย่างน้ำผลไม้ 100% พร้อมดื่ม พบว่ามีปริมาณเคอควิซตินในน้ำองุ่นมากที่สุด รองลงแบบกลองที่มีขายในร้านสะดวกซื้อทั่วไป ได้ผลการวิจัย มาคือน้ำแอปเปิ้ล และน้ำกระเจี๊ยบมีปริมาณเคอควิซตินดัง Table 1 วิเคราะห์โดยเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน 62.66, 73.31 และ 48.33 ตามลำดับ เมื่อมีการเติมสาร



มาตรฐานลงในน้ำผลไม้ทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 26, 52, 77 และ 103 μM และทำการวิเคราะห์ด้วยชีวไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าร้อยละการคืนกลับของสารมาตรฐานที่เติมพบว่าค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในช่วง 91.37-106.33

สรุป

การตรวจวัดเคอเวอซิตินโดยใช้ชีวไฟฟ้า PGE/GO เป็นชีวไฟฟ้าทำงาน วิเคราะห์ด้วยใช้เทคนิคสแควร์-เวฟ โวลแทมเมตรี มีช่วงของความสัมพัทธ์ที่เป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.10-0.27, 1-10 และ 100-900 μM ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดอยู่ที่ 0.093 μM และปริมาณต่ำที่สุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงปริมาณเท่ากับ 0.31 μM ชีวไฟฟ้าที่ประยุกต์ขึ้นยังสามารถประยุกต์วิเคราะห์ในตัวอย่างจริงของน้ำผลไม้ได้ร้อยละการคืนกลับคืนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และมีความเที่ยงในการตรวจวัดเป็นอย่างดี ซึ่ง % RSD ไม่เกิน 5%

กิตติกรรมประกาศ

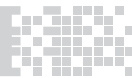
งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน วช. ปี 61 (RDI-1-61-6-5) และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ให้การสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์และสถานที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Veerapandian, M., Seo, Y.T., Yun, K., Lee, M.H. 2014. Graphene oxide functionalized with silver@ silica-polyethylene glycol hybrid nanoparticles for direct electrochemical detection of quercetin. *Biosensors & Bioelectronics*. 58: 200-204.
2. O'Neil G.D., Weber, A.W., Buiculescu, R., Chaniotakis, N.A., Kounaves S.P. 2014.

Electrochemistry of Aqueous Colloidal Graphene Oxide on Pt Electrodes. *Langmuir*. 30 (31): 9599-9606.

3. Pei, S., Cheng, H.M. 2012. The reduction of graphene oxide. *Carbon*. 50(9): 3210-3228.
4. Vidya, H., Swamy, B.E.K. 2015. Voltammetric determination of dopamine in the presence of ascorbic acid and uric acid at sodium dodecyl sulphate/reduced graphene oxide modified carbon paste electrode. *Journal of Molecular Liquids*. 211: 705-711.
5. Beitollahi, H., Hamzavi, M., Torkzadeh-Mahani M. 2015. Electrochemical determination of hydrochlorothiazide and folic acid in real samples using a modified graphene oxide sheet paste electrode. *Materials Science and Engineering*: 52: 297-305.
6. Rani, V., Das, R.K., Golder, A.K. 2017. Fabrication of reduced graphene oxide-graphite paste electrode for H₂O₂ formation and its implication for ciprofloxacin degradation. *Surfaces and Interfaces*. 7: 99-105.
7. Chen, L., Tang, Y., Wang, K., Liu, C., Luo, S. 2011. Direct electrodeposition of reduced graphene oxide on glassy carbon electrode and its electrochemical application. *Electrochemistry Communications*. 13(2): 133-137.
8. Eng, A.Y.S., Pumera, M. 2014. Direct voltammetry of colloidal graphene oxides. *Electrochemistry Communications*. 43: 87-90.
9. Preechaworapun, A., Lertsuwunpisal, P., Tangkuaram, T. 2016. Differential pulse anodic



- stripping voltammetry for Lead (II) Cadmium (II) and Zinc(II) analysis on a low cost pencil carbon electrode. *Journal of Thai Interdisciplinary Research*. 11(4): 1-7.
10. Permpool, J., Tangkuaram, T., Preechaworapun, A. 2018. Electrochemical Characterization of Glassy Carbon Electrode and Boron-doped Electrode for Determination of Quercetin. *NU International Journal of Science*. 15(1): 69-76.
 11. Manokaran, J., Muruganatham, R., Muthukrishnaraj, A., Balasubramanian, N. 2015. Platinum-polydopamine @SiO₂ nanocomposite modified electrode for the electrochemical determination of quercetin. *Electrochimica Acta*. 168: 16-24.
 12. Yola, M.L., Atar, N. 2014. A novel voltammetric sensor based on gold nanoparticles involved in p-aminothiophenol functionalized multi-walled carbon nanotubes: Application to the simultaneous determination of quercetin and rutin. *Electrochimica Acta*. 119: 24-31.
 13. Jin, J.H., Kwon, C., Park, W., Kim, S., Jung, S. 2008. Electrochemical characterization of a glassy carbon electrode modified with microbial succinoglycan monomers and multi-wall carbon nanotubes for the detection of quercetin in an aqueous electrolyte. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 623(2): 142-146.
 14. Yao, Y.Y., Zhang, L., Wang, Z.F., Xu, J.K., Wen, Y.P. 2014. Electrochemical determination of quercetin by self-assembled platinum nanoparticles/poly (hydroxymethylated-3, 4-ethylenedioxythiophene) nanocomposite modified glassy carbon electrode. *Chinese Chemical Letters*. 25(4): 505-510.
 15. Muti, M., Gencdag, K., Nacak, F.M., Aslan, A. 2013. Electrochemical polymerized 5-amino-2-mercapto-1,3,4-thiadiazole modified single use sensors for detection of quercetin. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces*. 106: 181-186.
 16. Zhu, Q.G., Sujari, A.N.A., Ab Ghani, S. 2013. Nafion-MWCNT composite modified graphite paste for the analysis of quercetin in fruits of *Acanthopanax sessiliflorus*. *Sensors and Actuators B-Chemical*. 177: 103-110.
 17. Zhang, Z., Gu, S., Ding, Y., Shen, M., Jiang, L. 2014. Mild and novel electrochemical preparation of β -cyclodextrin/graphene nanocomposite film for super-sensitive sensing of quercetin. *Biosensors and Bioelectronics*. 57: 239-244.
 18. Arvand, M., Anvari, M. 2013. A graphene-based electrochemical sensor for sensitive detection of quercetin in foods. *Journal of the Iranian Chemical Society*. 10(5): 841-849.