

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

วีราภรณ์ วิเศษ¹, สุภาพร พรไตร²

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี^{1,2}

E-mail: weeraporn.wi.59@ubu.ac.th¹, supaporn.p@ubu.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ตรวจสอบประสิทธิภาพ (E_1 และ E_2) และดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ และ 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้คัดเลือกด้วยวิธีการคัดเลือกแบบเจาะจงเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 26 คน ระเบียบวิธีวิจัยเป็นวิจัยกึ่งทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 6 ข้อ 2) กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ ประกอบด้วย 5 ขั้น ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถาม ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง ผลการวิจัยพบว่า กิจกรรมการเรียนรู้นี้มีค่าประสิทธิภาพ (E_1 และ E_2) เท่ากับ 83.46 และ 84.62 ตามลำดับ และค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) เท่ากับ 0.8049 นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 81.41 ($g = 0.8141$) จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับสูง และนักเรียนยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากระดับต่ำกว่าเกณฑ์ (21.15%) ไปสู่ระดับดีเยี่ยม (84.62%) ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

คำสำคัญ : การจำลองดีเอ็นเอ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

The Development of 10th Grade student' learning achievement in the topic of DNA Replication Using Science Inquiry Instruction

Weeraporn Wised¹, Supaporn Porntrai²

Faculty of Science, Ubon Ratchathani University^{1,2}

E-mail: weeraporn.wi.59@ubu.ac.th¹, supaporn.p@ubu.ac.th²

Abstract

This research aimed to 1) investigate the efficiency (E_1 and E_2) and effectiveness index (E.I.) of the science inquiry-based learning activity in the topic of DNA replication, and 2) compare pre- and post-learning achievement. The sample, selected by purposive sampling, which composed of 26 grade 10 students. Research methodology used Quasi-experimental research. The instruments used for data collection were: 1) pre-post academic achievement test in the topic of DNA replication which was 6 items of 4 multiple choices test, and 2) the science inquiry-based learning activity in the topic of DNA replication 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. The results showed that, the efficiency (E_1 and E_2) were 83.46 and 84.62, respectively. Effectiveness index of this activity were 0.8049. The students' learning progression was 81.41% ($\langle g \rangle = 0.8141$), categorized as a high gain level. The students improved their pre-academic achievement from a low level (21.15%) to an excellent level for post-academic achievement (84.62%) which was a statistically significant increasing ($p < 0.05$).

Keywords : DNA replication, Science inquiry instruction, Academic achievement

บทนำ

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการจำลองดีเอ็นเอได้รับการบรรจุไว้ในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม (สาระชีววิทยา) (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) ความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่องนี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีในเรื่องนี้แล้วแต่ยังส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดีในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เทคโนโลยีชีวภาพ การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (บุษยา แสงทอง และสุภาพร พรไตร, 2559) และยังเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาในระดับมหาวิทยาลัย

เนื้อหาเรื่องนี้มีความซับซ้อน ค่อนข้างยาก มีความเป็นนามธรรมสูง การจัดกิจกรรมการทดลองให้ผู้เรียนเห็นจริงได้จึงเป็นเรื่องยาก วิธีการที่นิยมใช้ในการจัดการเรียนรู้เรื่องนี้ เช่น การบรรยาย การใช้แบบจำลองดีเอ็นเอ (Rosenkrantz, 2004) โมเดลสำเร็จรูป Velcro (Bennett, 1998) เกม (Tania et al., 2007) การวาดภาพ (Rotbain et al., 2005) การสาธิต (Fossey and Hancock, 2005) ตัวต่อเลโก้ (Templin and Feters, 2002) การสอนแบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (problem-based learning) (Szeberenyi, 2005) การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค Jigsaw ร่วมกับ Student Team Achievement Division (นิวัฒน์ ประสานพันธ์, 2551) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E (บุษยา แสงทอง และสุภาพร พรไตร, 2559) และการใช้แบบจำลองเป็นฐาน (สุกัลยา หล้าเหล็ม และคณะ, 2561) เป็นต้น โรงเรียนศรีตระกูลวิทยา จังหวัดศรีสะเกษ เป็นโรงเรียนขนาดเล็กประจำตำบล นักเรียนส่วนใหญ่มีความแตกต่างกัน เช่น ด้านสติปัญญา มีทั้งนักเรียนเก่ง ปานกลาง อ่อน และอ่อนมาก ด้านครอบครัว ผู้ปกครองส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร และอาชีพรับจ้างที่ต่างจังหวัด มีปัญหาอย่าร้างสูง นักเรียนส่วนใหญ่อาศัยอยู่กับญาติ ขาดความเอาใจใส่จากผู้ปกครอง จากประสบการณ์การสอนที่ผ่านมาพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการจำลองดีเอ็นเอ ของนักเรียนอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเนื้อหาค่อนข้างยาก มีความซับซ้อนในการทำความเข้าใจ มีคำศัพท์และภาษาทางวิชาการทำให้นักเรียนสับสน และมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนหลายประเด็น บางครั้งผู้สอนมุ่งเน้นสอนแต่เนื้อหาวิชามากเกินไป เน้นการท่องจำเนื้อหา มากกว่าการให้นักเรียนฝึกปฏิบัติจริง ทำให้ผู้เรียนขาดความสนใจ และความกระตือรือร้นในการแสวงหาความรู้ ไม่สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ

ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้น ครูจึงจำเป็นต้องออกแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและหลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับนักเรียนในบริบทของตนเอง ซึ่งการจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยาจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อนักเรียนมีปฏิสัมพันธ์เชิงรุก (active interaction) ในกระบวนการจัดการเรียนรู้ ดังนั้น ครูที่สอนชีววิทยาจำเป็นต้องลดบทบาทการบรรยายและเพิ่มการใช้กลวิธีที่ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยการค้นพบ ประสบการณ์ลงมือปฏิบัติ และการทำงานแบบมีปฏิสัมพันธ์ภายในกลุ่มโดยผ่านกระบวนการสืบเสาะ (inquiry process) ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย (Ozcan, 2012) การจัดการ

เรียนรู้แบบสืบเสาะประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจำคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถาม ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นการจัดการเรียนรู้ที่กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดข้อสงสัยและนำไปสู่กระบวนการหาคำตอบ เก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถาม มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ และเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือ และนำเสนอเพื่อแสดงเหตุผลโต้แย้งในคำอธิบายที่สร้างขึ้น ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งในงานของตนเอง (สุภาพร พรไตร, 2558) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะจึงช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้นได้ (อรุณี จันทรหอม และสุภาพร พรไตร, 2560; บุษยา แสงทอง และสุภาพร พรไตร, 2559; สุชาติพิทย์ บุญส่ง และสุภาพร พรไตร, 2559; สุภาพร พรไตร, 2558)

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์มาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาชีววิทยา เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนศรีตระกูลวิทยา เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนให้สูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ตรวจสอบประสิทธิภาพ (E_1 และ E_2) และดัชนีประสิทธิผล ($E.I.$) ในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และ 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ จำนวน 26 คน นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/2 แผนการเรียนศิลปะและภาษา จำนวน 15 คน และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/3 แผนการเรียนความถนัดอาชีพ จำนวน 6 คน รวมทั้งสิ้น 47 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนศรีตระกูลวิทยา อำเภอขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ จำนวน 26 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนศรีตระกูลวิทยา อำเภอขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ โดยเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) เป็นห้องที่ต้องใช้ความรู้พื้นฐานทางชีววิทยาต่อยอดไปศึกษารายวิชาชีววิทยาเพิ่มเติมในระดับสูงขึ้น

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) พัฒนาแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก มีคำตอบถูกเพียงคำตอบเดียว จากนั้นประเมินคุณภาพโดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา 2 ท่าน และครูผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนชีววิทยา 1 ท่าน จนได้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective: IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.0 นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้น ม.5 ที่ผ่านการเรียนเรื่องนี้มาแล้วจำนวน 24 คน เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 20 นาที วิเคราะห์ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (r) เลือกข้อสอบไว้ จำนวน 6 ข้อ โดยข้อสอบที่เลือกไว้มีค่า p และค่า r อยู่ระหว่าง 0.50 - 0.71 และ 0.42 - 0.83 ตามลำดับ ในส่วนของค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.72

2) พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ โดยให้มีลักษณะของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของ NRC (2000) เวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรม 2 คาบ ประมาณ 100 นาที จากนั้นประเมินคุณภาพโดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา 2 ท่าน และครูผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนชีววิทยา 1 ท่าน ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะจนได้แผนการจัดการเรียนรู้ที่มีค่า IOC เท่ากับ 1 นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้น ม.4 จำนวน 21 คน พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้นี้มีค่า E1/E2 และค่า E.I. เท่ากับ 82.06/81.75 และ 0.7982 ตามลำดับ

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) นำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 26 คน โดยใช้แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อคำถามในแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีดังนี้

คำถามที่ 1 ถ้าสายพอลินิวคลีโอไทด์สายหนึ่งมีลำดับเบสเป็น 5' ATCGTG TACC 3'

พอลินิวคลีโอไทด์สายใหม่ที่เป็นคู่กันจะมีลำดับเบสอย่างไร

คำถามที่ 2 ดีเอ็นเอโมเลกุลหนึ่ง มีลำดับเบสดังนี้

5' CCATGTTGAAATCGTG TACCCGATACTGAA 3'

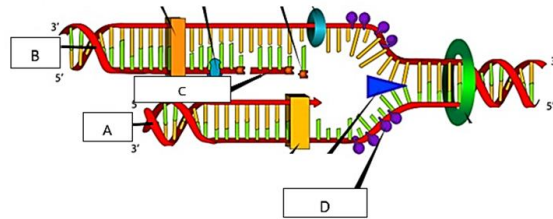
ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับจำนวนนิวคลีโอไทด์ที่ต้องใช้จำลองดีเอ็นเอดังกล่าว

คำถามที่ 3 จงเรียงลำดับการทำงานของเอนไซม์ในการจำลองดีเอ็นเอ

คำถามที่ 4 ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับชนิดและหน้าที่ของเอนไซม์ที่ใช้ในการจำลองดีเอ็นเอ

คำถามที่ 5 จากภาพโมเลกุล DNA ข้อใดคือการจำลองดีเอ็นเอแบบกึ่งอนุรักษ์

คำถามที่ 6 เมื่อพิจารณาภาพที่กำหนดให้ ข้อใดกล่าวถูกต้อง



2) นำกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 26 คน ขั้นตอนการจัดกิจกรรมมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 ผู้เรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ (10 นาที)

1) ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนด้วยคำถามดังนี้

•DNA จะมีการเพิ่มจำนวนเมื่อไร (เมื่อมีการแบ่งเซลล์)

•ระยะใดของการแบ่งเซลล์ที่มีการเพิ่มจำนวนของ DNA (ระยะ S phase ของระยะอินเตอร์เฟส)

•จากที่นักเรียนเรียนมาแล้ว DNA มีลักษณะโครงสร้างอย่างไร (DNA มีโครงสร้างประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย เรียงตัวในทิศทางตรงข้ามกันและพันกันบิดเป็นเกลียวคู่เวียนขวาระหว่างสายพอลิเพปไทด์ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างเบสคู่สม คือ เบส A จับคู่กับเบส T และเบส C จับคู่กับเบส G)

2) ครูให้นักเรียนสังเกตภาพโครงสร้างของ DNA และถามนักเรียนว่า

•จากโครงสร้างของ DNA การเพิ่มจำนวนของดีเอ็นเอจะมีขั้นตอนอย่างไร

•มีปัจจัยอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องกับการจำลองดีเอ็นเอ

•ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA ในโมเลกุลเดิมและโมเลกุลใหม่เหมือนหรือแตกต่างกัน

3) ครูกล่าวว่า “วันนี้เราจะได้ทำกิจกรรมเกี่ยวกับการจำลองตัวของดีเอ็นเอ เพื่อตอบคำถามสำคัญ ดังนี้ การจำลองดีเอ็นเอมีขั้นตอนอย่างไร ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองดีเอ็นเอมีอะไรบ้าง ลำดับ

นิวคลีโอไทด์ของ DNA ในโมเลกุลเดิมและโมเลกุลใหม่เหมือนหรือแตกต่างกัน”

ขั้นที่ 2 ผู้เรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถาม (25 นาที)

1) ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 6 คน โดยให้แต่ละกลุ่มแบ่งหน้าที่ดังนี้ คนที่ 1 ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์เฮลิเคส ให้สวมสายรัดข้อมือเฮลิเคส คนที่ 2 ทำหน้าที่เป็นอาร์เอ็นเอไพรมเลส ให้สวมสายรัดข้อมืออาร์เอ็นเอไพรมเลส คนที่ 3 ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอร์เรส III ให้สวมสายรัดข้อมือ ดีเอ็นเอพอลิเมอร์เรส III คนที่ 4 ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ดีเอ็นเอพอลิเมอร์เรส I ให้สวมสายรัดข้อมือดีเอ็นเอพอลิเมอร์เรส I คนที่ 5 ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ไลเกส ให้สวมสายรัดข้อมือไลเกส คนที่ 6 ทำหน้าที่ถือแผ่นข้อมูลที่ครูแจกให้

2) ครูแจกใบงาน เรื่อง การออกแบบ “แบบจำลอง DNA” (ภาพที่ 1) ชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ (ภาพที่ 2) และแบบจำลองโครงสร้าง DNA (ภาพที่ 3) ที่นักเรียนทำไว้ในคาบเรียน เรื่อง โครงสร้าง DNA

3) ครูชี้แจงนักเรียนว่ากล่องด้านหน้าห้องเรียน 2 กล่อง เป็นกล่องนิวคลีโอไทด์สำหรับจำลองดีเอ็นเอ กล่องที่ 1 บรรจุนิวคลีโอไทด์ของ RNA และกล่องที่ 2 บรรจุนิวคลีโอไทด์ของ DNA

4) ครูให้นักเรียนอ่านทำความเข้าใจคำชี้แจงแล้วลงมือทำกิจกรรม

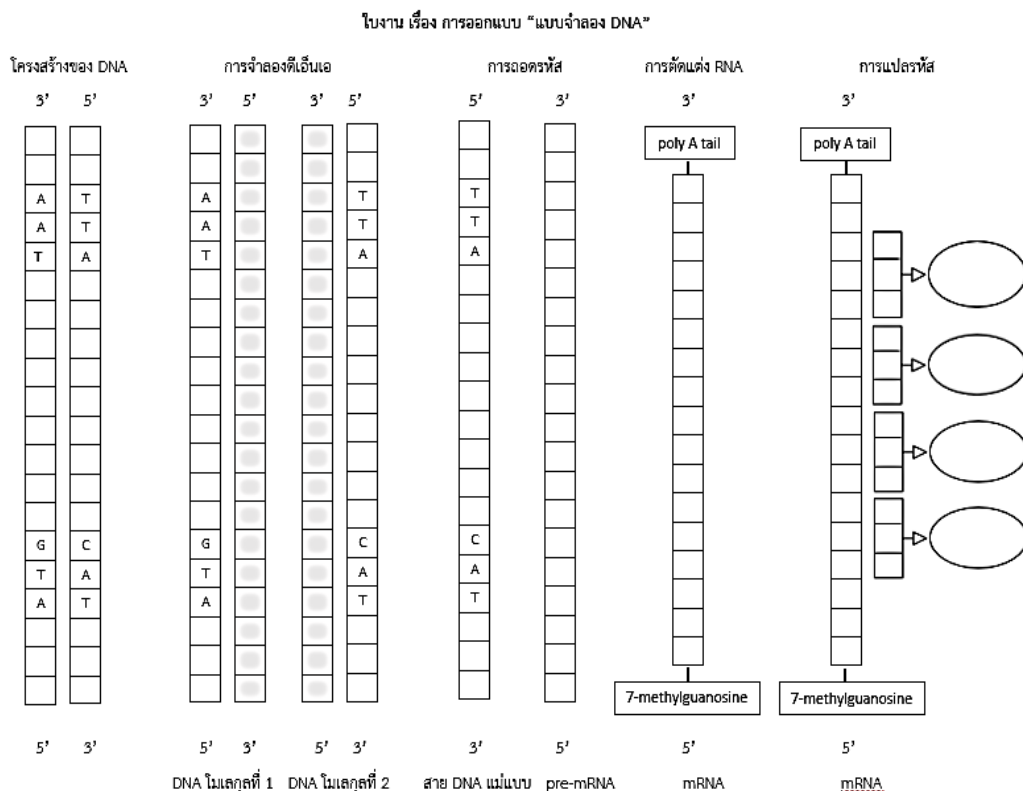
ขั้นที่ 3 ผู้เรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (คำตอบ) จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ (30 นาที)

1) ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มตอบคำถามในใบกิจกรรมที่ 1 โดยมีคำถามทั้งสิ้น 22 คำถาม

ขั้นที่ 4 ผู้เรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (25 นาที)

1) นักเรียนดูวิดีโอ เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ จากนั้นช่วยกันตรวจสอบความถูกต้องและแก้ไขใบกิจกรรมที่ 1 นักเรียนแต่ละกลุ่มแลกเปลี่ยนเรียนรู้แบบจำลองที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งพิจารณาจำนวนนิวคลีโอไทด์ในแต่ละสายว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร และสะท้อนให้เห็นถึงประเด็นสำคัญอะไร

ขั้นที่ 5 ผู้เรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง (10 นาที)
นักเรียนแต่ละกลุ่มจับสลากคำถาม เพื่อตอบคำถามทบทวนความรู้ กลุ่มละ 2 คำถาม โดยคำถามไม่ซ้ำกัน



ภาพที่ 1 ใบงาน เรื่อง การออกแบบ “แบบจำลอง DNA”



ภาพที่ 2 อุปกรณ์สำหรับกิจกรรมการจำลองดีเอ็นเอ



ภาพที่ 3 แบบจำลองโครงสร้าง DNA

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

1) วิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน หาค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำคะแนนระหว่างเรียนและคะแนนสอบหลังเรียนมาหาค่า E_1 และ E_2 โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และนำคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมาหาค่า E.I.

2) วิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน และแบ่งผลการเรียนออกเป็น 8 ระดับ ตามเกณฑ์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ดังนี้ ดีเยี่ยม (80-100 คะแนน) ดีมาก (75-79 คะแนน) ดี (70-74 คะแนน) ค่อนข้างดี (65-69 คะแนน) ปานกลาง (60-64 คะแนน) พอใช้ (55-59 คะแนน) ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (50-54 คะแนน) ต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ (0-49 คะแนน)

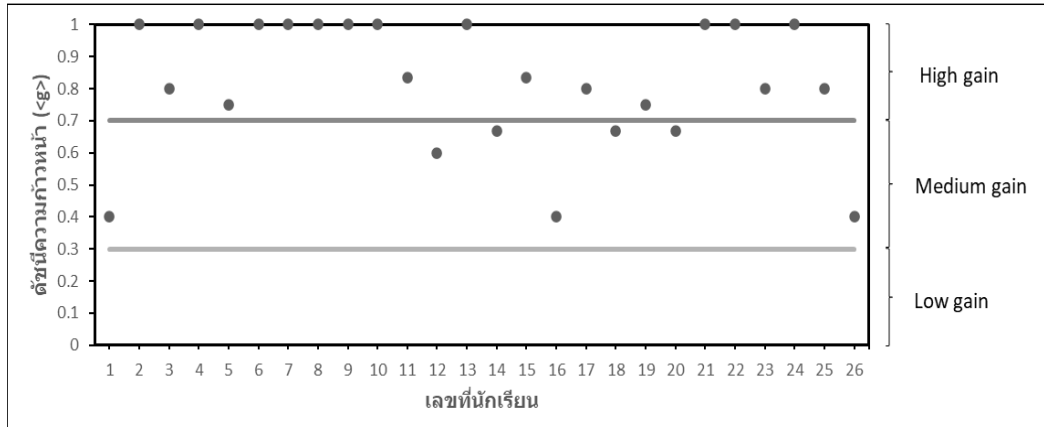
3) นำคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยใช้การทดสอบที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระ (t-test for dependent sample) และวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนโดยการหาค่าดัชนีความก้าวหน้า (normalized gain: $\langle g \rangle$) และแบ่งความก้าวหน้าทางการเรียนออกเป็น 3 ระดับ

ผลการวิจัย

1) ประสิทธิภาพและดัชนีประสิทธิผลของนวัตกรรมกิจกรรมการเรียนรู้

จากการวิเคราะห์คะแนนใบงาน ซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และคะแนนสอบหลังเรียนซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) ของกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่าค่า E_1 และ E_2 ของนักเรียนเท่ากับ 83.46/84.62 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 เมื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนพบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง และสูง จำนวน 0, 7 และ 19 คน ตามลำดับ (ภาพที่ 4) โดยมีค่าเฉลี่ยดัชนีความก้าวหน้า ($\langle g \rangle$) เท่ากับ 0.8141 จัดอยู่ในระดับสูง (high gain) แสดงว่ากิจกรรมการเรียนรู้นี้ทำให้นักเรียนทั้งชั้นมีความก้าวหน้า

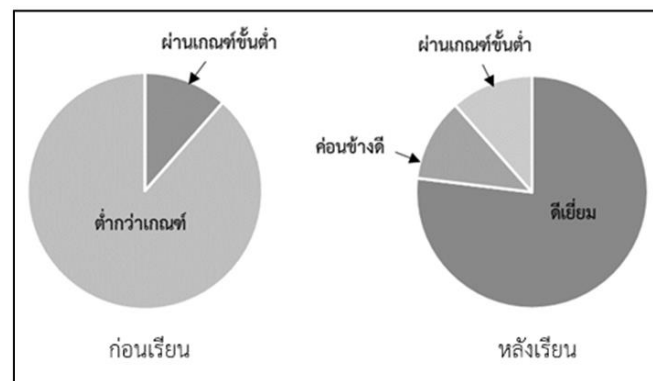
ทางการเรียนเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 81.41 จากข้อมูลความก้าวหน้าทางการเรียนนี้สรุปได้ว่านวัตกรรมนี้เมื่อใช้กับนักเรียนห้องนี้มีค่า E.I. เท่ากับ 0.8141 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.5)



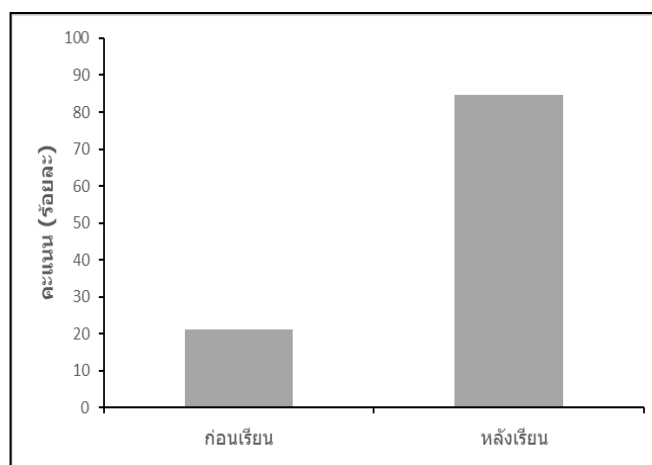
ภาพที่ 4 ดัชนีความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล

2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน

จากการวิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียนพบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 21.15 อยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์จำนวน 23 คน และผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำจำนวน 3 คน เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางในงานวิจัยนี้และมีการทดสอบหลังเรียนพบว่า คะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 84.62 อยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยแบ่งเป็นอยู่ในระดับดีเยี่ยม 20 คน ระดับค่อนข้างดี 3 คน และระดับผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำจำนวน 3 คน (ภาพที่ 5) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนเรียนกับหลังเรียน พบว่านักเรียนได้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ($t = 18.41^*$ และ $p = .00$) โดยที่นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนเท่ากับร้อยละ 21.15 และ 84.62 ตามลำดับสรุปได้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำไปอยู่ในระดับดีเยี่ยมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน



ภาพที่ 6 คะแนนเฉลี่ยร้อยละผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนพบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (84.62 %) มีค่ามากกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน (21.15%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t = 18.41^*$ และ $p = .00$) สรุปได้ว่าวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนจากระดับต่ำกว่าเกณฑ์ไปอยู่ในระดับดีเยี่ยมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้หากพิจารณาการตอบข้อสอบเป็นรายข้อ พบว่า จำนวนนักเรียนที่ตอบข้อสอบหลังเรียนในแต่ละข้อถูกต้องมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในทุกข้อ (ตารางที่ 1) โดยคำถามข้อที่ 1, 2, 3, 4, และ 5 ซึ่งเป็นคำถามที่วัดความจำ ความเข้าใจ และการวิเคราะห์ มีนักเรียนตอบถูกมากกว่าร้อยละ 80 และมีดัชนีความก้าวหน้ารายข้อเฉลี่ยอยู่ในระดับสูง ($<g> \geq 0.7$) สะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับลำดับ ชนิดและจำนวนนิวคลีโอไทด์ของ DNA ที่ได้จากการจำลองดีเอ็นเอ ทิศทางการจำลองดีเอ็นเอ ลำดับการทำงานของเอนไซม์ ชนิดและหน้าที่ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลอง

ดีเอ็นเอ และรูปแบบการจำลองดีเอ็นเอ ในส่วนของคำถามข้อที่ 6 ที่เมื่อนักเรียนจะตอบถูกมากขึ้น แต่จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกยังต่ำกว่าร้อยละ 80 อาจเนื่องมาจากข้อสอบเป็นถามที่วัดความเข้าใจ สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนจำกระบวนการจำลองดีเอ็นเอบางขั้นตอนไม่แม่นยำเนื่องจากมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก

ตารางที่ 1 ร้อยละจำนวนนักเรียนที่ตอบคำถามถูกในแต่ละข้อและดัชนีความก้าวหน้าการเรียนรู้

คำถามที่/ความคิดหลัก	ร้อยละจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกต้อง		<g>
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	
1/ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA และทิศทางการจำลองดีเอ็นเอ	34.62	96.15	0.94
2/ชนิดและจำนวนนิวคลีโอไทด์ของ DNA ที่ได้จากการจำลองดีเอ็นเอ	23.08	84.62	0.80
3/ลำดับการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองดีเอ็นเอ	15.38	80.77	0.77
4/ชนิดและหน้าที่ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองดีเอ็นเอ	15.38	84.62	0.82
5/รูปแบบการจำลองดีเอ็นเอ	30.77	96.15	0.94
6/กระบวนการจำลองดีเอ็นเอ	7.69	65.38	0.63

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัยดังนี้

1. กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ มีประสิทธิภาพ (E_1 และ E_2) เท่ากับ 83.46 และ 84.62 ตามลำดับ และดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.8049 แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพและดัชนีประสิทธิผลตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้

2. กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองดีเอ็นเอ สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนจากระดับต่ำกว่าเกณฑ์ (21.15%) ไปสู่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนระดับดีเยี่ยม (84.62%) ($t = 18.41$, $p = .00$) โดยนักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเท่ากับร้อยละ 81.41 ซึ่งจัดเป็นความก้าวหน้าในระดับสูง เนื่องจากผ่านการแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ มีการทดลองใช้ แก้ว และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับผลการวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่พบว่า กิจกรรมลักษณะนี้ช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น (บุษยา แสงทอง และสุภาพร พรไตร, 2559; วิภา โมทะจิตร, 2557; สุทธิพิทย์ บุญส่ง และสุภาพร พรไตร, 2559; อรุณี จันทร์หอม และสุภาพร พรไตร, 2560)

นอกจากนี้ ขั้นตอนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ยังช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง โดยมีกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมมากที่สุด โดยเริ่มต้นจากการทบทวนความรู้เดิมของนักเรียน และมีการตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนเกิดความสงสัยและจดจ่อกับคำถาม ทำให้นักเรียนมีเป้าหมายของการเรียนและความมุ่งมั่นที่จะเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถามที่ตนสงสัย (สุภาพรพรไตร, 2558) ขั้นต่อไปนักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถาม มีการใช้กิจกรรมจำลองดีเอ็นเอ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่แปลกใหม่ เข้าใจง่าย ช่วยดึงดูดความสนใจของนักเรียนเป็นอย่างดี นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการคิดแสวงหาความรู้อย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอน ซึ่งการใช้กิจกรรมในลักษณะนี้ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกการสังเกตอย่างแน่วแน่ การได้มีสมาธิมุ่งมั่นในการปฏิบัติกิจกรรมทำให้นักเรียนเห็นและเข้าใจสิ่งที่กำลังเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และต่อเนื่อง (ชนันธร อุดมศิลป์ และสุภาพร พรไตร, 2560; Bass et al., 2009) จากนั้นนักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบและเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ด้วยคำถามนำที่ดีจากครู (สุธีระ ประเสริฐสรรพ, 2555) ช่วยให้นักเรียนนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาไปสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ถูกต้องครบถ้วนและตรงประเด็น จากการที่นักเรียนศึกษาวิดีโอและตรวจแก้คำตอบในใบกิจกรรม ทำให้นักเรียนทราบว่าคำตอบนั้นมีหลักฐานสนับสนุนเพียงพอและน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด และมีความคลาดเคลื่อนจากคำอธิบายของนักวิทยาศาสตร์หรือไม่อย่างไร (สุชาติดา พ่อไยราช และสุภาพร พรไตร, 2558) ซึ่งหากมีความสอดคล้องกันจะทำให้นักเรียนเกิดความภาคภูมิใจในตนเอง ที่สามารถใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างองค์ความรู้ได้เช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงในเรื่องที่ตนศึกษา ในทางกลับกันหากผลการศึกษาคคลาดเคลื่อนหรือไม่สอดคล้องกัน จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้บนความผิดพลาดและจำความผิดพลาดและความถูกต้องนั้นได้นานยิ่งขึ้น (สุภาพร พรไตร, 2558) นอกจากนี้ยังมีการให้นักเรียนชื่นชมผลงานของเพื่อนต่างกลุ่ม และมีคำถามให้นักเรียนเปรียบเทียบผลการปฏิบัติกิจกรรมระหว่างกลุ่ม ช่วยให้นักเรียนฝึกคิดวิเคราะห์ สรุปและเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้ สุดท้ายนักเรียนได้มีโอกาสสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง โดยการสุ่มจับสลากถามคำถามเพื่อให้นักเรียนได้มีโอกาสนำเสนอ คิดวิเคราะห์และซักถามแสดงเหตุผลโต้แย้งในคำอธิบายที่สร้างขึ้นระหว่างนักเรียน ซึ่งจะทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งในงานของตนเอง (NRC, 2000; Wu and Hsieh, 2006) นอกจากนี้มีการทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินผลหลังเรียนช่วยให้นักเรียนสรุปองค์ความรู้ที่ถูกต้องอีกครั้งและนำข้อผิดพลาดหรือจุดบกพร่องไปใช้หาแนวทางพัฒนาต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ควรใช้กิจกรรมการเรียนรู้และสื่อที่หลากหลาย น่าสนใจ ทำท่าย กระตุ้นความสนใจของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนมีแรงจูงใจ มีกระตือรือร้นในการเรียน และเข้าใจเนื้อหาที่ซับซ้อนมากขึ้น

1.2 ผู้สอนควรเลือกกิจกรรมที่เหมาะสมกับความรู้เดิมของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนเกิดข้อสงสัยและนำไปสู่กระบวนการหาคำตอบ เก็บข้อมูล สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และนำเสนอเพื่อแสดงเหตุผลโต้แย้งในคำอธิบายที่สร้างขึ้นได้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

ควรมีการวิจัยเพื่อศึกษาตัวแปรอื่นๆ เช่น การคิดวิเคราะห์ ความคงทนในการเรียนรู้ และจิตวิทยาศาสตร์ เป็นต้น เนื่องจากกระหว่างดำเนินการวิจัยพบว่านักเรียนมีหลายพฤติกรรม เช่น ความสามารถในการประมวลข้อมูลมาสร้างคำอธิบาย ถ่ายทอดความคิด ความรับผิดชอบ การแสดงความคิดเห็น การยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น และการทำงานร่วมกับผู้อื่น

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). **ตัวชี้วัดและหลักสูตรแกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- ชนันธร อุดมศิลป์ และสุภาพร พรไตร. (2560). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องวัฏจักรเซลล์และไมโทซิสโดยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติ (hands-on) แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์. **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**, 8(2), 326-340.
- นิวัฒน์ ประสานพันธ์. (2551). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการจำลองโมเลกุล DNA ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค Jigsaw ร่วมกับ Student Team Achievement Division. การค้นคว้าอิสระปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- บุษบา แสงทอง และสุภาพร พรไตร. “การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องกระบวนการจำลองตัวของดีเอ็นเอโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5Es”, ใน **การประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอ.วิจัย ครั้งที่ 10**. น.217-227. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- วีณา โมทะจิตร. (2557). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องยีนและโครโมโซม รายวิชาชีววิทยา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้กิจกรรมร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5Es). การค้นคว้าอิสระปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- สุกัลยา หล้าเหลี่ยม อรุณรัศมี วณิชชานนท์ และเปลื้อง สุวรรณมณี. “ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอต่อการพัฒนามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6”, ใน **การประชุมมหาดไทยวิชาการระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 9**. น.287-297. สงขลา: มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, 2561.

- สุชาติ ป๋อไชยราช และสุภาพร พรไตร. (2558). การยกระดับความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์. **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**, 6(1), 46-56.
- สุชาติ ป๋อไชยราช และสุภาพร พรไตร. “การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการสังเคราะห์ดีเอ็นเอโดยใช้กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์”, ใน **การประชุมทางวิชาการระดับชาติ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 10**. น.228-239. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- สุธีระ ประเสริฐสรรพ. (2555). **โครงการฐานวิจัย : กระบวนการเรียนรู้ใหม่ของการศึกษาไทย**. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).
- สุภาพร พรไตร. (2558). การเรียนรู้เรื่อง วัฏจักรเซลล์และไมโทซิส ด้วยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์: แนวทางเชิงรุกเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคงทนของความรู้. **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**, 6(2), 175-187.
- อรุณี จันทร์หอม และสุภาพร พรไตร. (2560). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องสารพันธุกรรม โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์**, 9(1), 277-290.
- Bass, J.E., Contant, T.C., and Carin, A.A. (2009). **Activities for Teaching Science as Inquiry**. 7th ed. New York.
- Bennett, J. (1998). Modeling DNA replication. **American Biology Teacher**. 60(6), 457- 460.
- Fossey, A. And Hancock, C. (2005). DNA Replication and Transcription: An Innovative Teaching Strategy. **Biochemistry & Molecular Biology Education**. 33(6), 411-415.
- 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.
- Rosenkrantz, K. (2004). Pipe cleaner DNA. **Science Teacher**. 71(5), 58-60.
- Rotbain, and et al. (2005). Understanding molecular genetics through a drawing-based activity. **Journal of Biological Education (Society of Biology)**. 39(4), 174-178.
- Szeberenyi, J. (2005). Analysis of DNA Replication in Plant Cells. **Biochemistry & Molecular Biology Education**. 33(3), 229-230.
- Tania, D.S. and et al. (2007). Introducing DNA Concepts to Swiss High School Students Based on a Brazilian Educational Game. **BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY EDUCATION**. 35, 416–421.

Templin, M. A., & Fethers, M. K. (2002). Meselson-Stahl Experimental Simulation Using Lego™Building Blocks. **The American Biology Teacher**. 64(8), 613–619.

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.