การเรียนรู้วัฏจักรเครบส์ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ด้วยการสืบเสาะวิทยาศาสตร์: กิจกรรมการลงมือปฏิบัติ (hands-on) เพื่อยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

สุภาพร พรไตร

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ และหน่วยวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190
*E-mail: supaporn.p@ubu.ac.th

รับบทความ: 21 มิถุนายน 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 3 ตุลาคม 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์เรื่องวัฏจักรเครบส์ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ และศึกษาประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกิจกรรมด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วยการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้และแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และการนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งได้แก่นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 2 ห้องเรียน ห้องเรียนละ 35 คน เก็บข้อมูลจาก 1) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน-หลังเรียนชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 6 ข้อ และ 2) ใบงานและแบบจำลองที่นักเรียนสร้าง กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์นี้ประกอบด้วย 5 ขั้น ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถาม ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง ใช้เวลาในการจัดกิจกรรม 90 นาที ผลการวิจัยพบว่า ห้องเรียนที่ 1 กิจกรรมการเรียนรู้นี้มีค่าประสิทธิภาพ (E_1/E_2) และค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) เท่ากับ 81.79/80.48 และ 0.7462 ตามลำดับ นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 74.62 ($\langle g \rangle = 0.74$) จัดเป็นความ ก้าวหน้าในระดับสูง และนักเรียนยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (22.38%) ไปสู่ระดับดีเยี่ยม (80.48%) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ส่วนห้องเรียนที่ 2 กิจกรรมการเรียนรู้นี้มีค่า E_1/E_2 และค่า E.I. เท่ากับ 81.43/80.95 และ 0.7452 ตามลำดับ นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 74.52 ($\langle g \rangle = 0.74$) จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับ สูง ทำให้นักเรียนยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (21.90%) ไปสู่ระดับดีเยี่ยม (80.95%) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

คำสำคัญ: วัฏจักรเครบส์ การสลายสารอาหารระดับเซลล์ การสืบเสาะวิทยาศาสตร์ กิจกรรมการลงมือปฏิบัติ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

Learning Kreb's Cycle in Cellular Respiration through Science Inquiry: A Hands-on Activity for Improving Academic Achievement

Supaporn Porntrai

Department of Biological Sciences, and Research and Innovation in Science Education Center, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University 34190, Thailand

*E-mail: supaporn.p@ubu.ac.th

Received: 21 June 2016 Accepted: 3 October 2016

Abstract

This research aimed to develop a science inquiry-based learning activity in topic of Krebs' cycle in cellular respiration and study its efficiency and effectiveness on academic achievements. Research methodology composed of developing learning activity and achievement test, and introducing the activity to the samples which were 2 classrooms of 10th grade students (35 students each class). Data were collected from: 1) pre-post academic achievement test which was 6 items of 4 multiple choices test, and 2) work sheets and students' constructed models. This science inquiry-based learning activity was comprised of 5 steps: step 1, student engages in scientifically oriented questions; step 2, student gives priority to evidence in responding to question; step 3, student formulates explanations from evidence; step 4, student connects explanations to scientific knowledge; step 5, student communicates and justifies explanation. All steps were completed in 90 minutes. The results showed that for the first classroom, the efficiency (E_1/E_2) and effectiveness (E.I.) of this activity were 81.79/80.48 and 0.7462, respectively. The students' learning progression was 74.62% ($\langle g \rangle = 0.74$), categorized as a high gain level. The students improved their pre-academic achievement from a low level (22.38%) to an excellent level for post-academic achievement (80.48%) which was a statistically significant increasing ($p < .05$). For the second classroom, the E_1/E_2 and E.I. were 81.43/80.95 and 0.7452, respectively. The students' learning progression was 74.52% ($\langle g \rangle = 0.74$), categorized as a high gain level. The students improved their pre-academic achievement from a low level (21.90%) to an excellent level for post-academic achievement (80.95%) which was a statistically significant increasing ($p < .05$).

Keywords: Kreb's cycle, Cellular respiration, Science inquiry, Hands-on activity, Academic achievement

บทนำ

แนวคิดวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญได้แก่ ไกลโคลิซิส การสร้างแอซิทิล วัฏจักรเครบส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ได้รับการบรรจุไว้ในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต (Ministry of Education, 2012) ความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่องนี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีในเรื่องนี้แล้ว แต่ยังส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดีในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การสลายลิพิดและโปรตีน การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่า การสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจนเป็นหัวข้อการเรียนรู้ที่นักเรียนจำนวนมากไม่เข้าใจหรือมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนหลายประเด็น เช่น ตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยา ลำดับขั้นตอน ชื่อสารต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา รวมทั้งชนิดและปริมาณผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น (Mungmad and Porntrai, 2011) นอกจากนี้ยังพบว่าหัวข้อดังกล่าวเป็นหัวข้อที่ยากสำหรับครูในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพ (Baiya and Phornphisutthimas, 2014; Songer and Mintzes, 1994) โดยความยากนั้นเกิดจากสาเหตุ 3 ประการ ได้แก่ นักเรียนมีความรู้ก่อนเรียน (prior knowledge) ที่คลาดเคลื่อนมากและหลากหลาย นักเรียนขาดการเชื่อมโยงกับองค์ความรู้ทางเคมี และเนื้อหานี้มีความเป็นนามธรรมสูง ไม่สามารถสังเกตได้ จึงต้องใช้จินตนาการมาก ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ทำให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในเรื่องนี้ไม่หลากหลายเท่าที่ควร โดยครูส่วนใหญ่ยังเน้นการบรรยายประกอบการใช้ภาพเคลื่อนไหวหรือใช้การทดลอง (laboratory exercise) (Baiya and Phornphisutthimas, 2014; Briggs et al., 2009) หรือบางท่านใช้วิธีการบทบาทสมมุติ (role-play) (Romero and Choun, 2014)

เนื้อหาเรื่องการสลายสารอาหารระดับเซลล์เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาในระดับมหาวิทยาลัย ดังนั้นครูจำเป็นต้องออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและหลากหลายเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับนักเรียนในบริบทของตนเอง (Ross et al., 2008) โดยกิจกรรมการเรียนรู้นั้นต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ค้นพบองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการสืบเสาะ (inquiry process) ได้แก่ การเกิดข้อสงสัยและนำไปสู่กระบวนการหาคำตอบ การเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถาม การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ การเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือ โดยใช้กระบวนการคิดวิเคราะห์และการคิดเชิงเหตุผลที่นำไปสู่การเกิดความเข้าใจที่ถ่องแท้ (McDonald, 2012; Prasertsan, 2012) รวมทั้งมีการนำเสนอเพื่อแสดงเหตุผลโต้แย้งในคำอธิบายที่สร้างขึ้น ซึ่งจะทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งในงานของตนเอง (NRC, 2000; Porntrai, 2015) ตัวอย่างกิจกรรมในลักษณะนี้ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติ (learning by doing) และการมีปฏิสัมพันธ์เชิงรุก (active interaction) ได้แก่ กิจกรรมการลงมือปฏิบัติ (hands-on) หรือกิจกรรม hands-on ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ซึ่งพบว่ากิจกรรมในลักษณะนี้ช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น (Baiya and Phornphisutthimas, 2014; Boomer and Latham, 2011; Dunlap and Patrick, 2012; Phochaiyarach and Porntrai, 2015; Porntrai, 2015) ทั้งนี้เพราะกิจกรรม hands-on ทำให้นักเรียนได้

ฝึกการสังเกตอย่างแน่วแน่ การได้มีสมาธิมุ่งมั่นในการปฏิบัติกิจกรรม ทำให้นักเรียนเห็นและเข้าใจสิ่งที่กำลังเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และต่อเนื่อง

บทความวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ร่วมกับการใช้กิจกรรม hands-on เรื่อง “วัฏจักรเครบส์” ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ รวมทั้งผลต่อการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งจะเป็นตัวอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อครูในการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้เกิดประสิทธิภาพ และบรรลุจุดมุ่งหมายของหลักสูตรในลำดับต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

1. พัฒนาแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก มีคำตอบถูกเพียงคำตอบเดียว จากนั้นประเมินคุณภาพโดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา 2 ท่าน และครูผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนชีววิทยา 1 ท่าน จนได้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (index of item objective: IOC) อยู่ระหว่าง 0.67 – 1.0 นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 32 คน เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 10 นาที วิเคราะห์ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (r) เลือกข้อสอบไว้ จำนวน 6 ข้อ โดยข้อสอบที่เลือกไว้มีค่า p และค่า r อยู่ระหว่าง 0.41 – 0.66 (เฉลี่ย 0.53) และ 0.50 – 0.73 (เฉลี่ย 0.63) ตามลำดับ ในส่วนของค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.85 ข้อคำถามในแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีดังนี้

คำถามข้อที่ 1 ขั้นตอนใดของการสลายสารอาหารระดับเซลล์ที่เกิดในบริเวณเดียวกับวัฏจักรเครบส์

คำถามข้อที่ 2 สารตัวแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรเครบส์เกิดจากการรวมกันของสารใด

คำถามข้อที่ 3 ข้อใดคือสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นทั้งในวัฏจักรเครบส์และกระบวนการไกลโคลิซิส

คำถามข้อที่ 4 สารในข้อใดเป็นตัวบ่งชี้สำคัญที่สุดที่แสดงให้เห็นว่าเกิดการสลายสารตั้งต้นของวัฏจักรเครบส์

คำถามข้อที่ 5 นักวิทยาศาสตร์ทดลองการเกิดวัฏจักรเครบส์โดยการเติมสารที่เกี่ยวข้องลงในหลอดทดลอง เมื่อครบเวลาที่กำหนดเขาตรวจพบสารต่าง ๆ ในปริมาณดังนี้ สาร ก จำนวน 3,000 โมเลกุล สาร ข ที่จะลำเลียงไปยังขั้นตอนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน จำนวน A โมเลกุล และสาร ค ซึ่งจะถูกลำเลียงออกนอกร่างกายจำนวน 2,000 โมเลกุล จากข้อมูลดังกล่าว สาร ข คือสารชนิดใด และเกิดขึ้นกี่โมเลกุล

คำถามข้อที่ 6 จากคำถามข้อ 5 ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับสาร ค

2. พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องวัฏจักรเครบส์ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ โดยให้มีลักษณะของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของ NRC (2000) เวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรม 2 คาบ ประมาณ 90 นาที จากนั้นประเมินคุณภาพโดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา 1 ท่าน และครูผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนชีววิทยา 2 ท่าน ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ จนได้แผนการจัดการเรียนรู้ที่มีค่า IOC เท่ากับ 1 นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 30 คน พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้นี้มีค่า E_1/E_2 และค่า E.I. เท่ากับ 80.83/80.56 และ

0.7544 ตามลำดับ กิจกรรมการเรียนรู้ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ (5 นาที)

(1) ครูเปิดวีดิทัศน์การสลายโมเลกุลของสารอาหารแบบใช้ออกซิเจนในขั้นตอนไกลโคลิซิสและการสร้างแอซิทิล และทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนด้วยคำถามต่อไปนี้

- สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนไกลโคลิซิสและการสร้างแอซิทิลมีอะไรบ้าง
- การสลายสารอาหารในขั้นตอนต่อไปเรียกว่าอะไร
- นักเรียนคิดว่าสารชนิดใดในขั้นตอนการสร้างแอซิทิลที่จะเข้าสู่การสลายสารอาหารในขั้นตอนวัฏจักรเครบส์

(2) ครูกล่าวว่า “วันนี้เราจะได้ทำกิจกรรมการสลายสารอาหารระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจนในขั้นตอนวัฏจักรเครบส์ เพื่อตอบคำถามสำคัญดังนี้

- วัฏจักรเครบส์เกิดขึ้นที่ส่วนใดของเซลล์
- เมื่อแอซิทิลเข้าสู่วัฏจักรเครบส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- สารผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนวัฏจักรเครบส์มีชนิดใดบ้างและจำนวนเท่าใด

ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถาม (30 นาที)

แบ่งนักเรียนเป็น 7 กลุ่มๆ ละ 5 คน

(1) นักเรียนรับบัตรข้อมูลการเกิดปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรเครบส์ 6 บัตร จากนั้นเรียงบัตรข้อมูลตามลำดับการเกิดก่อนหลัง ตามความเป็นไปได้ โดยบัตรแต่ละใบมีรายละเอียดดังนี้

บัตรที่ 1 แอซีทิล ซึ่งมีคาร์บอน 2 อะตอม รวมกับสารประกอบกรดออกซาโลแอซีติก (oxaloacetic acid) มีคาร์บอน 4 อะตอม (4C) และน้ำ (H_2O) อย่างละ 1 โมเลกุล ได้สารใหม่เรียกว่า กรดซิตริก (citric acid) มีคาร์บอน 6 อะตอม (6C)

บัตรที่ 2 กรดซิตริก (6C) จะเปลี่ยนแปลงต่อไปเป็นกรดแอลฟา-คีโทกลูทาริก (α-ketoglutaric acid) มีคาร์บอน 5 อะตอม (5C) และมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ $NADH+H^+$ อย่างละ 1 โมเลกุล

บัตรที่ 3 กรดแอลฟา-คีโทกลูทาริกเปลี่ยนเป็นซักซินิล (succinyl) มีคาร์บอน 4 อะตอม (4C) มีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ $NADH+H^+$ ออกมาอย่างละ 1 โมเลกุล ในปฏิกิริยานี้มีการสร้างพลังงาน ATP จำนวน 1 โมเลกุล

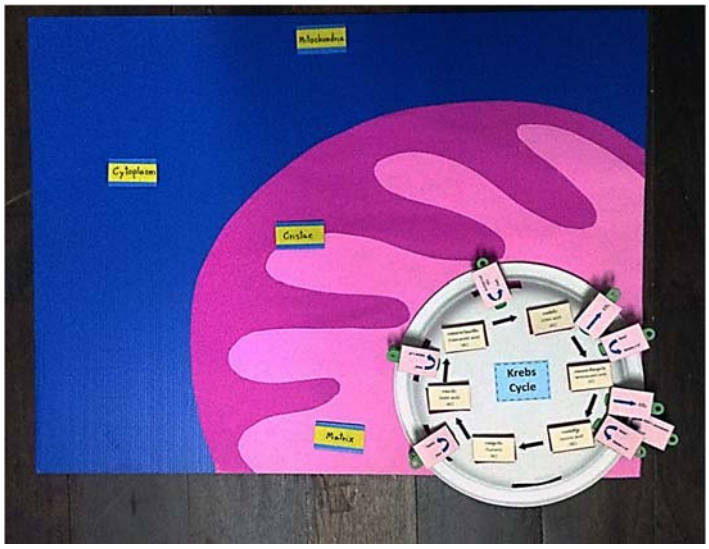
บัตรที่ 4 กรดซักซินิกเปลี่ยนเป็นกรดฟูมาริก (fumaric acid) มีคาร์บอน 4 อะตอม (4C) มีน้ำเป็นตัวร่วมปฏิกิริยา เกิด $FADH_2$ จำนวน 1 โมเลกุล

บัตรที่ 5 กรดฟูมาริกเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก (malic acid) มีคาร์บอน 4 อะตอม (4C) มีน้ำร่วมปฏิกิริยาจำนวน 1 โมเลกุล

บัตรที่ 6 กรดมาลิกเปลี่ยนเป็นกรดออกซาโลแอซีติก (oxaloacetic acid) มีคาร์บอน 4 อะตอม (4C) และได้ $NADH+H^+$ จำนวน 1 โมเลกุล และกรดออกซาโลแอซีติกจะรวมตัวกับแอซีทิลเปลี่ยนเป็นกรดซิตริก ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของวัฏจักรเครบส์ในรอบใหม่ต่อไป

(2) เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในข้อ 1 ถูกต้องแล้ว ครูแจกใบกิจกรรมที่ 1 และแบบ จำลอง

ไม้หนีบวัฏจักรเครบส์ ซึ่งประกอบด้วยกระดานไมโทคอนเดรีย จานวัฏจักรเครบส์ ไม้หนีบสาร และป้ายสารสำคัญ โดยชี้แจงดังนี้ “สมมุติให้นักเรียนคือนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ศึกษาเกี่ยวกับวัฏจักรเครบส์ ในระหว่างการทดลองนักเรียนได้ค้นพบสารต่าง ๆ ให้นักเรียนใช้ข้อมูลจากบัตรข้อมูลประกอบการพิจารณา นำป้ายสารสำคัญวางบนจานวัฏจักรเครบส์ให้มีลำดับถูกต้อง และนำไม้หนีบมาหนีบในตำแหน่งที่มีการเข้าออกของสารนั้น ๆ และสุดท้ายนำไปวางบนกระดานไมโทคอนเดรีย” ผลการทำกิจกรรมที่ถูกต้องแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์แบบจำลองไม้หนีบวัฏจักรเครบส์

ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (คำตอบ) จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ (20 นาที)

หลังการสร้างแบบจำลอง ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันตอบคำถามต่อไปนี้

- วัฏจักรเครบส์เกิดขึ้นที่ส่วนใดของเซลล์
- วัฏจักรเครบส์ประกอบด้วยลำดับขั้นตอนอย่างไร
- สารผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนวัฏจักรเครบส์มีชนิดใดบ้างและจำนวนเท่าใด
- สมการสรุปของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนวัฏจักรเครบส์เป็นอย่างไร
- สารผลิตภัณฑ์ชนิดใดที่จะถูกกำจัดออกนอกร่างกาย
- สารชนิดใดที่จะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (15 นาที)

นักเรียนแต่ละกลุ่มรับใบความรู้ เพื่อใช้ประกอบการตรวจสอบคำตอบที่บันทึกไว้ในใบกิจกรรมที่ 1 ในกรณีที่ตอบผิดให้นักเรียนแก้ไขให้ถูกต้องด้วยปากกาสีแดง ในส่วนของแบบจำลองหากไม่ถูกต้องให้นักเรียนปรับแก้ใหม่พร้อมจดบันทึกว่าแบบจำลองอันแรกไม่ถูกต้องในส่วนใดบ้าง

ขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง (20 นาที)

(1) นักเรียนแต่ละกลุ่มแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ชื่นชมแบบจำลองไม้หนีบวัฏจักรเครบส์ และเขียนคำถามที่สงสัยลงในใบกิจกรรมของเพื่อน

(2) นักเรียนแต่ละกลุ่มตอบคำถามที่เพื่อนกลุ่มอื่นเขียนไว้ และครูสุ่มนักเรียน 1 กลุ่มออกมานำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน

3. นำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและกิจกรรมการเรียนรู้ที่ได้มาตรฐานแล้วไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 ห้องเรียน ห้องเรียนละ 35 คน รวมทั้งสิ้น 70 คน กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster random sampling) จากประชากรนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทย์-คณิต ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดมุกดาหาร จำนวน 4 ห้องเรียน โดยใช้รูปแบบการวิจัยแบบการทดลองกลุ่มเดียวสอบก่อนเรียนและสอบหลังเรียน (one group pretest-posttest design) และมีขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังนี้ 1) ทดสอบก่อนเรียน 2) จัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ และ 3) ทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับเดิมแต่สลับข้อ สลับตัวเลือก

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน หาค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. นำคะแนนระหว่างเรียนและคะแนนสอบหลังเรียนมาหาค่า E_1/E_2 โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และนำคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมาหาค่า E.I. (Promwong, 2013)

3. วิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน และแบ่งผลการเรียนออกเป็น 8 ระดับตามเกณฑ์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ดังนี้ ดีเยี่ยม (80 – 100 คะแนน) ดีมาก (75 – 79 คะแนน) ดี (70 – 74 คะแนน) ค่อนข้างดี (65 – 69 คะแนน) น่าพอใช้ (60-64 คะแนน) พอใช้ (55 – 59 คะแนน) ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (50 – 54 คะแนน) ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (0 – 49 คะแนน)

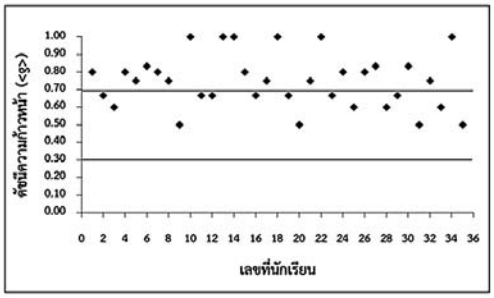
4. นำคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยใช้การทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระ (*t*-test for dependent sample) และวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนโดยการหาค่าดัชนีความก้าวหน้า (normalized gain: <*g*>) และแบ่งความก้าวหน้าทางการเรียนออกเป็น 3 ระดับ (Hake, 1998)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

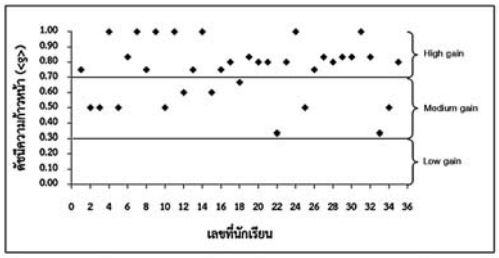
ประสิทธิภาพและดัชนีประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้

จากการวิเคราะห์คะแนนใบงานและแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้น ซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และคะแนนสอบหลังเรียนซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) ของกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า ค่า E_1/E_2 ของห้องเรียนที่ 1 และห้องเรียนที่ 2 เท่ากับ 81.79/80.48 และ 81.43/80.95 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า กิจกรรมการเรียนรู้นี้มีประสิทธิภาพเท่ากับเกณฑ์มาตรฐาน (80/80) เมื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนทั้งชั้น พบว่า จัดอยู่ในระดับสูง (high gain) โดยมีค่า <*g*> เท่ากับ 0.7462 และ 0.7452 ตามลำดับ แสดงว่า กิจกรรมการเรียนรู้นี้ทำให้นักเรียนทั้งชั้นมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 74.62 และ 74.52 ตามลำดับ

ทั้งนี้มีนักเรียนห้องเรียนที่ 1 จำนวน 0 15 และ 20 คน และนักเรียนห้อง เรียนที่ 2 จำนวน 0 11 และ 24 คน มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ตามลำดับ (ภาพที่ 2) จากข้อมูลความก้าวหน้าทางการเรียนนี้สรุปได้ว่านวัตกรรมนี้เมื่อใช้กับนักเรียนห้องเรียนที่ 1 และ 2 มีค่า E.I. เท่ากับ 0.7462 และ 0.7452 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.5)



(ก)



(ข)

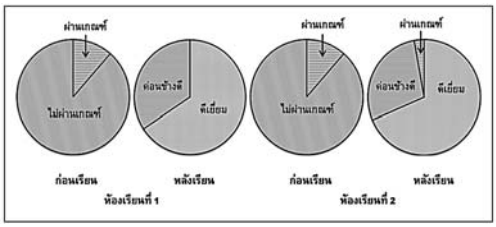
ภาพที่ 2 ดัชนีความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล (ก) ห้องเรียนที่ 1 และ (ข) ห้องเรียนที่ 2

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน

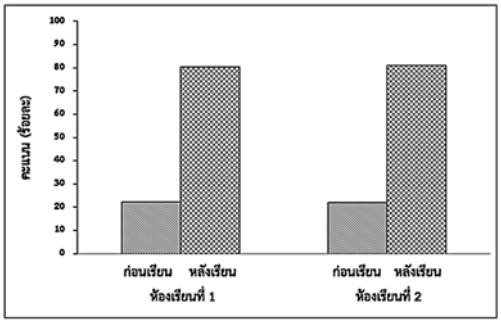
จากการวิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียน พบว่า ห้องเรียนที่ 1 และห้องเรียนที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 22.38 และร้อยละ 21.90 ตามลำดับ อยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำทั้งสองห้อง ทั้งนี้ในแต่ละห้องมีนักเรียน 4 คน มีคะแนนอยู่ในระดับผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ และอีก 31 คน มีคะแนนอยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางในงานวิจัยนี้และมีการทดสอบหลังเรียน พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนห้องเรียนที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 80.48 และร้อยละ 80.95 ตามลำดับ อยู่ในระดับดีเยี่ยมทั้งสองห้อง โดยห้องเรียนที่ 1 แบ่งเป็นอยู่ในระดับดีเยี่ยม 23 คน และระดับค่อนข้างดี 12 คน สำหรับนักเรียนห้องเรียนที่ 2 มีนักเรียนที่มีผลการเรียนอยู่ในระดับดีเยี่ยม 24 คน ระดับค่อนข้างดี 10 คน และผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ 1 คน (ภาพที่ 3ก)

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนเรียนกับหลังเรียน พบว่า นักเรียนทั้ง 2 ห้องได้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยที่ห้องเรียนที่ 1 นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนเท่ากับร้อยละ 22.38 และ 80.48 ตามลำดับ ส่วนห้องเรียนที่ 2 นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนเท่ากับร้อยละ 21.90 และ 80.95 ตามลำดับ สรุปได้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำไปอยู่ในระดับดีเยี่ยมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งสองห้องเรียน (ภาพที่ 3ข)

นอกจากนี้หากพิจารณาการตอบข้อสอบรายข้อ พบว่า นักเรียนที่ตอบข้อสอบหลังเรียนแต่ละข้อถูกต้องมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในทุกข้อ (ตาราง 1) โดยคำถามข้อที่ 1 5 และ 6 ทั้งห้องเรียนที่ 1 และห้องเรียนที่ 2 มีนักเรียนมากกว่าร้อยละ 80 ของนักเรียนทั้งหมดตอบข้อสอบถูก-



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนห้องเรียนที่ 1 และห้องเรียนที่ 2 (ก) ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ (ข) คะแนนเฉลี่ย

ต้อง สะท้อนให้เห็นว่า กิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยาในวัฏจักรเครบส์ ตลอดจนสามารถวิเคราะห์เกี่ยวกับสารตั้งต้นที่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ การเกิดและจำนวนสารผลิตภัณฑ์ชนิด $FADH_2$ และ CO_2 สำหรับคำถามข้อที่ 2 (การเกิดสารตัวแรก) พบว่า นักเรียนห้องเรียนที่ 2 ตอบถูกร้อยละ 77.14 จากการวิเคราะห์ข้อสอบ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ที่ตอบผิด เลือกตัวลวงข้อ ค (แอซีทิลกับกรดซิตริก) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า นักเรียนทราบชนิดของสารตั้งต้นที่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (แอซิทิล) แต่ยังสับสนระหว่างกรดซิตริกและกรดออกซาโลแอซีติก ในส่วนของคำถามข้อที่ 3 (สารผลิตภัณฑ์ใดที่เกิดขึ้นทั้งในวัฏจักรเครบส์และกระบวนการไกลโคลิซิส) นักเรียนที่ตอบผิดเลือกตัวลวง ค ($FADH_2$ กับ ATP) หรือ ง (NADH กับ $FADH_2$) สะท้อนให้เห็นว่า นักเรียนยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเกิด $FADH_2$ สำหรับคำถามข้อที่ 4 (สารในข้อใดเป็นตัวบ่งชี้สำคัญที่สุดที่แสดงให้เห็นว่าเกิดการสลายสารตั้งต้นของวัฏจักรเครบส์) ซึ่งวัดความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ พบว่า นักเรียนเลือกตัวลวง ข ($NADH+H^+$) และ ค (citric acid) จำนวนใกล้เคียงกัน จากการสุ่มถามนักเรียนที่ตอบผิด พบว่า นักเรียนทราบว่าสารที่เป็นตัวเลือกทั้งหมดจะพบในวัฏจักรเครบส์ แต่ไม่แน่ใจว่าสารใดเป็นตัวบ่งชี้สำคัญที่สุด สาเหตุที่เลือกตอบ $NADH+H^+$ เพราะคิดว่าเป็นสารสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง ATP และสาเหตุที่เลือกตอบ citric acid เพราะเป็นสารตัวแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักร

จากผลการวิจัยโดยรวมสะท้อนให้เห็นว่า กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องวัฏจักรเครบส์ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ด้วยการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และมีมโนมติ (concept) ที่ถูกต้องในเรื่องที่เรียน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

(1) การที่นักเรียนได้จดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ ทำให้นักเรียนทราบเป้าหมายของการเรียน (NRC, 2000) และมีความมุ่งมั่นที่จะเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถามที่ตนสงสัย จึงเกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายและมีเป้าหมายที่แน่ชัด (Ozcan et al., 2012)

(2) การที่นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถามนั้น ต้องผ่านการใช้กระบวนการคิดวิเคราะห์ที่แสดงถึงความมีเหตุมีผลมิใช่เพียงการฟังการบรรยายของครูหรือ

การอ่านใบความรู้เพื่อตอบคำถามตามใบงาน แต่ยังรวมถึงการเรียนรู้ที่เกิดจากการลงมือปฏิบัติ (hands-on learning) ทำให้นักเรียนได้ฝึกการสังเกตอย่างแน่วแน่ การได้มีสมาธิมุ่งมั่นในการปฏิบัติกิจกรรมทำให้นักเรียนเห็นและเข้าใจสิ่งที่กำลังเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และต่อเนื่อง (Hussain and Akhtar, 2013; Prasertsan, 2012) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นของการเรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติ (Boomer and Latham, 2011)

(3) การเน้นย้ำให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบและเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนทราบว่าคำถามที่ตนสงสัยได้รับการตอบแล้วหรือยัง และคำตอบนั้นมีหลักฐานสนับสนุนเพียงพอหรือไม่ มีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด และมีความคลาดเคลื่อนจากคำอธิบายที่นักวิทยาศาสตร์ได้กล่าวไว้ในเรื่องเดียวกันหรือไม่ อย่างไร (Phochaiyarach and Porntrai, 2015) ซึ่งหากมีความสอดคล้องกันจะทำให้นักเรียนเกิดความภาคภูมิใจในตนเอง ที่สามารถใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างองค์ความรู้ได้เช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงในเรื่องที่นักเรียนศึกษา ในทางกลับกันหากผลการศึกษาไม่สอดคล้องกัน จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้บนความผิดพลาดและจำความผิดพลาดและความถูกต้องนั้นได้นานยิ่งขึ้น (Porntrai, 2015)

(4) การที่ในขั้นประเมินผลมีการส่งเสริมให้เกิดบรรยากาศการซักถามแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างผู้เรียน แสดงเหตุผลโต้แย้ง ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งในงานของตนเอง (Wu and Hsieh, 2006) และทำให้เกิดการพัฒนาทางความคิด

สรุปผลการวิจัย

กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องวัฏจักรเครบส์ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ มีลักษณะการจัดการเรียนรู้เป็นแบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ ที่เน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้มากที่สุด ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติทีละขั้นตอน ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ 90 นาที วิธีดำเนินกิจกรรมประกอบด้วย 5 ขั้น ดังนี้ ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ (10 นาที) ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถาม (20 นาที) ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ (20 นาที) ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (20 นาที) และขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง (20 นาที) ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับนักเรียนจำนวน 2 ห้องเรียน พบว่า ห้องเรียนที่ 1 กิจกรรมการเรียนรู้นี้มีค่า E_1/E_2 และ ค่า E.I. เท่ากับ 81.79/80.48 และ 0.7462 ตามลำดับ ทำให้นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 74.62 ($\langle g \rangle$ = 0.7462) จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับสูง ทำให้นักเรียนยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (22.38%) ไปสู่ระดับดีเยี่ยม (80.48%) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) และห้องเรียนที่ 2 กิจกรรมการเรียนรู้นี้มีค่า E_1/E_2 และค่า E.I. เท่ากับ 81.43/80.95 และ 0.7452 ตามลำดับ ทำให้นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 74.52 ($\langle g \rangle$ = 0.7452) จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับสูง ทำให้นักเรียนยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้น

ตาราง 1 ความถี่ของนักเรียนห้องเรียนที่ 1 และห้องเรียนที่ 2 ที่ตอบคำถามถูกต้องในแต่ละข้อของการทดสอบก่อนเรียน หลังเรียน และดัชนีความก้าวหน้า

คำถามและความคิดหลัก	ความถี่นักเรียนที่ตอบถูกต้อง (ร้อยละ)					
	ห้องเรียนที่ 1			ห้องเรียนที่ 2		
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	<g>	ก่อนเรียน	หลังเรียน	<g>
คำถามข้อที่ 1 ตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยา	17.14	80.00	0.76	20.00	94.29	0.93
คำถามข้อที่ 2 การเกิดสารตัวแรกในวัฏจักร	22.86	80.00	0.74	17.14	77.14	0.72
คำถามข้อที่ 3 สารผลิตภัณฑ์ (ATP, $NADH+H^+$)	25.71	77.14	0.70	40.00	80.00	0.67
คำถามข้อที่ 4 สารผลิตภัณฑ์ (CO_2)	34.29	82.86	0.74	25.71	74.29	0.65
คำถามข้อที่ 5 สารผลิตภัณฑ์ ($FADH_2$)	22.86	82.86	0.78	11.43	80.00	0.77
คำถามข้อที่ 6 สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ (CO_2)	11.43	80.00	0.77	17.14	80.00	0.76

ต่ำ (21.90%) ไปสู่ระดับดีเยี่ยม (80.95%) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทำข้อสอบข้อที่ 2 3 และ 4 ที่สะท้อนว่านักเรียนกว่าร้อยละ 30 ยังคงมีความเข้าใจที่คาดเคลื่อน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการพัฒนาในส่วนนี้ให้ดียิ่งขึ้นครูอาจปรับรายละเอียดของกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

1. ปรับป้ายสารสำคัญของกรดออกซาโลแอซิติกและกรดซิตริกให้เด่นขึ้น เพื่อเน้นว่าเป็นสารตัวแรกที่ทำปฏิกิริยากับแอซิทิลและเป็นสารตัวแรกที่เกิดขึ้นในวัฏจักรเครบส์

2. ปรับไม้หนีบให้มีสีแตกต่างกัน 4 ชุด คือ CO_2 $NADH+H^+$ $FADH_2$ และ ATP เพื่อเน้นว่ามีสารสำคัญเกิดขึ้น 4 กลุ่ม

3. เพิ่มเติมโดยการเน้นย้ำในประเด็นการเกิด CO_2 อีกครั้งในขั้นที่ 5 ของกิจกรรมการเรียนรู้

เอกสารอ้างอิง

Baiya, S., and Phornphisutthimas, S. (2014). The construction of a hands-on laboratory practical on “cellular respiration” for undergraduate learners. **The 1st National Conference on Science Education to Inspire Innovation** (pp. 244–248). Phetchaburi: Rajabhat Phetchaburi University.

Boomer, S. M., and Latham, K. L. (2011). Manipulatives-based laboratory for majors biology a hands-on approach to understanding respiration and photosynthesis. **Journal of Microbiology and Biology Education** 12(2): 127–134.

Briggs, B., Mitton, T. and Magnuson, T. (2009). Teaching cellular respiration & alternate energy sources with a laboratory exercise developed by a scientist-teacher partnership. **The American Biology Teacher** 71(3): 164–167.

Dunlap, D., and Patrick, P. (2012). The beads of translation: using beads to translate mRNA into a polypeptide bracelet. **The American Biology Teacher** 74(4): 262–265.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics** 66(1): 64–74.

Hussain, M., and Akhtar, M. (2013). Impact of hands-on activities on students' achievement in science: An experimental evidence from Pakistan. **Middle-East Journal of Scientific Research** 16(5): 626–632.

McDonald, G. (2012). Teaching critical and analytical thinking in high school biology. **The American Biology Teacher** 74(3): 178–181.

Ministry of Education. (2012). **Basic Education Core Curriculum B.E. 2551.** Bangkok: Agriculture Cooperatives of Thailand Printing. (in Thai)

Mungmad, A., and Porntrai, S. (2011). Developing of achievement in learning cellular respiration for Muttayomsuksa 4 students using an instructional package with cooperative Learning. **The Proceeding of the 12th Graduate Research Conference** (pp.1472–1478). Khon Kaen: Khon Kaen University. (in Thai)

National Research Council [NRC]. (2000). **Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning.** Washington DC: National Academy.

Ozcan, T., Yildirim, O., and Ozgur, S. (2012). Determining of the university freshmen students' misconceptions and alternative conceptions about mitosis and meiosis. **Procedia** 46: 3677–3680.

Phochaiyarach, S., and Porntrai, S. (2015). Enhancing analytical thinking abilities using science inquiry approach. **Journal of Research on Science, Technology and Environment for Learning** 6(1): 46–56. (in Thai)

Porntrai, S. (2015). Learning cell cycle and mitosis by science inquiry: an active way to increase academic achievement and knowledge retention. **Journal of Research on Science, Technology and Environment for Learning** 6(2): 175–187. (in Thai)

Prasertsan, S. (2012). **Research-based Project: New Learning Process for Thai Education.** Bangkok: Thailand Research Fund. (in Thai)

Promwong, C. (2013). Developmental testing of media or teaching package's efficiency. **Silpakorn Educational Research Journal** 5(1): 7–20. (in Thai)

Romero, C., and Choun, J. (2014). The Electron transport chain: an interactive simulation. **The American Biology Teacher** 76(7): 456–458.

Ross, P. M., Tronson, D. A., and Ritchie, R. J. (2008). Increasing conceptual understanding of glycolysis and the Krebs cycle

using role play. **The American Biology Teacher** 70(3): 163–168.

Songer, C. J., and Mintzes, J. J. (1994). Understanding cellular respiration: an analysis of conceptual change in college biology. **Journal of Research in Science Teaching** 31(6): 321–637.

Wu, H., and Hsieh, C. (2006). Developing sixth grades' inquiry skills to construct explanations in inquiry-based learning environments. **International Journal of Science Education** 28(11): 1289–1313.