

ผลการทดลอง

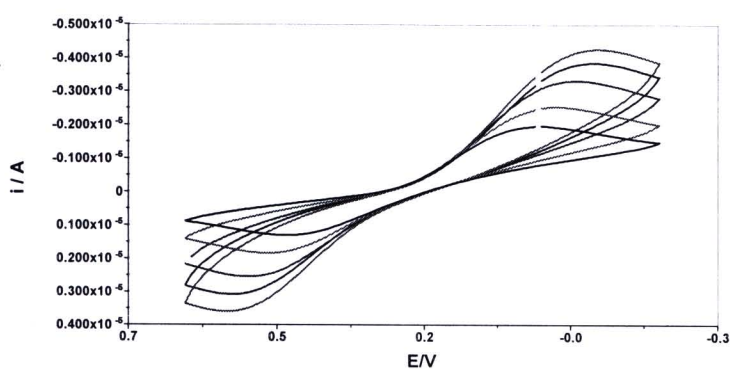


โรคใบขาวของอ้อยที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาและการสกัดดีเอ็นเอ

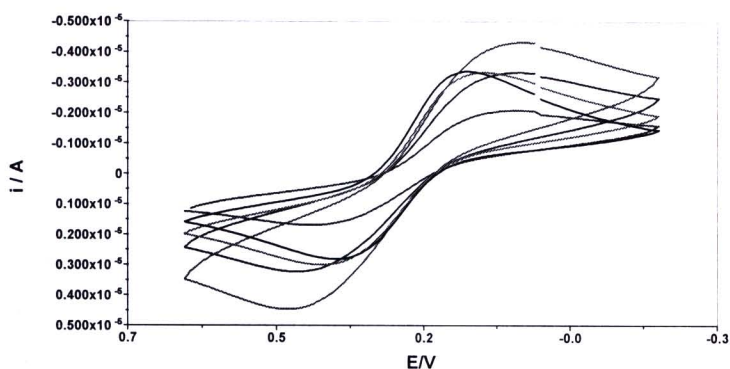
ผลการสำรวจและตรวจเก็บอย่างต้นอ้อยเป็นโรคใบขาวจากไร่อ้อย ในเขตพื้นที่อำเภอชุมภักดี จังหวัดอุตรธานี ซึ่งเป็นเขตเพาะปลูกที่มีการระบาดของโรคอย่างรุนแรง สามารถเก็บตัวอย่างต้นอ้อยที่มีลักษณะอาการเป็นโรคอย่างชัดเจน และสำรองตัวอย่างโรคเพื่อใช้ในการทดลองและสกัดดีเอ็นเอเป้าหมายจากต้นอ้อยเป็นโรคใบขาวนั้น ด้วยการปอกชำและเพาะเลี้ยงส่วนตาหน่อ ให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับการนำมาสกัดดีเอ็นเอในขั้นต่อไป ในส่วนของการทดสอบเปรียบเทียบวิธีการสกัดดีเอ็นเอวิธีการต่างๆ พบว่าการสกัดด้วยวิธี phenol-chloroform extraction จากตัวอย่างบดใน CTAB buffer ให้ผลลัพท์ดีเอ็นเอของดีเอ็นเอจากอ้อยเป็นโรคใบขาว(SCWL-DNA) ที่มีความบริสุทธิ์สูงกว่าวิธีการอื่นๆรวมทั้งวิธี solid phase extraction ด้วย column kit เช่น DNeasy Kit แบบสำเร็จรูปที่มีการจำหน่ายเป็นการค้าโดยทั่วไปเป็นอย่างมาก คือสามารถทำให้ได้ดีเอ็นเอที่ระดับความบริสุทธิ์ถึง 1.8-1.9 เมื่อเทียบจากการวัดอัตราดูดกลืนแสงที่ A_{260} / A_{280} ตามมาตรฐาน

สมบัติทางไฟฟ้าเคมีของอิเล็กโทรดGCEและอิเล็กโทรดดัดแปลง chitosan-modified GCE

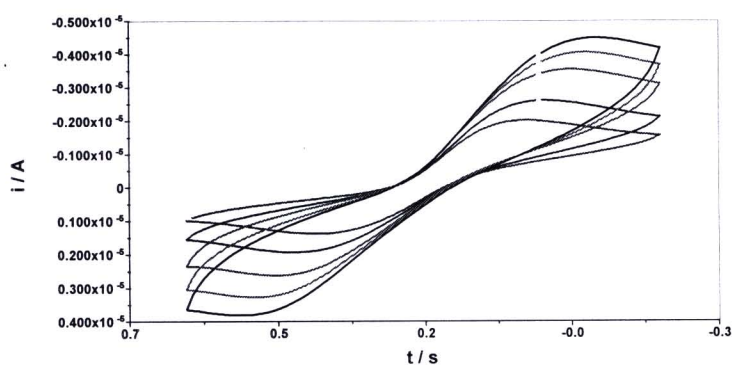
ในการทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรด และความเสถียรของอิเล็กโทรดดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับอิเล็กโทรดGCEในสภาพปกติ เมื่อทำการตรวจวัดโดยวิธี cyclic voltammetry (CV) พบว่าได้ผลการวัดในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(I) และศักย์ไฟฟ้า (E) ในระบบ supporting electrolyte ของ 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ ในสารละลาย 0.1M PBS pH 7.0 ที่มีการแลกเปลี่ยน ferri-ferro ion ในเซลล์ไฟฟ้า โดยภาพที่ 1 เป็นกราฟ CV ของGCE ปกติเมื่อทำการสแกนในแต่ละอัตราการสแกนคือ 25, 50, 100, 150, และ 200 mV/s ขณะที่ภาพที่ 2-6 เป็นกราฟ CV จากการสแกนในแต่ละอัตราการสแกนทั้ง 5 อัตราเช่นกัน ของอิเล็กโทรดดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิดต่างๆคือ ไคโตซาน 80, 85, 90, 95%DD และ chitosan oligomer ตามลำดับ และผลการทดลองในตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบผลการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยา redox ที่เกิดขึ้น เมื่อตรวจวัด CV ของอิเล็กโทรดแต่ละชนิดที่อัตราการสแกน 100 mV/s



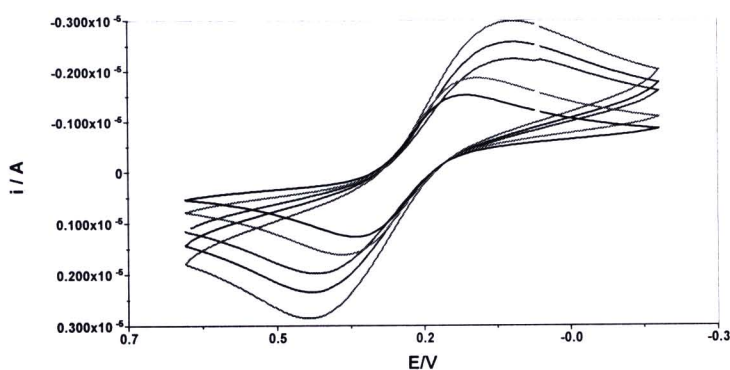
ภาพที่ 1 กราฟ cyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} / \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



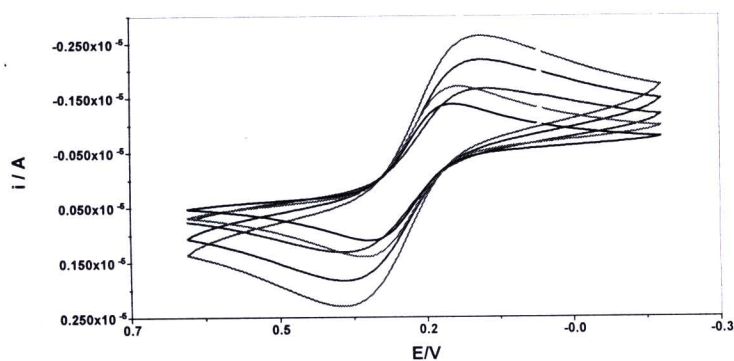
ภาพที่ 2 กราฟ cyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด 80% deacetylation degree (chitosan 80DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} / \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



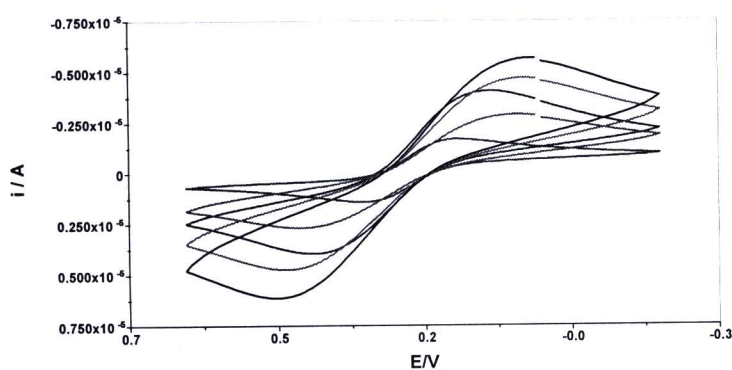
ภาพที่ 3 กราฟ cyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด 85% deacetylation degree (chitosan 85DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} / \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



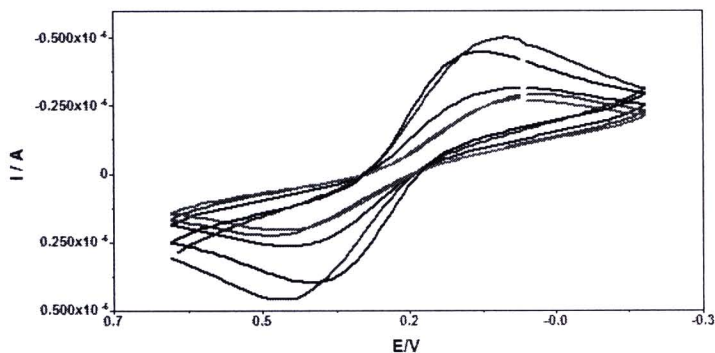
ภาพที่ 4 กราฟ cyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด 90% deacetylation degree (chitosan 90DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} / \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



ภาพที่ 5 กราฟ cyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด 95% deacetylation degree (chitosan 95DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} / \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



ภาพที่ 6 กราฟ cyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด chitosan oligomer เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} / \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



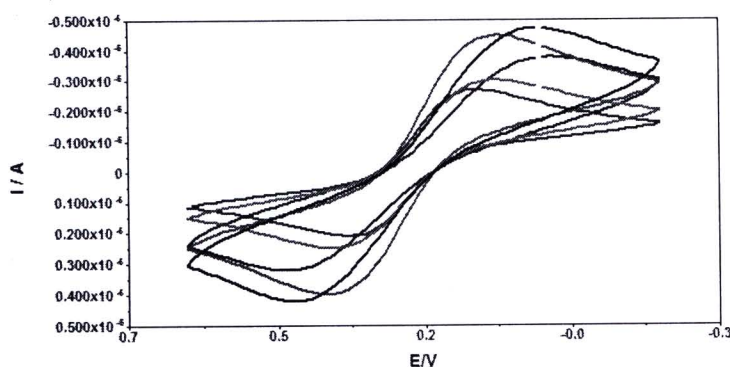
ภาพที่ 7 กราฟcyclic voltammogram เปรียบเทียบระหว่าง อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วย สารชีวภาพไคโตซานชนิดต่างๆ เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 100 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ / $K_3Fe(CN)_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C

ตารางที่ 1 ค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี cyclic voltammetry (CV) ที่อัตราการสแกน(scan rate) 100 mV/s ภายใต้ระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6^{3-}$ / $K_3Fe(CN)_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C จากการวัดอิเล็กโทรดชนิด glassy carbon (gce) และอิเล็กโทรดดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานรูปแบบต่างๆ

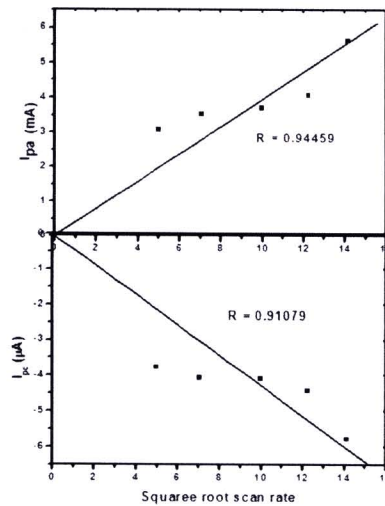
Electrode species	E_{pa} (V/SCE)	I_{pa} (μA)	E_{pc} (V/SCE)	I_{pc} (μA)	I_{pa}/I_{pc}	ΔE_p	$\Delta E_p / 2$
Bare gce	0.5136	2.4136	-0.0806	-3.3255	0.7258	0.4330	0.2165
Gce-chitosan80DD	0.3927	1.6809	0.0403	-2.0944	0.8026	0.3525	0.1762
Gce-chitosan85DD	0.4229	1.4297	0.01007	2.0837	0.7879	0.4129	0.2065
Gce-chitosan90DD	0.3829	1.9727	0.05035	-2.2439	0.8791	0.3323	0.1662
Gce-chitosan95DD	0.3424	1.3074	0.1007	-1.6635	0.7859	0.2417	0.1209
Gce-chitosan oligomer	0.4129	2.6657	0.04028	-2.912	0.9154	0.3726	0.1863

สมบัติทางไฟฟ้าเคมีในระบบ ferri-ferro ion ของอิเล็กโทรดดัดแปลง chitosan-modified GCE ที่มีการตรึงดีเอ็นเอ

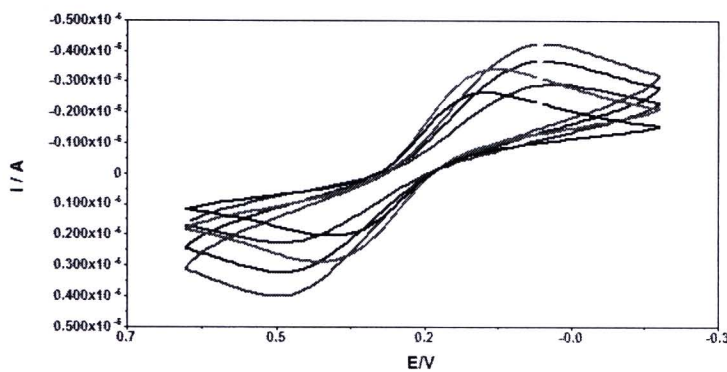
จากการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของอิเล็กโทรดดัดแปลง chitosan-modified GCE ซึ่งเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิดต่างๆดังกล่าวข้างต้น เมื่อทำการตรึงดีเอ็นเอเป้าหมายคือดีเอ็นเอที่สกัดจากต้นอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมา (SCWL-DNA) ด้วยการวัดค่า CV ในเซลล์ไฟฟ้าที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของ ferri-ferro ion พบว่าได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้าดังภาพที่ 8, 10, 12, 14 และ 16 สำหรับผลการวัดเมื่อทำการตรึง SCWL-DNA บนผิวหน้าขั้วอิเล็กโทรดดัดแปลงด้วยไคโตซานชนิด 80, 85, 90, 95%DD และ chitosan oligomer ตามลำดับ จากการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบ supporting electrolyte ของ 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ ในสารละลาย 0.1M PBS pH 7.0 และหลังจากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกระแสไอโนด (Ipa) กับกระแสแคโทด (Ipc) ที่การวัดในแต่ละอัตราการสแกนทั้ง 5 อัตราข้างต้น สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear regression) ของ SCWL-DNA ที่ตรึงบนผิวหน้าขั้วอิเล็กโทรดดัดแปลงแต่ละชนิดได้ดังภาพที่ 9, 11, 13, 15 และ 17 โดยมีค่า R ของ Ipa และ Ipc จากการตรึงดีเอ็นเอบนอิเล็กโทรดดัดแปลงด้วยไคโตซานชนิด 80, 85, 90, 95%DD และ chitosan oligomer เป็น 0.9678 กับ 0.9539, 0.9446 กับ 0.9108, 0.98.6 กับ 0.9496, 0.9530 กับ 0.9355 และ 0.9799 กับ 0.9777 ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ของปฏิกิริยา redox ที่เกิดขึ้นที่อัตราการสแกน 100 mV/s พบว่าได้ค่าดังสรุปในตารางที่ 2 ที่บ่งชี้ค่าศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดดัดแปลงที่มีการตรึงดีเอ็นเอ มีค่าลดลงไปจากค่าการวัดอิเล็กโทรดปกติ



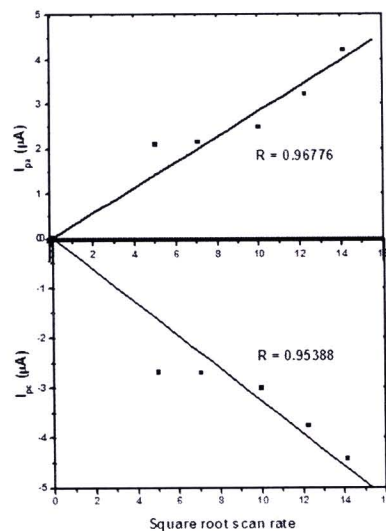
ภาพที่ 8 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon ดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 80% deacetylation degree (chitosan 80DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$ C



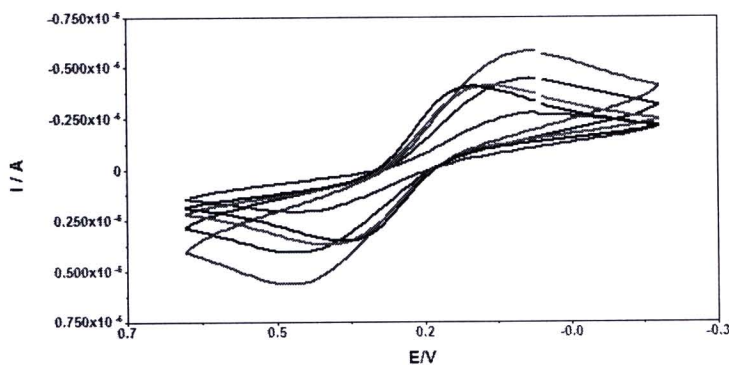
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของกระแส oxidation (I_{pa}) และกระแส reduction (I_{pc}) ที่พบจากการวัดในแต่ละรอบของการสแกนที่ 25, 50, 100, 150, และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ / $K_4Fe(CN)_6$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon ดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 85% deacetylation degree (chitosan 80DD)



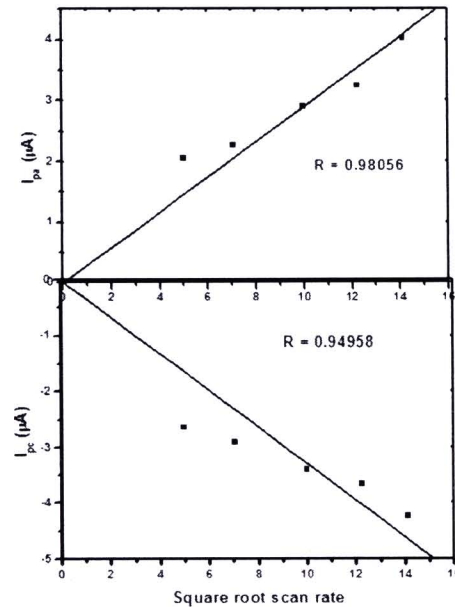
ภาพที่ 12 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon ดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 90% deacetylation degree (chitosan 90DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ / $K_4Fe(CN)_6$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



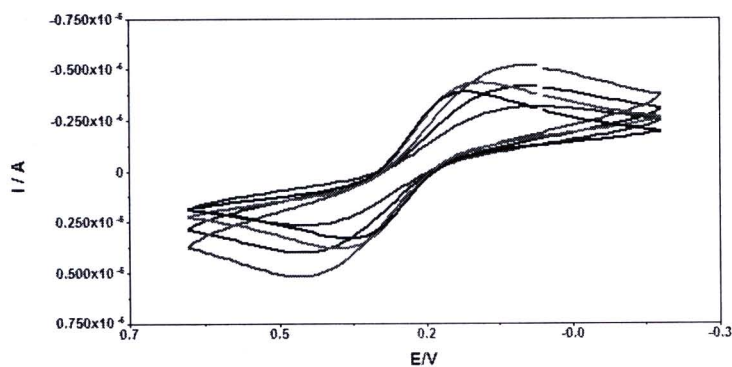
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ของกระแส oxidation (I_{pa}) และกระแส reduction (I_{pc}) ที่พบจากการวัดในแต่ ละรอบของการสแกนที่ 25, 50, 100, 150, และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ - / $K_3Fe(CN)_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อย เป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon ดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 80% deacetylation degree (chitosan 80DD)



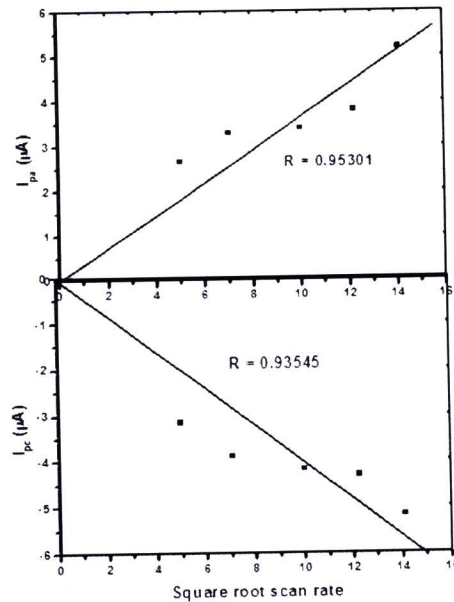
ภาพที่ 10 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาว ที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon ดัดแปลง ด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 85% deacetylation degree (chitosan 85DD) เมื่อทำการวัด กระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ - / $K_3Fe(CN)_6^{4-}$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



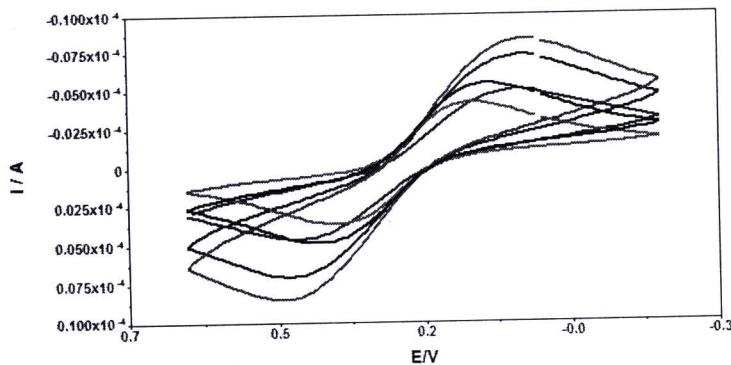
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ของกระแส oxidation (I_{pa}) และกระแส reduction (I_{pc}) ที่พบจากการวัดในแต่ละรอบของการสแกนที่ 25, 50, 100, 150, และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ / $K_3Fe(CN)_6$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรด glassy carbon ดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 90% deacetylation degree (chitosan 90DD)



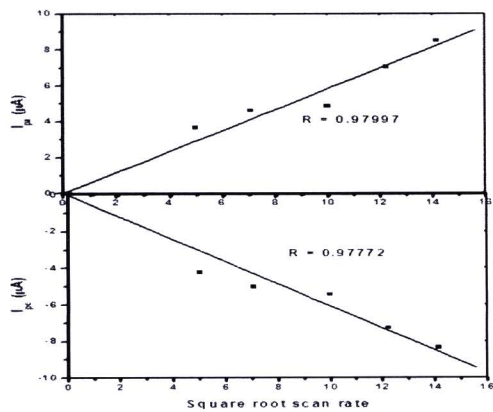
ภาพที่ 14 กราฟ cyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรด glassy carbon ดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 95% deacetylation degree (chitosan 95DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ / $K_3Fe(CN)_6$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ของกระแส oxidation (I_{pa}) และกระแส reduction (I_{pc}) ที่พบจากการวัดในแต่ละรอบของการสแกนที่ 25, 50, 100, 150, และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ / $K_3Fe(CN)_6$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon คัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 95% deacetylation degree (chitosan 80DD)



ภาพที่ 16 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon คัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด chitosan oligomer เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM $K_3Fe(CN)_6$ / $K_3Fe(CN)_6$ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



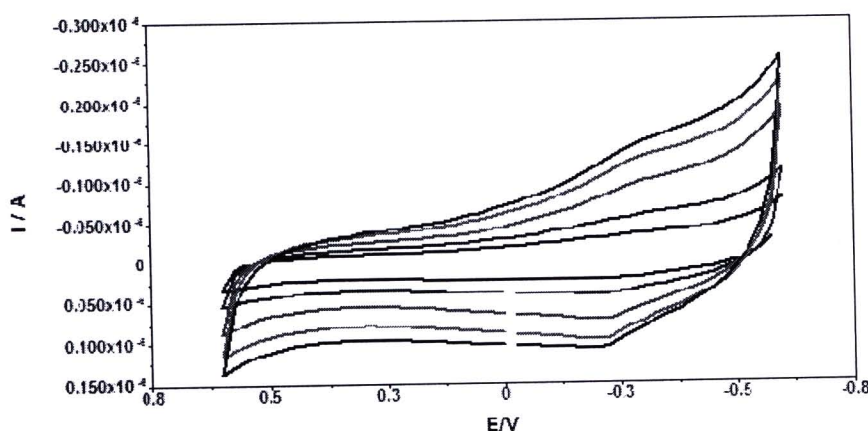
ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ของกระแส oxidation (I_{pa}) และกระแส reduction (I_{pc}) ที่พบจากการวัดในแต่
 ลรอบของการสแกนที่ 25, 50, 100, 150, และ 200 mV/s ในระบบสารละลาย 1.0 mM K₃Fe(CN)₆-
 / K₃Fe(CN)₆⁴⁻ ใน 0.1 M PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อย
 เป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μl จำนวน 2 μl บนอิเล็กโทรดglassy
 carbon คัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด chitosan oligomer

ตารางที่ 2 ค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี cyclic voltammetry (CV) ที่อัตรา
 การสแกน(scan rate) 100 mV/s ภายใต้ระบบสารละลาย 1.0 mM K₃Fe(CN)₆³⁻ / K₃Fe(CN)₆⁴⁻ ใน 0.1 M
 PBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C เมื่อทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อ
 ไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μl จำนวน 2 μl บนอิเล็กโทรดคัดแปลงที่มีการเคลือบด้วย
 สารชีวภาพไคโตซานรูปแบบต่างๆ

Electrode species	E _{pa} (V/SCE)	I _{pa} (μA)	E _{pc} (V/SCE)	I _{pc} (μA)	I _{pa} /I _{pc}	ΔE _p	ΔE _p /2
Gce-chitosan80DD- scwl dsDNA	0.4733	2.157	0.1007	-2.6953	0.8004	0.4633	0.2316
Gce-chitosan85DD- scwl dsDNA	0.4129	2.0758	0.01007	-2.7701	0.7494	0.4028	0.2014
Gce-chitosan90DD- scwl dsDNA	0.4431	2.2696	-0.02014	-2.9041	0.7815	0.4632	0.2115
Gce-chitosan95DD- scwl dsDNA	0.4028	2.6660	0.01007	-3.1448	0.8459	0.3928	0.1964
Gce-chitosan oligomer-scwl dsDNA	0.4129	4.6179	0.04028	-5.0049	0.9227	0.3726	0.1863

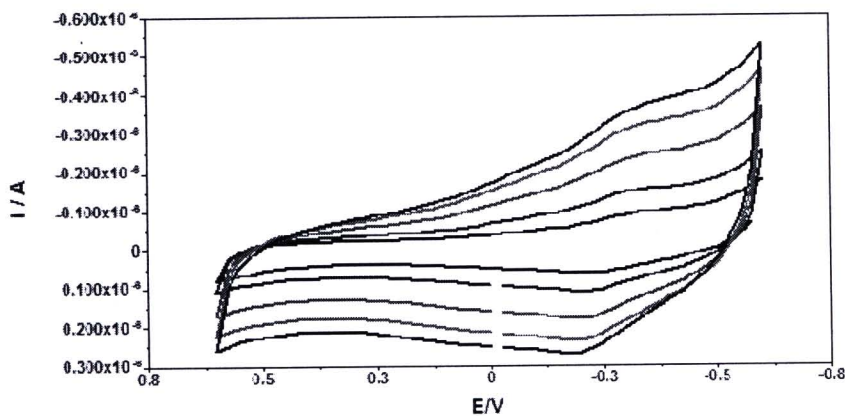
สมบัติทางเคมีไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่ดัดแปลงใน supporting electrolyte ที่เป็นสารละลายTBS

ในการตรวจวัดอิเล็กโทรดGCEและอิเล็กโทรดดัดแปลง chitosan-modified GCE ซึ่งเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิดต่างๆ ด้วยวิธีการวัด CV โดยใช้ supporting electrolyte ที่เป็นสารละลาย TBS pH 7.0 และการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s ได้ผลของค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและศักย์ไฟฟ้าดังภาพที่ 18-23 ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากอิเล็กโทรดGCEและอิเล็กโทรดดัดแปลง chitosan-modified GCE ด้วยการเคลือบสารไคโตซานชนิด 80, 85, 90, 95%DD และ chitosan oligomer ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ที่อัตราการสแกน 100 mV/s สามารถวัดได้ค่าดังข้อมูลในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าอิเล็กโทรดแต่ละชนิดให้ค่าศักย์ไฟฟ้า E ในระดับเดียวกัน ขณะที่ค่ากระแส I แตกต่างกันไป

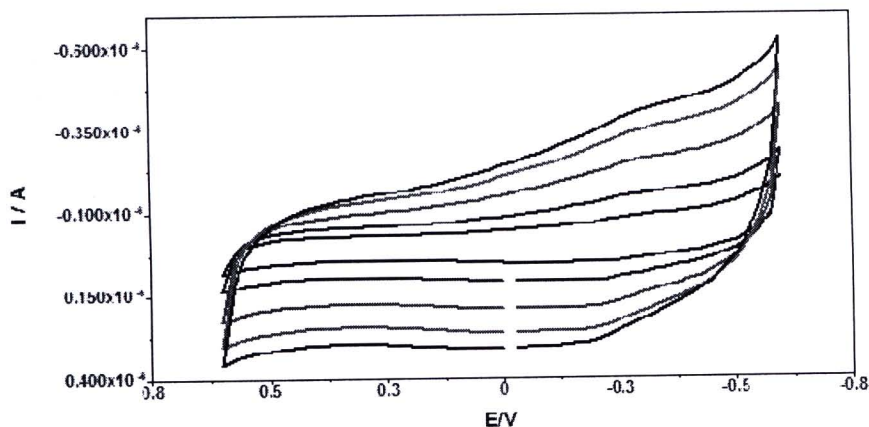


ภาพที่ 18 กราฟcyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ในสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C

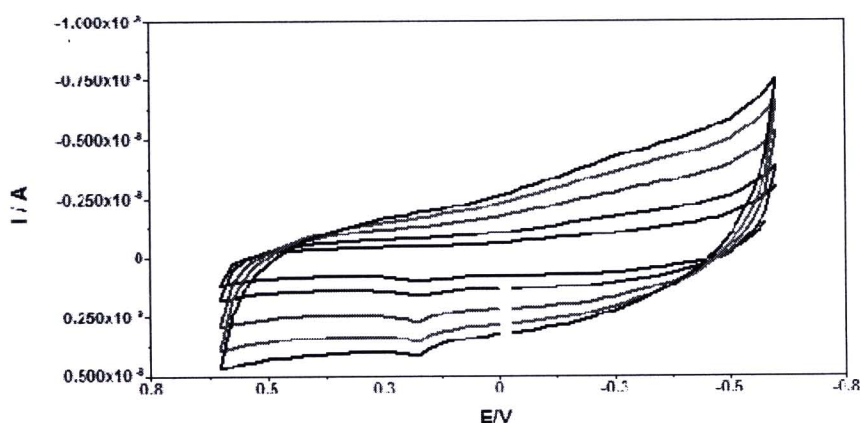




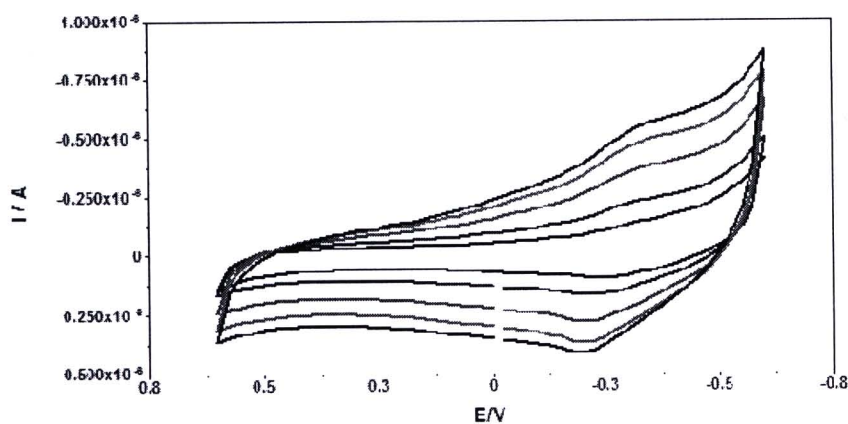
ภาพที่ 19 กราฟcyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด 80% deacetylation degree (chitosan 80DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ในสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



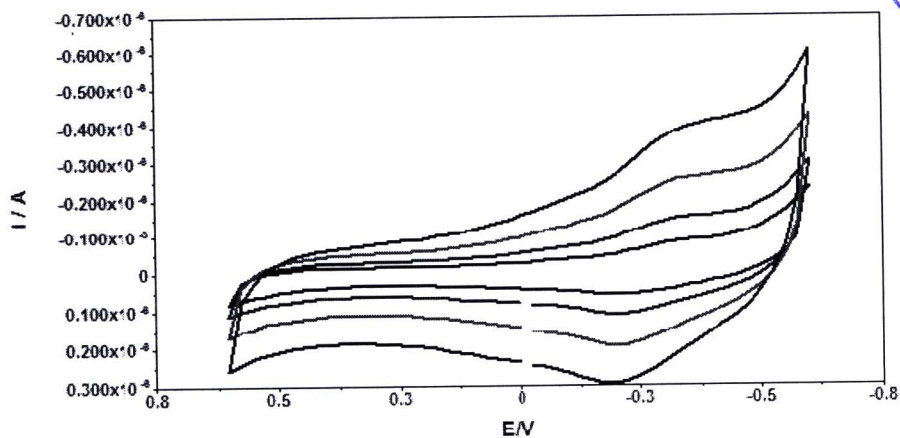
ภาพที่ 20 กราฟcyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด 85% deacetylation degree (chitosan 85DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ในสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



ภาพที่ 21 กราฟcyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด 90% deacetylation degree (chitosan 90DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ในสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



ภาพที่ 22 กราฟcyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด 95% deacetylation degree (chitosan 95DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ในสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



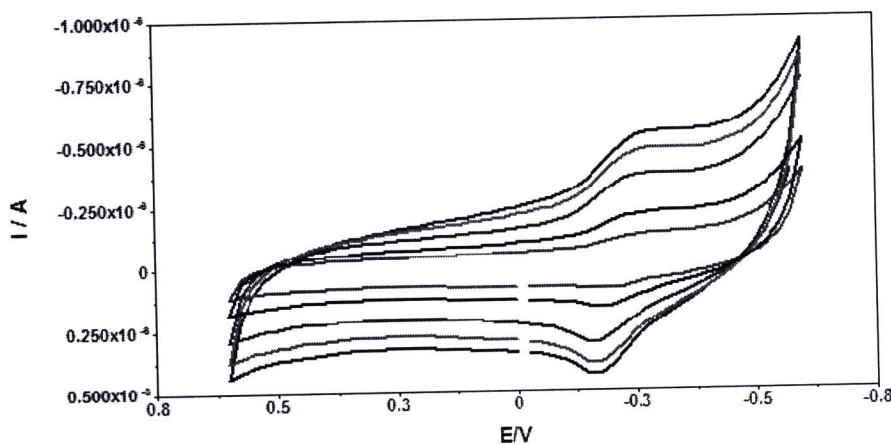
ภาพที่ 23 กราฟcyclic voltammogram ของ อิเล็กโทรดglassy carbon ที่เคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานชนิด chitosan oligomer เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ในสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C

ตารางที่ 3 ค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี cyclic voltammetry (CV) ที่อัตราการสแกน(scan rate) 100 mV/s ภายใต้ระบบการใช้สารดัชนี methylene blue ของปฏิกิริยา redox ในสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C จากการวัดอิเล็กโทรดชนิด glassy carbon (gce) และอิเล็กโทรดดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานรูปแบบต่างๆ

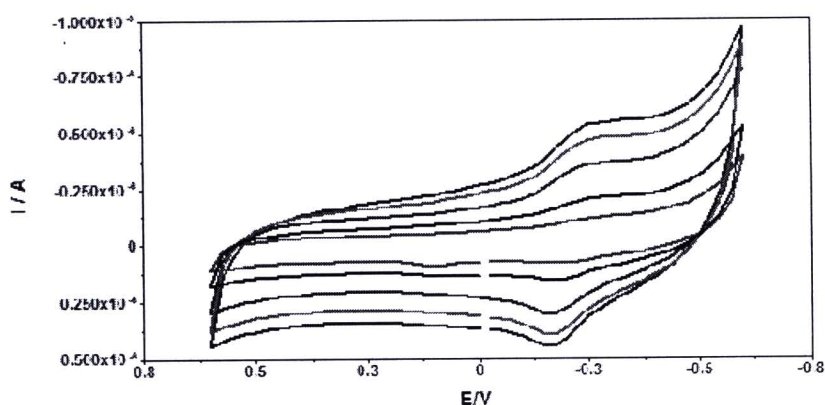
Electrode species	E_p (V/SCE)	I_p (μ A)	$\Delta E_p / 2$
Bare gce	-0.2002	0.0739	1.645
Gce-chitosan80DD	-0.2002	0.1799	1.584
Gce-chitosan85DD	-0.2502	0.1954	1.724
Gce-chitosan90DD	-0.2002	0.1947	1.631
Gce-chitosan95DD	+0.2002	0.2808	1.693
Gce-chitosan oligomer	-0.2002	0.1948	1.643

สมบัติทางเคมีไฟฟ้าของอิเล็กโทรดดัดแปลงที่มีการตรึงดีเอ็นเอในระบบ supporting electrolyte ที่เป็นสารละลายTBS

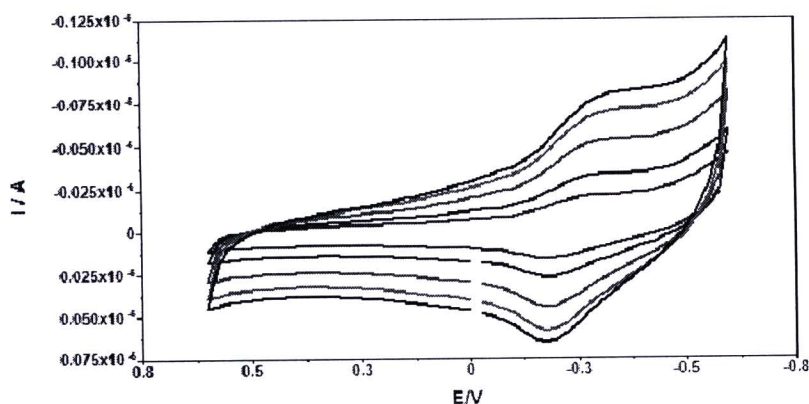
ในการติดตามตรวจสอบสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของ SCWL-DNA ที่ตรึงอยู่บนอิเล็กโทรดดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิดต่างๆ จากการติดฉลากดีเอ็นเอด้วยสาร methylene blue (MB) ซึ่งเป็นสารดัชนีปฏิกิริยา redox ของดีเอ็นเอ และวัดค่าทางเคมีไฟฟ้าด้วยวิธี CV ในระบบ supporting electrolyte ที่เป็นสารละลายTBS ทำให้ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและศักย์ไฟฟ้าง่ายภาพที่ 24-28 ซึ่งเป็นภาพที่ได้หลังการตรึง SCWL-DNA บนผิวหน้าขั้วอิเล็กโทรดดัดแปลง chitosan-modified GCE ด้วยการเคลือบสารไคโตซานชนิด 80, 85, 90, 95%DD และ chitosan oligomer ตามลำดับ ส่วนภาพที่ 29 เป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่อัตราการสแกน 100 mV/s และพบว่าการใช้ไคโตซานชนิด 80, 85, และ 90%DD ในการดัดแปลงอิเล็กโทรดเพื่อตรึงดีเอ็นเอ ให้ค่าสูงสุดของกระแส I ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งเดียวคือที่ตำแหน่ง -1.5015 หรือ -1.7517 ขณะที่การใช้ไคโตซานชนิด 95%DD และ chitosan oligomer ทำให้เกิดค่ากระแสสูงสุดจำนวน 2 ตำแหน่งของการเกิดปฏิกิริยา redox ที่ค่าศักย์ไฟฟ้า -1.5015 กับ -2.7527 และ -1.7517 กับ -2.7527 ตามลำดับ



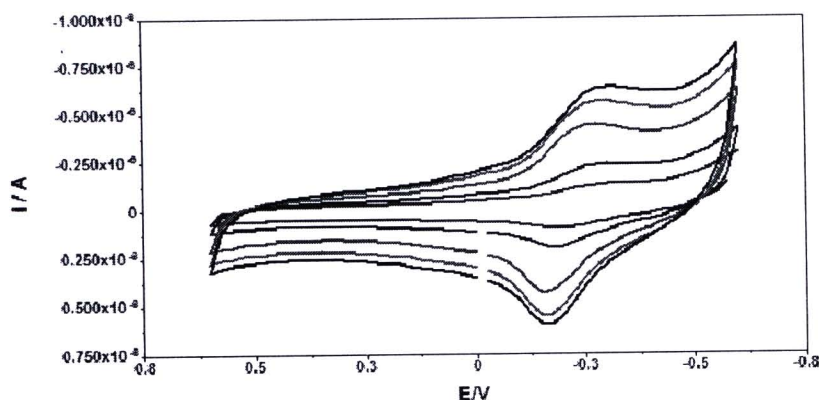
ภาพที่ 24 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon ดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 80% deacetylation degree (chitosan 80DD) เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ของดีเอ็นเอในระบบสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 °C



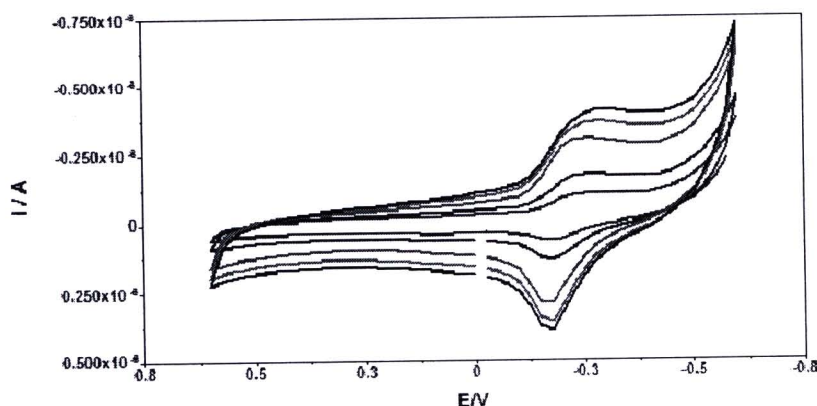
ภาพที่ 25 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาว ที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon ดัดแปลง ด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 85% deacetylation degree (chitosan 85DD) เมื่อทำการวัด กระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ของดีเอ็นเอในระบบสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$ C



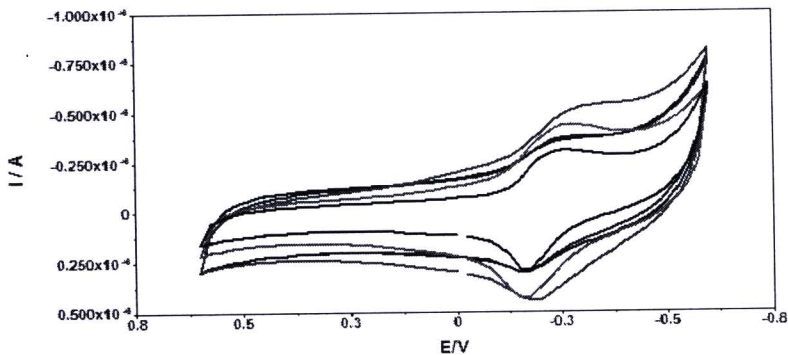
ภาพที่ 26 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาว ที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon ดัดแปลง ด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 90% deacetylation degree (chitosan 90DD) เมื่อทำการวัด กระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ของดีเอ็นเอในระบบสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$ C



ภาพที่ 27 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาว ที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon คัดแปลง ด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด 95% deacetylation degree (chitosan 95DD) เมื่อทำการวัด กระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ของดีเอ็นเอในระบบสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$ C



ภาพที่ 28 กราฟcyclic voltammogram ที่ได้หลังจากทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาว ที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรดglassy carbon คัดแปลง ด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิด chitosan oligomer เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ ระดับการสแกนอัตรา 25, 50, 100, 150 และ 200 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของ ปฏิกิริยา redox ของดีเอ็นเอในระบบสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}$ C



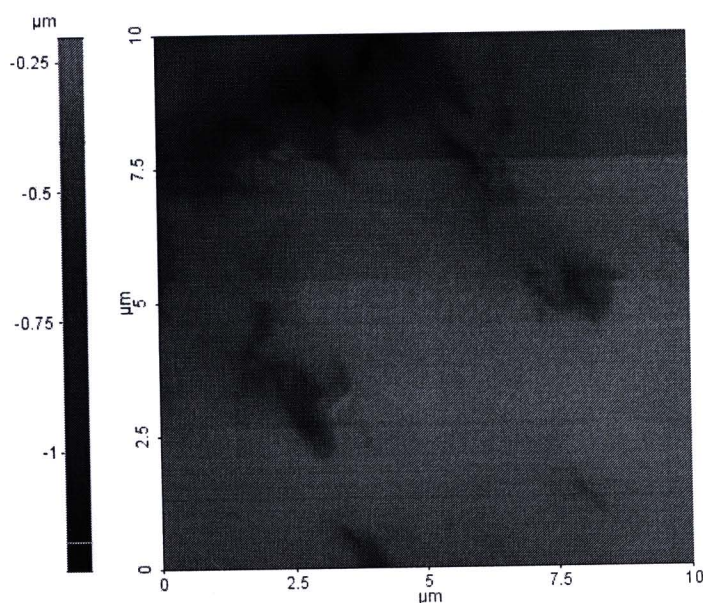
ภาพที่ 29 กราฟcyclic voltammogram เปรียบเทียบระหว่างการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μl จำนวน 2 μl บนอิเล็กโทรดglassy carbon คัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพไคโตซานชนิดต่างๆ เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่ระดับการสแกนอัตรา 100 mV/s โดยใช้สาร methylene blue เป็นดัชนีของปฏิกิริยา redox ของดีเอ็นเอในระบบสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 4 ค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี cyclic voltammetry (CV) ที่อัตราการสแกน(scan rate) 100 mV/s จากการใช้สารดัชนี methylene blue ของปฏิกิริยา redox ของดีเอ็นเอในระบบสารละลาย 20 mM TBS ที่ pH 7.0 ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}\text{C}$ เมื่อทำการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μl จำนวน 2 μl บนอิเล็กโทรดคัดแปลงที่มีการเคลือบด้วยสารชีวภาพไคโตซานรูปแบบต่างๆ

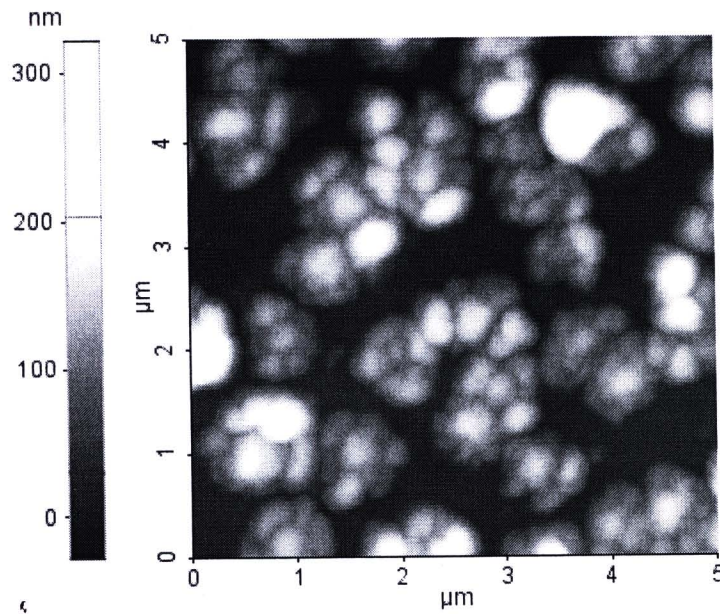
Electrode species	E_{p1} (V/SCE)	I_{p1} (μA)	E_{p2} (V/SCE)	I_{p2} (μA)	I_{p1}/I_{p2}	ΔE_p	$\Delta E_p/2$
Gce-chitosan80DD-scw1 dsDNA	-1.5015	0.3063	-	-	-	-	1.302
Gce-chitosan85DD-scw1 dsDNA	-1.5015	0.3039	-	-	-	-	1.302
Gce-chitosan90DD-scw1 dsDNA	-1.7517	0.4474	-	-	-	-	1.626
Gce-chitosan95DD-scw1 dsDNA	-1.5015	0.4330	-2.7527	-0.4376	0.9897	-4.2539	2.1269
Gce-chitosan oligomer- scw1 dsDNA	-1.7517	0.2933	-2.7527	-0.3031	0.9678	-4.5044	2.2522

การตรวจสอบพื้นผิวขั้วอิเล็กโทรดและผลการตรึงดีเอ็นเอด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม

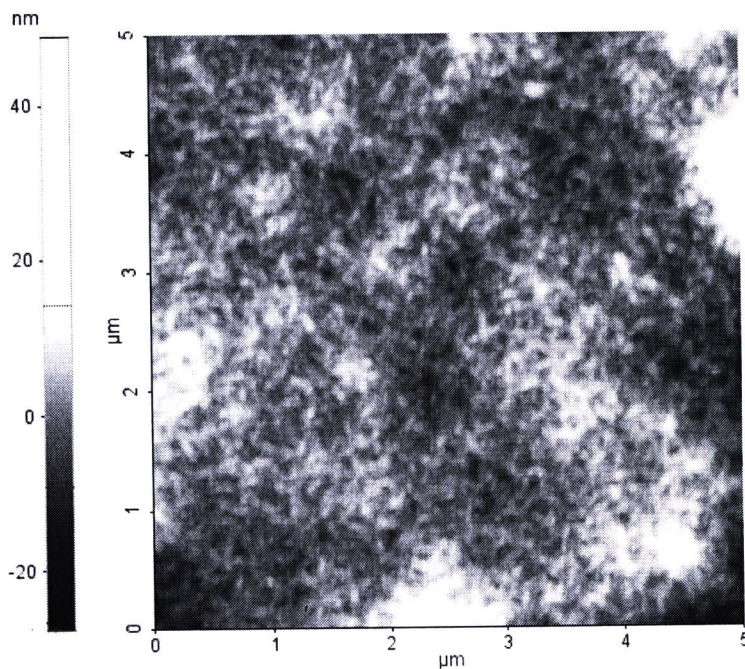
จากการใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope) ตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวในระดับจุลภาคหรือระดับนาโนภาค ของพื้นผิวขั้ว glassy carbon และฟิล์มบางไคโตซานแต่ละชนิดที่เคลือบเพื่อสร้างอิเล็กโทรดดัดแปลงสำหรับการตรึงดีเอ็นเอ พบว่ามีพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละชุด ดังภาพที่ 30 เป็นภาพที่ได้จากการตรวจพื้นผิวหน้าขั้ว GCE ปกติ ภาพที่ 31 เป็นภาพที่ได้จากการตรวจพื้นผิวของฟิล์มบางไคโตซานชนิด 80 และ 85 %DD ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และภาพที่ 32 เป็นภาพจากการตรวจสอบฟิล์มบางไคโตซานชนิด 90, 95 %DD และ chitosan oligomer ที่มีลักษณะของชุดโครงสร้างอีกแบบหนึ่ง สำหรับการตรวจสอบผลการตรึงดีเอ็นเอ SCWL-DNA บนพื้นผิวหน้าขั้วฟิล์มบาง พบว่าสารชีวภาพไคโตซานทุกชนิดสามารถตรึงดีเอ็นเอได้เป็นอย่างดี ดังปรากฏในภาพที่ 33 ซึ่งตรวจพบ SCWL-DNA ถูกตรึงอยู่บนพื้นผิวหน้าฟิล์มบางไคโตซานที่ทดสอบ



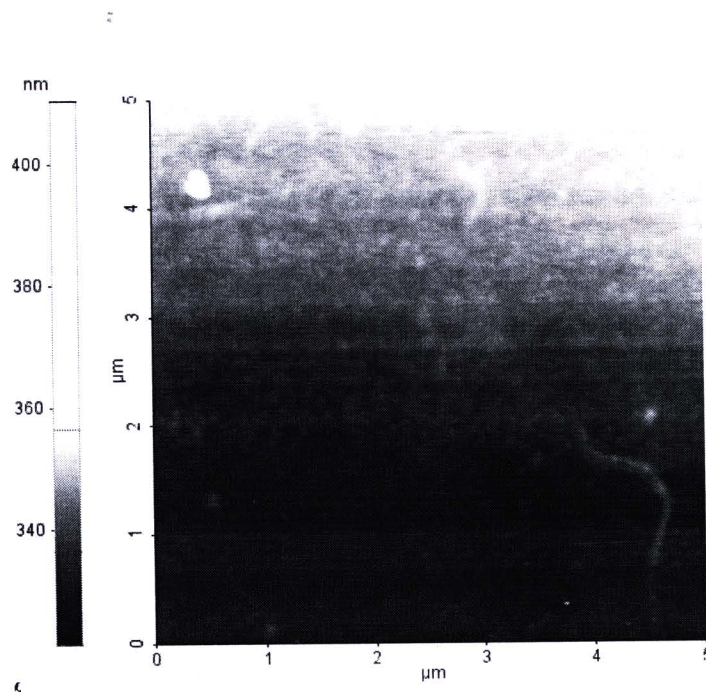
ภาพที่ 30 ผลการตรวจพื้นผิวเปลือยของอิเล็กโทรดที่เป็น glassy carbon electrode ก่อนปรับพื้นผิวหน้าภายใต้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope)



ภาพที่ 31 ผลการตรวจสอบพื้นผิวหน้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ปรับผิวหน้าด้วยการเคลือบสารโพลิเมอร์ไคโตซานในรูปที่มีการลดระดับอะเซทิล 80-85% ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope)



ภาพที่ 32 ผลการตรวจสอบพื้นผิวหน้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ปรับผิวหน้าด้วยการเคลือบด้วยสารโพลิเมอร์ไคโตซานในรูปที่มีการลดระดับอะเซทิล 90-95% และ chitosan oligomer ด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope)



ภาพที่ 33 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic force microscope) ที่บ่งชี้ความสำเร็จของการตรึงดีเอ็นเอที่สกัดจากอ้อยเป็นโรคใบขาวที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาความเข้มข้น 50 ng/ μ l จำนวน 2 μ l บนอิเล็กโทรด glassy carbon ดัดแปลงด้วยการเคลือบสารชีวภาพโคโคซานบนผิวหน้า

วิจารณ์

จากการสำรวจพื้นที่การเพาะปลูกอ้อยในเขตจังหวัดขอนแก่น จังหวัดชัยภูมิ และจังหวัดอุดรธานี ระหว่างปี พ.ศ. 2550-2553 สามารถพบการระบาดของโรคใบขาวของอ้อยที่เกิดจากเชื้อไฟโตพลาสมาในทุกพื้นที่ แม้ว่าได้มีความพยายามรณรงค์ขอความร่วมมือจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ให้ช่วยดำเนินการป้องกันกำจัดโรคนี้ ซึ่งเป็นโรคที่ก่อให้เกิดความเสียหายและมีความสำคัญเป็นอันดับหนึ่งของอุตสาหกรรมการผลิตอ้อยของประเทศไทยมาตลอดระยะเวลาหลายสิบปีมานี้ก็ตาม (พรทิพย์, 2542ก,ข; 2544; พรทิพย์และคณะ, 2542; 31. Wongkaew and Fletcher, 2004) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการเกิดโรคอย่างเรื้อรังและสะสมมานานปี ขาดการดูแลสุขภาพใบพื้นที่อย่างจริงจัง ขาดแคลนท่อนพันธุ์ดีที่ปลอดโรค รวมทั้งวิธีการตรวจสอบภาวะการติดเชื้อที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในเชิงปฏิบัติ สำหรับการตรวจเก็บตัวอย่างต้นอ้อยเป็นโรคใบขาว เพื่อทำการสกัดดีเอ็นเอต้นแบบของการวิจัย ได้กำหนดจากแปลงอ้อยของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี เนื่องจากเป็นเขตที่มีการระบาดของโรคอย่างซ้ำซากตลอดมา ทำให้ได้ตัวอย่างต้นอ้อยที่เกิดอาการโรคชัดเจน เมื่อนำมาทำการสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าการสกัดด้วยวิธี Ctab-phenol-chloroform extraction ยังเป็นวิธีที่ให้ ดีเอ็นเอ บริสุทธิ์สูงกว่าวิธีอื่นๆ คือได้ดีเอ็นเอ ที่มีค่า A260/A280 เท่ากับ 1.8-1.9 ทั้งนี้อาจเนื่องจากเป็นวิธีที่มีการคัดกรองหลายขั้นตอนในกระบวนการสกัด (Kollar et al, 1990)

เมื่อทำการตรวจสอบด้วยวิธีการทางเคมีไฟฟ้า เพื่อพิสูจน์คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของฟิล์มโพลิเมอร์จากสารชีวภาพไคโตซานจำนวน 5 ชนิดรูปแบบคือ 80, 85, 90, 95 %DD และ chitosan oligomer ที่คาดว่าสามารถนำมาใช้ในการสร้างดีเอ็นเอเซนเซอร์ได้ตามจุดประสงค์ โดยตรวจสอบเปรียบเทียบกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น หรือเปลี่ยนแปลงไปจากที่พบในการวัดอิเล็กโทรดปกติ ซึ่งในกรณีนี้ได้ทดสอบกับอิเล็กโทรดชนิดที่เป็นคาร์บอนแก้วหรือ glassy carbon electrode (GCE) ที่ได้รับความนิยมและยอมรับอย่างปราศจากเงื่อนไข สำหรับการใช้งานตรวจวัดด้วยความไวสูงในกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า(Cai et al., 1996; Pedano and Rivas, 2005) พบว่าอิเล็กโทรด GCE ที่ได้รับการเคลือบด้วยฟิล์มไคโตซานแต่ละชนิดทดสอบ มีความสามารถในการนำไฟฟ้า และก่อให้เกิดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าปริมาณได้อย่างชัดเจน ตามลักษณะเฉพาะตัวของไคโตซานแต่ละชนิดที่ให้กระแสไฟฟ้าแบบ diffusion จากการวัดในอิเล็กโทรดโพลีโพรพิลีนที่ตรวจสอบด้วยวิธี cyclic voltammetry (CV) ดังผลการตรวจสอบในตารางที่ 1 และกราฟของกระแสกับศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในภาพที่ 1-6 อีกทั้งอิเล็กโทรด GCE ที่มีการดัดแปลงด้วยการเคลือบฟิล์มไคโตซานแต่ละชนิดดังกล่าว ยังมีความเสถียรสูงมาก พิสูจน์ได้จากการวิเคราะห์ผลความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง (linear regression analysis) ระหว่างกระแส (I) กับศักย์ไฟฟ้า (E) ที่ปรากฏขึ้นหลังจากการสแกนที่อัตรา 100 mV/s ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Xu, et al. (2001) และ Liu and Hu (2007) ที่ได้เคยทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของไคโตซานชนิด chitosan oligomer ว่ามีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดี

ในการทดลองตรึงดีเอ็นเอที่สกัดได้จากอ้อยเป็นโรคใบขาว (SCWL-DNA) บนอิเล็กโทรด GCE ดัดแปลงซึ่งมีการเคลือบฟิล์มโพลิเมอร์ไคโตซานแต่ละชนิดต่าง ๆ นั้น พบว่าสามารถทำการตรึง SCWL-DNA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับกระแสและศักย์ไฟฟ้า ที่สามารถวัดปริมาณเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน จากผลการตรวจสอบด้วยวิธี CV ในเซลล์ไฟฟ้าที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของ ferri-ferro ion ดังผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2 และกราฟ CV ในภาพที่ 8-17 และในทำนองเดียวกันเมื่อทำการตรวจวัดอิเล็กโทรดดัดแปลงแต่ละชนิดดังกล่าว ในระบบที่ใช้ TBS pH 7.0 เป็น supporting electrolyte และการสแกนในอัตราต่างๆตั้งแต่ระดับ 25-200 mV/s ก็พบการเกิดกระแสและความมีเสถียรภาพในการยึดเกาะของฟิล์มโพลิเมอร์ไคโตซานชนิดต่างๆ กับพื้นผิวขั้วอิเล็กโทรด GCE ดังผลสรุปในตารางที่ 3 และกราฟ CV ในภาพที่ 18-23 และหลังการทดลองตรึง SCWL-DNA ที่มีการติดฉลากดีเอ็นเอด้วย methylene blue (MB) ซึ่งใช้เป็นดัชนีในการติดตามประเมินผลปฏิกิริยา redox ของ SCWL-DNA ที่เกิดขึ้นในเซลล์ไฟฟ้าที่มี TBS pH 7.0 เป็น supporting electrolyte พบว่ามีการเกิดกระแสและศักย์ไฟฟ้างดสรุปในตารางที่ 4 และกราฟในภาพที่ 24-29 ซึ่งมีค่าสูงสุดของกระแสหมุนเวียนทั้งด้านบวกและด้านลบ อย่างเฉพาะตัวตามชนิดของฟิล์มไคโตซาน โดยฟิล์มจากโพลิเมอร์ไคโตซานชนิด 80, 85 และ 90 %DD ให้ค่าสูงสุดของกระแส I ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าเพียงตำแหน่งเดียวที่ E เท่ากับ -1.5015 หรือ -1.7517 V/SCE ขณะที่ฟิล์มจากโพลิเมอร์ไคโตซานชนิด 95 %DD และ chitosan oligomer ให้ค่าสูงสุดของกระแสถึงสองตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าคือที่ E เท่ากับ -