

การพัฒนาแผ่นแปะตรวจวัดระดับน้ำตาล โดยอาศัยหลักการการทำปฏิกิริยาระหว่างสารเปลี่ยนสี
Tetramethylbenzidine กับ Hydrogen peroxide ซึ่งได้มาจาก Glucose Oxidase
ทำปฏิกิริยากับกลูโคสในเหงื่อ เพื่อการตรวจวัดแบบไม่ต้องเจาะเลือด
Development of a glucose monitoring patch based on the reaction principle
between Tetramethylbenzidine and Hydrogen peroxide, which is derived from
Glucose Oxidase, reacting with glucose in sweat for non-blood sampling
measurement.

กชกร พันโนน รัตนมน สายแก้ว

มินตรา สุขสำราญ¹ ณัฐพัชร เพ็ชรศรีกุล²

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เลย์, ตำบลธาตุ, อำเภอเชียงคาน, จังหวัดเลย 42110, ประเทศไทย

*E-mail: rattanamon05602@pcshsloe.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาแผ่นแปะตรวจวัดระดับน้ำตาลจากเหงื่อ โดยอาศัยหลักการการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างเอนไซม์ Glucose Oxidase และสารเปลี่ยนสี Tetramethylbenzidine ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับกลูโคสในเหงื่อและเกิดการเปลี่ยนสีผ่านการสร้าง Hydrogen peroxide โดยการเปลี่ยนสีนี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับน้ำตาลในร่างกายได้โดยไม่ต้องเจาะเลือด โครงการนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่อพัฒนาแผ่นแปะตรวจวัดระดับน้ำตาลจากเหงื่อ โดยใช้ เอนไซม์ Glucose Oxidase และ Tetramethylbenzidine เป็นสารเปลี่ยนสี และ (2) เพื่อศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง สารเปลี่ยนสี Tetramethylbenzidine กับ Hydrogen peroxide ซึ่งได้มาจาก Glucose Oxidase การศึกษานี้ดำเนินการโดยการเตรียมแผ่นแปะด้วยการเคลือบเอนไซม์ Glucose Oxidase และสาร Tetramethylbenzidine จากนั้นทดสอบกับสารละลายเหงื่อจำลองที่มีความเข้มข้นของ กลูโคสที่ต่างกัน เพื่อสังเกตการเปลี่ยนสีที่เกิดขึ้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นแปะที่พัฒนาขึ้น สามารถตอบสนองต่อระดับกลูโคส ในเหงื่อได้อย่างชัดเจน โดยมีการเปลี่ยนสีที่สอดคล้องกับความเข้มข้นของน้ำตาลในตัวอย่างทดสอบ อีกทั้งยังสามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ได้จากสาร Hydrogen peroxide มาตรฐาน สรุปได้ว่าแผ่นแปะตรวจวัดระดับน้ำตาลจากเหงื่อที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถใช้เป็นเครื่องมือทางเลือกในการตรวจวัดระดับน้ำตาลในร่างกายได้

คำสำคัญ: แผ่นแปะตรวจวัดระดับน้ำตาล, Hydrogen peroxide, Glucose Oxidase, Tetramethylbenzidine

1. บทนำ

ปัจจุบันโรคเบาหวาน เป็นโรคเรื้อรังที่ไม่ติดต่อ ซึ่งนับวันจะยิ่งเพิ่มความรุนแรงมากขึ้น เป็นปัญหาทาง สาธารณสุขระดับโลกและระดับประเทศไทยจะเห็นได้จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (WHO) ค.ศ. 2003 พบว่าทั่วโลกมีผู้ป่วยด้วย

โรคเบาหวาน จำนวน 171 ล้านคน และคาดว่าจะในปี ค.ศ. 2030 จำนวนผู้ป่วยเบาหวาน ทั่วโลกจะสูง ถึง 366 ล้านคน (Wild, et al.2004) โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่มีอุบัติการณ์เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุ สาเหตุการเกิดโรคเบาหวาน เกิดได้หลายปัจจัยที่สำคัญ คือ สาเหตุจากกรรมพันธุ์ และความอ้วน ปัจจัยเสริมที่ทำให้เสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานมากขึ้นได้แก่ผู้ที่

ภาวะความดันโลหิตสูง ไชมันในเส้นเลือดสูง การใช้ยาส
เตียรอยด์อย่างไม่ถูกวิธี การละเลยต่อภาวะการเป็น
โรคเบาหวาน ไม่ปรึกษา หรือรักษาไม่ถูกวิธี การดูแล
ตนเองไม่เหมาะสมด้านต่างๆ เช่น การรับประทานอาหาร
อาหาร การออกกำลังกาย การใช้ยาการรักษาต่อเนื่อง
จะส่งผล ทำให้มีภาวะแทรกซ้อนตามมา ได้แก่
โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคไต เบาหวานขึ้นตา แผลที่
เท้า ต้องใช้ เวลา รักษาที่ต่อเนื่อง และยาวนาน นับเป็น
ปัญหาสำคัญด้านสาธารณสุขทั่วโลกในปัจจุบัน รวมทั้ง
ประเทศไทย (สุปรียา เสียงดัง, 2560) ซึ่งแสดงให้เห็น
ว่าโรคนี้เป็นปัญหาสุขภาพที่ต้องได้รับความใส่ใจอย่าง
เร่งด่วน การตรวจวัดระดับน้ำตาลในเลือดเป็นสิ่งสำคัญ
สำหรับผู้ป่วยเบาหวาน เนื่องจากช่วยให้สามารถติดตาม
ระดับน้ำตาลและควบคุมโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ
โดยในปัจจุบันวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือการเจาะ
เลือดเพื่อนำมาตรวจวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามจากการ
สังเกตที่ผ่านมาพบว่าผู้ป่วย ไม่สามารถควบคุมระดับ
น้ำตาลให้ได้ตาม เกณฑ์ การรักษาและบ่อยครั้งแพทย์ผู้
รักษาส่งต่อผู้ป่วยให้ รับการประเมินการตรวจระดับ
น้ำตาลในเลือดด้วย ตนเองซ้ำกับพยาบาลผู้มีความ
ชำนาญเฉพาะด้าน โรคเบาหวาน ซึ่งพบว่าผู้ป่วยมีการ
ประเมิน การตรวจระดับ น้ำตาลในเลือดด้วยตนเอง ไม่
ถูกต้อง เช่น การไม่เลือกเจาะเลือดที่ปลายนิ้ว รวมทั้ง
ไม่ทราบระดับการตั้งความลึก ของเข็มที่ใช้ เจาะเลือด
ลึ่ววิธีการตรวจระดับน้ำตาลในเลือด(น้ำเพชร สายบัว
ทอง,สิริรัตน์ สีสจรัส,2564) นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยง
ต่อการติดเชื้อและต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะ เช่น เข็มเจาะ
เลือดและแถบทดสอบ ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้จัดทำจึงได้
มีการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวัดระดับน้ำตาลโดยไม่
ต้องเจาะเลือด ซึ่ง เป็นทางเลือกที่สะดวกและลดความ
เจ็บปวดให้กับผู้ป่วยได้ และอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ
คือ การตรวจวัดระดับ น้ำตาลจากเหงื่อ โดยจาก
งานวิจัย ได้กล่าวว่า ระดับกลูโคสในเหงื่อมี
ความสัมพันธ์กับระดับกลูโคสในเลือด โดยเฉพาะภายใต้
เงื่อนไขควบคุม เช่น ขณะทำกิจกรรมหรือหลังการ
รับประทานอาหาร นักวิจัยสามารถตรวจวัด การ

เปลี่ยนแปลงของกลูโคสในเหงื่อที่แปรผันตามระดับ
กลูโคสในเลือดได้แบบเรียลไทม์ด้วยเซ็นเซอร์สวมใส่ ซึ่ง
ยืนยันศักยภาพของเหงื่อในฐานะตัวชี้วัดระดับน้ำตาล
ในร่างกายได้อย่างแม่นยำ (Gao et al., 2016)

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายจำลองเหงื่อ

การเตรียมสารละลายเหงื่อจำลองดัดแปลง
จากวิธี การของ Liu et al. (2019–2020) โดยชั่ง
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.25 กรัม โพแทสเซียมคลอ
ไรด์ (KCl) 0.05 กรัม กรดแลกติก (Lactic acid) 0.01
กรัม และยูเรีย (Urea) 0.10 กรัม จากนั้นละลายสาร
ทั้งหมดในน้ำกลั่นปริมาตร 500 mL และคนให้เป็นเนื้อ
เดียวกัน ก่อนแบ่งสารละลายเหงื่อจำลองลงในบีกเกอร์
ขนาด 100 mL จำนวน 6 ใบ ใบละ 100 mL จากนั้น
เติมกลูโคส (Glucose) ลงในสารละลายเหงื่อจำลองแต่
ละบีกเกอร์ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 0.06, 0.08,
0.12, 0.16, 0.18 และ 0.20 mM ตามลำดับ พร้อมทั้ง
เตรียมสารละลายเหงื่อจำลองที่ไม่เติมกลูโคสอีก 1 ชุด
เพื่อใช้เป็นสารละลายควบคุม (blank) โดยความเข้มข้น
ของกลูโคสในเหงื่อจำลองดัดแปลงจากรายงานของ
Elena V. Karpova et al. (2019)

2.2 ขั้นตอนการเตรียมสารตรวจวัดระดับน้ำตาล

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ สารละลาย
เอนไซม์ และสารละลาย TMB ดัดแปลงจากวิธีการของ
Yuye Chen et al. (2019) โดยเริ่มจากการเตรียม
สารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ (Acetate buffer) ด้วย
การละลาย Sodium acetate 0.027 กรัม ในน้ำกลั่น
และปรับปริมาตรเป็น 80 mL จากนั้นปรับค่า pH ของ
สารละลายให้เท่ากับ 3.6 โดยเติม Acetic acid และ
ตรวจวัดค่าด้วยเครื่องวัด pH (pH meter) จากนั้น
เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate
buffer) เตรียมโดยละลาย Sodium dihydrogen
phosphate (NaH_2PO_4) 1.38 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับ
ปริมาตรเป็น 100 mL จากนั้นเติม Disodium

hydrogen phosphate (Na_2HPO_4) เพื่อปรับค่า pH ของสารละลายให้เท่ากับ 7.0 โดยตรวจวัดด้วยเครื่องวัด pH ต่อมาเตรียมสารละลายเอนไซม์ Papain เตรียมโดยละลาย Papain 0.10 กรัม ในสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ปริมาตร 1 mL เพื่อเตรียมเป็นสารละลายตั้งต้น (Papain stock solution) จากนั้นนำสารละลายตั้งต้นปริมาตร 100 μL ไปเจือจางด้วยสารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์จนมีปริมาตรรวม 10 mL เพื่อให้ได้สารละลาย Papain ความเข้มข้น 1 mg/mL จากนั้นเตรียมสารละลาย 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidine (TMB) เตรียมโดยละลาย 3,3',5,5'-Tetramethylbenzidine (TMB) 0.012 กรัม ในเอทานอลปริมาตร 10 mL และคนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเตรียมสารละลายเอนไซม์ Glucose oxidase (GOx) เตรียมโดยละลาย Glucose oxidase (GOx) 0.30 กรัม ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปริมาตร 10 mL เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.3 ขั้นตอนการบ่มปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเหืองจำลองกับเอนไซม์ Glucose Oxidase เพื่อให้เกิด Hydrogen peroxide ในอุณหภูมิที่เหมาะสม

สารละลายเอนไซม์ Glucose Oxidase ที่เตรียมไว้ปริมาตร 1 mL ถูกผสมกับสารละลายเหืองจำลองที่มีกลูโคสความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 0.06, 0.08, 0.12, 0.16, 0.18 และ 0.20 mM ปริมาตร 1 mL ในหลอดทดลองแต่ละหลอด จากนั้นนำหลอดทดลองทั้งหมดไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที เพื่อให้เอนไซม์ Glucose Oxidase ทำปฏิกิริยากับกลูโคสและเกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) ก่อนนำสารละลายที่ได้ไปใช้ในการทดสอบการเปลี่ยนสีในขั้นตอนถัดไป

2.4 ขั้นตอนการทดสอบการเปลี่ยนสี

หลังจากบ่มสารละลายผสมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสจนครบเวลาที่กำหนดแล้ว เติม

สารละลายอะซิเตตบัฟเฟอร์ปริมาตร 6.94 mL สารละลาย TMB ปริมาตร 0.78 mL และสารละลาย Papain ปริมาตร 780 μL ลงในหลอดทดลอง จากนั้นผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันและนำหลอดทดลองไปบ่มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสี เมื่อครบเวลาบ่ม นำหลอดทดลองไปหยุดปฏิกิริยาโดยแช่ในอ่างน้ำเย็นเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องจนไม่มีไอน้ำเกาะรอบหลอดทดลอง ก่อนนำไปวิเคราะห์ผลในขั้นตอนถัดไป

2.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปไฮโดรเจล

การเตรียมแผ่นไฮโดรเจลดัดแปลงจากวิธีการของชนกสุตา (2567) โดยเริ่มจากเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) ความเข้มข้น 19% (w/v) ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 mL และกวนสารละลายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นพักสารละลายไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเย็นลง แล้วเตรียมสารละลายไคโตซาน (Chitosan) ความเข้มข้น 3% (w/v) ในสารละลายกรดแอสติคความเข้มข้น 1% (v/v) ปริมาตร 50 mL ก่อนเทสารละลายไคโตซานลงในสารละลาย PVA และกวนให้เข้ากันจนได้สารละลายผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทสารละลายผสมลงในแม่พิมพ์ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนได้แผ่นไฮโดรเจลแห้ง เมื่อแผ่นไฮโดรเจลแห้งสมบูรณ์แล้ว จึงเคลือบสารตรวจวัดระดับน้ำตาลที่เตรียมไว้ลงบนแผ่นไฮโดรเจลเพื่อใช้เป็นแผ่นตรวจวัดระดับน้ำตาลสำหรับการทดลองในขั้นตอนถัดไป

2.6 การทดสอบการทำงานของแผ่นแปะ

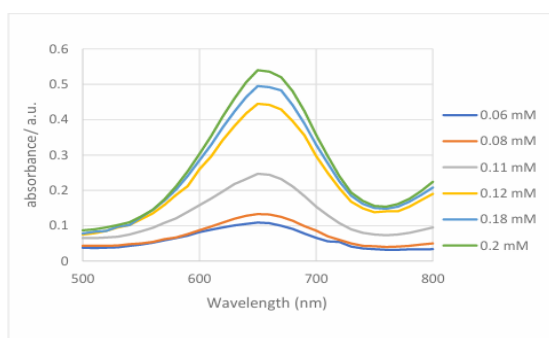
ทำการหยดสารละลายเหืองจำลองที่มีความเข้มข้นของกลูโคสแตกต่างกันลงบนแผ่นไฮโดรเจลที่เคลือบสารตรวจวัดระดับน้ำตาล จากนั้นสังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น

ของกลูโคสกับการตอบสนองของแผ่นตรวจวัดใน
ขั้นตอนถัดไป

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทำปฏิกิริยาระหว่างสารตรวจวัด กับน้ำตาลกลูโคสในสารละลายเหลืองจาง

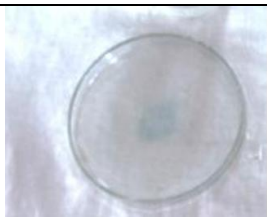
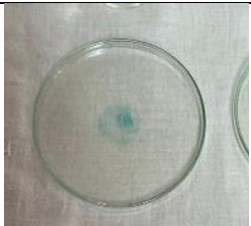
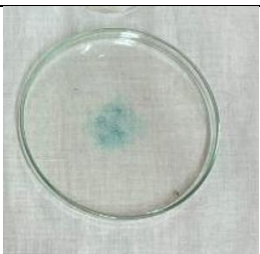
รูปที่ 1 แผนภูมิเส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสง (UV-Vis)
ของสารตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 500–800 นาโน
เมตร ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (0.06–0.20 mM)



ผลการทดลองจากกราฟ แสดงให้เห็นว่าค่า
การดูดกลืนแสงสูงสุด (absorbance maximum)
ปรากฏในช่วงประมาณ 650–670 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อ
พิจารณาที่ความยาวคลื่นดังกล่าว พบว่าการ ดูดกลืน
แสงมีค่า เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารอย่างชัดเจน
โดยสารที่มีความเข้มข้น 0.20 mM ให้ค่า การดูดกลืน
แสงสูงสุด ในขณะที่ความเข้มข้น 0.06 mM ให้ค่าการ
ดูดกลืนแสงต่ำสุด 16 ทำให้เห็นว่าเมื่อกลูโคสมีความ
เข้มข้นสูงขึ้น สีที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มมากขึ้น ผลการ
ทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวก
ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสกับความเข้มของสีที่
เกิดจากปฏิกิริยา

3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่น แปะในการตรวจวัดระดับน้ำตาล

ตารางที่ 1 ตารางผลการทำปฏิกิริยาระหว่างสาร
เปลี่ยนสีกับน้ำตาลกลูโคสในสารละลายจางเหลือง

ความเข้มข้นของ Glucose ใน เหยื่อ จำลอง (mM)	สีที่เปลี่ยนไปของแผ่นแปะ
0.06	
0.12	
0.20	

จากการทดลองพบว่า เมื่อหยดสารละลาย
เหยื่อจำลองที่มีกลูโคสความเข้มข้น 0.06, 0.08, 0.12,
0.16, 0.18 และ 0.20 mM ลงบนแผ่นแปะตรวจวัด
ระดับน้ำตาล จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากไม่มีสี
เป็นสีน้ำเงิน ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าแผ่นแปะ
ตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อระดับกลูโคส
ในเหยื่อได้ อย่างชัดเจน ทั้งในด้านความเข้มของสีและ
ความเร็วในการเปลี่ยนสี ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวก
กับความเข้มข้น ของกลูโคส แสดงให้เห็นถึงศักยภาพ
ของแผ่นแปะในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์
ตรวจวัดระดับน้ำตาลจากเหยื่อได้

4. สรุปผลและอภิปรายผล

4.1 อภิปรายผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นทั้งในสารละลายและบนแผ่นแปะมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่เติมเข้าไปอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับกลไกของปฏิกิริยาทางเคมี โดยเอนไซม์ Glucose Oxidase และ Papain จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนกลูโคสให้เกิด Hydrogen peroxide (H_2O_2) จากนั้น H_2O_2 จะ กระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร Tetramethylbenzidine ส่งผลให้เกิดสารที่มีสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับของกลูโคสได้ อย่างไรก็ตาม จากการทดลองใช้งานบนแผ่นแปะจริงพบข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ ความหนาและลักษณะของวัสดุพื้นผิวของแผ่นแปะอาจบดบังสีที่เกิดขึ้น ทำให้การสังเกตสีทำได้ยากในบางระดับความเข้มข้น นอกจากนี้ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ อาจส่งผลต่อการแพร่ของสารละลายและความเสถียรของเอนไซม์ รวมถึงการกระจายตัวของสารบนพื้นผิวแผ่นแปะที่อาจไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งความแตกต่างในการรับรู้สีของผู้ใช้งานแต่ละบุคคลอาจส่งผลต่อความแม่นยำของการประเมินผลด้วยการมองเห็นด้วยตาเปล่า

4.2 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองพบว่า สารตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองต่อระดับความเข้มข้นของ กลูโคสในสารละลายหรือจำลองได้อย่างชัดเจน เมื่อเติมสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้นต่างกันลงในสารตรวจวัด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากไม่มีสีเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์ Glucose Oxidase และ Papain กับการเปลี่ยนสี Tetramethylbenzidine (TMB) ความเข้มของสีที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ ความเข้มข้นของกลูโคส กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของกลูโคสเพิ่มขึ้น ความเข้มของสีที่ปรากฏทั้งในสารละลายและ บนแผ่นแปะจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวแสดง

ให้เห็นว่าแผ่นแปะตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดระดับกลูโคสในเหงื่อได้จริง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัด ระดับน้ำตาลแบบไม่ต้องเจาะเลือดได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก นางสาวมินตรา สุขสำราญ และ นายณัฏฐพัชร เพ็ชรศรีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำปรึกษาคำแนะนำ และสนับสนุนการดำเนินงานตลอดระยะเวลาการจัดทำโครงการ รวมทั้งขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ข้อมูล องค์ความรู้ และมีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้การสนับสนุนและเป็นการกำลังใจ จนทำให้โครงการฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2551). กลูโคสออกซิเดส-คาร์บอนนาโนทิวบ์คอมโพสิตเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดกลูโคสในผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง. สืบค้นจาก https://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Creator/personDc/142921

กรมพล วีระพันธุ์. (2563). การตรวจหาคราบโลหิตที่ทาสีขาวเบสน้ำทับด้วยวิธี Luminol และ Bluestar. สืบค้นจาก <https://sure.su.ac.th>

การวินิจฉัยโรคเบาหวานตามสมาคมโรคเบาหวานอเมริกัน. (2567). ชนิดของโรคเบาหวาน. สืบค้นจาก <https://diabetesjournals.org>

น้ำเพชร สายบัวทอง, และ สิริรัตน์ ลิลาจารัส. (2564). ความรู้สำหรับการประเมินการตรวจระดับน้ำตาลในเลือดด้วยตนเอง และคลิปวิดีโอการสอนการตรวจระดับน้ำตาลในเลือดด้วยตนเองผ่านทางไลน์ในผู้ป่วยเบาหวาน. สืบค้นจาก <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/policeurse/>

ปาเปน. (2557). สาขาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะ



อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้น
จาก <https://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/57/57-029.pdf>

ศิริวรรณ ตั๊ก, พงษ์นรินทร์ ชุมแสง, และ สุภาวดี
ปาทยานนท์. (2554). *การสร้างไฮโดรเจนเปอร์
ออกไซด์เซนเซอร์โดยใช้อนุภาคนาโนทอง*. สืบค้นจาก
<http://203.158.254.185/>

สุปรียา เสี่ยงดัง. (2560). *พฤติกรรมการดูแล
สุขภาพตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ควบคุมระดับ
น้ำตาลในเลือดไม่ได้*. สืบค้นจาก [https://he01.tci-
thaijo.org/index.php/scnet/article/](https://he01.tci-thaijo.org/index.php/scnet/article/)

สุริยาภา จงจินากุล. (2556). *การพัฒนา
ไบโอเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดกลูโคส*. สืบค้นจาก
<https://repository.rmutt.ac.th/dspace/bitstream/123456789/1497/2/136407.pdf>

สุวรรณชัย วัฒนา ยิ่งเจริญชัย. (2543). *หมอนามัย
กับการดูแลผู้ป่วยเบาหวาน*. สืบค้นจาก [https://
journals.pbru.ac.th/cgi-bin/koha/opac-
detail.pl?biblionumber=3062](https://journals.pbru.ac.th/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3062)

Gao, W., Nyein, H. Y. Y., Shahpar, Z., Tai, L.-
C., Wu, E., Bariya, M., Ota, H., Fahad, H. M.,
Chen, K., & Javey, A. (2016). *Fully integrated
wearable sensor arrays for multiplexed in situ
perspiration analysis*. Retrieved from
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7838363>

International Diabetes Federation. (2004).
Global prevalence of diabetes: Estimates for
the year 2000 and projections for 2030.
Retrieved from [https://pubmed.ncbi.
nlm.nih.gov/15111519/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15111519/)

Nanyang Technological University. (2024).
*NTU Singapore scientists develop "band-aid"
that measures glucose levels in sweat using
microlaser technology*. Retrieved from
<https://www.ntu.edu.sg/>

RSC Advances. (2019). *Colorimetric
detection of hydrogen peroxide and glucose
by exploiting the peroxidase-like activity of
papain*. Retrieved from
[https://drive.google.com/file/d/1jt1aQk_xb5sQ
kKgbo1MU3WNRdW-v50EM/view](https://drive.google.com/file/d/1jt1aQk_xb5sQkKgbo1MU3WNRdW-v50EM/view)