



บทความวิจัย

**การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ
ด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์**สุภาพร พรไตร^{1,2,*} และ โรสลีนา อาแวหามะ³¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190²หน่วยวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190³โรงเรียนเคหะปัตตานียานุกูล อ.เมืองปัตตานี จ.ปัตตานี 94000

*Email: supaporn.p@ubu.ac.th

รับบทความ: 04 พฤษภาคม 2560 ยอมรับตีพิมพ์: 26 ธันวาคม 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ตรวจสอบประสิทธิภาพ (E_1/E_2) และประสิทธิผล (E.I.) ของกิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ เรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ 2) ตรวจสอบความก้าวหน้าทางการเรียน ($<g>$) ของนักเรียน และ 3) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย 1) การพัฒนาแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 11 ข้อ 2) การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ เวลาในการจัดกิจกรรม 150 นาที และ 3) การนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 35 คน ที่ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม เก็บข้อมูลจากแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และใบงานวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้ ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน รวมทั้งผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน ผลการวิจัยพบว่า 1) ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 87.34/83.64 และ 0.77 ตามลำดับ 2) ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนคิดเป็นร้อยละ 77.17 ($<g> = 0.7717$) จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับสูง และ 3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนอยู่ในระดับดีเยี่ยม (83.64%) ซึ่งสูงกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน (28.31%, ระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ) ($p < .05$) สรุปได้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้

คำสำคัญ: การถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ การสืบเสาะวิทยาศาสตร์ กิจกรรมการลงมือปฏิบัติ
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

อ้างอิงบทความนี้

สุภาพร พรไตร และโรสลีนา อาแวหามะ. (2561). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 1(1), 38-48.

Research Article

Developing learning achievement on sex-linked gene inheritance using a science inquiry-based hands-on activity

Supaporn Porntra^{1,2,*} and Rosareena Awaehama³

¹Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University 34190

²Research and Innovation in Science Education Center, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University 34190

³Decha Pattana Yanukun School, Mueang Pattani District, Pattani 94000

*Email: supaporn.p@ubu.ac.th

Received <04 May 2017>; Accepted <26 December 2017>

Abstract

This research aimed to 1) investigate the efficiency (E_1/E_2) and effectiveness (E.I.) of a science inquiry-based hands-on activity in topic of sex-linked gene inheritance, 2) investigate students' learning progression ($\langle g \rangle$) and 3) compare students' pre- and post-learning achievement. Research methodology composed of 1) developing 4 multiple choices of 11 items achievements test, 2) developing a 150-minutes science inquiry-based hands-on activity and 3) implementing the activity to the thirty-five 12-grade participants, drawn by cluster random sampling. Data were collected from pre- and post-learning achievement test and work sheet. The efficiency and effectiveness of learning activity, students' learning progression, as well as students' pre- and post-learning achievements were analyzed. The results showed that 1) the efficiency and effectiveness index of the learning activity were 87.34/83.64 and 0.7717, respectively, 2) the students' learning progression was 77.17% ($\langle g \rangle = 0.7717$), categorized as a high gain level and 3) students' post-learning achievements was an excellent level (83.64%) which is higher than students' pre-learning achievements (28.31%, a low level) ($p < .05$). In conclusion, this learning activity can develop students' learning achievement.

Keywords: Sex-linked gene Inheritance, science inquiry, hands-on activity, learning achievement

Cite this article:

Porntra, S. and Awaehama, S. (2018). Developing learning achievement on sex-linked gene inheritance using a science inquiry-based hands-on activity (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 38-48.

บทนำ

เนื้อหาเรื่องการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นไปตามกฎของเมนเดล และการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล เนื้อหาในส่วนที่สองประกอบด้วยเรื่องการข่มไม่สมบูรณ์ (Incomplete dominance) การข่มร่วมกัน (Codominance) มัลติเปิลแอลลีล (Multiple alleles) พอลิยีน (Polygenes) การถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ (Sex-linked gene) ยีนบนโครโมโซมเดียวกัน (Linked gene) ลักษณะที่ปรากฏจำเพาะเพศ (Sex-limited traits) และลักษณะที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของเพศ (Sex-influenced traits) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

นักวิทยาศาสตร์ศึกษาและครูผู้สอนส่วนใหญ่มีความเห็นตรงกันว่า การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นเรื่องที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ยาก เนื่องจากเนื้อหาที่มีลักษณะเป็นนามธรรม จัดการทดลองให้ผู้เรียนเห็นจริงได้ยาก ครูส่วนใหญ่จึงใช้การถ่ายทอดความรู้โดยวิธีการบรรยาย ในส่วนนี้นักเรียนก็มีความเห็นสอดคล้องกันว่า เรื่องนี้มีความยากในการทำความเข้าใจ (Boomer and Latham, 2011; Mills Shaw et al., 2008) เนื่องจากมีคำศัพท์เทคนิคมาก เช่น ยีนเด่น (Dominant gene) ยีนด้อย (Recessive gene) แอลลีล (Allele) ฮอมอไซกัส (Homozygous) เฮเทอโรไซกัส (Heterozygous) จีโนไทป์ (Genotype) ฟีนไทป์ (Phenotype) การผสมพิจารณา ลักษณะเดียวและสองลักษณะ (Monohybrid and dihybrid cross) (Smith, 2014a; Smith, 2014b) อีกทั้งต้องเชื่อมโยงกับความรู้ทางคณิตศาสตร์ กอปรกับครูผู้สอนส่วนใหญ่เน้นการบรรยายทำให้นักเรียนตั้งใจจดจ่อบนที่จดจำ การคิดไตร่ตรอง (Allchin, 2000; Lewis and Wood-Robinson, 2000; Tsui and Treagust, 2007) สาเหตุทั้งหมดนี้นำไปสู่ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในหลาย ๆ ประเด็น เช่น รูปแบบการถ่ายทอดลักษณะเด่นและลักษณะด้อย ความแตกต่างระหว่างยีนกับแอลลีล รูปแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่เป็นส่วนขยายของพันธุศาสตร์เมนเดล เป็นต้น (Gelbart and Yarden, 2006; Mills Shaw et al., 2008; Saka et al., 2006)

เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดียิ่งขึ้น ครูผู้สอนจำเป็นต้องใช้วิธีการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียน มีการลงมือปฏิบัติผ่านกิจกรรมที่สนุกสนาน มีการใช้ความคิดวิเคราะห์เพื่อให้เกิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และเกิดความเข้าใจที่ถ่องแท้ในเรื่องนั้น ๆ ซึ่งวิธีการจัดการเรียนรู้วิธีหนึ่งที่จะส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดลักษณะดังกล่าวข้างต้นได้แก่ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ (Bybee et al., 2006) ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน แต่ละขั้นมีคุณลักษณะสำคัญตามลำดับดังนี้ 1) นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ 2) นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถาม 3) นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ 4) นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และ 5) นักเรียนสื่อสารและโต้แย้ง แสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง (National Research Council (NRC), 2000)

นอกจากนี้ครูผู้สอนยังสามารถนำกิจกรรมอื่น ๆ ที่หลากหลายเข้าไปอยู่ในแต่ละขั้นของการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ได้ เช่น การใช้กิจกรรมการลงมือปฏิบัติ (Hands-on activity) (Synder, 2008) การสร้างแบบจำลอง (Model) (Stavroulakis, 2005) และการเล่นบทบาทสมมติ (Role-playing) (Chinnici, Yue and Kierom, 2004) จากรายงานการวิจัยหลายฉบับพบว่า การนำกิจกรรมการลงมือปฏิบัติสอดแทรกไปในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ สามารถทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนดีขึ้น (Boomer and Latham, 2011; Dunlap and Patrick, 2012; สุภาพร พรไตร, 2558) เพราะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีปฏิสัมพันธ์เชิงรุก จึงไม่เกิดความเบื่อหน่ายในการเรียน และได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติ

บทความวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอขั้นตอนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ (science inquiry-based hands-on activity) เรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ รวมทั้งประสิทธิภาพ (E_1/E_2) และประสิทธิผล (E.I.) ของกิจกรรมการเรียนรู้ ความก้าวหน้าทางการเรียน (<g>) ของนักเรียน และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน ซึ่งจะเป็นตัวอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อครูในการนำไปปรับใช้ให้เกิดประสิทธิภาพ และบรรลุจุดมุ่งหมายของการจัดการเรียนรู้ในลำดับต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ตรวจสอบประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ เรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่นโครโมโซมเพศ 2) ตรวจสอบความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน และ 3) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

1) พัฒนาแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก มีคำตอบถูกเพียงคำตอบเดียว จากนั้นประเมินคุณภาพโดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา 2 ท่าน และครูผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนชีววิทยา 1 ท่าน จนได้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective: IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.0 นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้น ม. 6 จำนวน 42 คน เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 25 นาที วิเคราะห์ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (r) เลือกข้อสอบไว้ จำนวน 11 ข้อ โดยข้อสอบที่เลือกไว้มีค่า p และค่า r อยู่ระหว่าง 0.26-0.78 (เฉลี่ย 0.56) และ 0.21-0.68 (เฉลี่ย 0.36) ตามลำดับ ในส่วนของค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.82 ข้อคำถามในแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีดังนี้

คำถามที่ 1 สามีภรรยาคนหนึ่งมีลูกชายปกติ ลูกสาวทุกคนเป็นโรค ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของครอบครัวนี้

คำถามที่ 2 ครอบครัวหนึ่งมีพ่อตาบอดสี แม่ตาปกติ มีลูกชายคนหนึ่งตาบอดสี ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับลูกสาวของครอบครัวนี้

คำถามที่ 3 จากพันธุประวัติตาบอดสีต่อไปนี้ ข้อใดคือจีโนไทป์ของบุคคลที่ 2 ในรุ่นที่ I

คำถามที่ 4 ลักษณะใดที่เกิดจากการถ่ายทอดยีนที่อยู่นโครโมโซม Y

คำถามที่ 5 สามีภรรยาคนหนึ่งมีสีผิวปกติ ลูกคนหนึ่งเป็นผิวเผือกและมีหมู่เลือด AB ลูกอีกคนหนึ่งมีสีผิวปกติและมีหมู่เลือด O จีโนไทป์ของสามีภรรยาคู่นี้ควรเป็นแบบใด (A แทน ผิวปกติ, a แทน ผิวเผือก)

คำถามที่ 6 แม่ตาสีฟ้า ตาปกติ มีลูกสาวคนแรกตาสีน้ำตาล ตาบอดสี พ่อจะมีจีโนไทป์เป็นแบบใด (ตาสีน้ำตาลเป็นลักษณะเด่น ตาบอดสีเป็นยีนด้อยที่อยู่นโครโมโซมเพศ)

คำถามที่ 7 ชายคนหนึ่งป่วยเป็นโรคกล้ามเนื้อลีบ ซึ่งเกิดจากการควบคุมโดยยีนด้อยที่อยู่นโครโมโซม X และมีเลือดหมู่ O แม่ของชายคนนี้จะมีลักษณะในข้อใด

คำถามที่ 8 ลักษณะพันธุกรรมในข้อใดที่ควบคุมโดยยีนเด่นบนโครโมโซมร่างกาย

คำถามที่ 9 สามีภรรยาคนหนึ่งเป็นพาหะของโรคธาลัสซีเมีย โอกาสที่ลูกคนแรกจะเป็นโรคธาลัสซีเมียเป็นเท่าไร

คำถามที่ 10 สามีภรรยาทั้งคู่มีโอกาสได้ลูกเป็นโรคอิริโทรบลาสโทซิสฟีทาลิสมากที่สุด

คำถามที่ 11 ชายคนหนึ่งมีลักษณะผิวเผือกแต่งงานกับหญิงผิวปกติ มีลูกชายผิวปกติ 1 คน และลูกสาวผิวเผือก 1 คน ลูกชายแต่งงานกับหญิงผิวปกติและมีลูกสาวด้วยกัน 2 คน ซึ่งมีผิวปกติ ข้อใดคือพันธุประวัติของครอบครัวนี้

2) พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ โดยให้มีลักษณะของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของ NRC (2000) เวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรม 3 คาบ ประมาณ 150 นาที จากนั้นประเมินคุณภาพโดยอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา 1 ท่าน และครูผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนชีววิทยา 2 ท่าน ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะจนได้แผนการจัดการเรียนรู้ที่มีค่า IOC เท่ากับ 1 นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้น ม. 6 จำนวน 29 คน พบว่า กิจกรรมการเรียนรู้มีค่าประสิทธิภาพและดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 80.73/80.25 และ 0.6719 ตามลำดับ กิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ (10 นาที)

- 1) ครูทบทวนความรู้เดิมเรื่อง “การศึกษาพันธุศาสตร์ของเมนเดล”
- 2) ครูให้นักเรียนดูภาพของเด็กผู้ชาย และเด็กผู้หญิง และถามนักเรียนว่าเด็กในภาพมีอะไรที่แตกต่างกันบ้าง และนักเรียนคิดว่าอะไรที่เป็นตัวควบคุมลักษณะนั้น
- 3) ครูให้นักเรียนดูวิดีโอเกี่ยวกับการทดลองของมอร์แกน แล้วให้นักเรียนตอบคำถามดังนี้ สิ่งใดที่ผิดปกติเกี่ยวกับ F_2 ในการผสมข้ามของมอร์แกน ยีนสำหรับสีตาอยู่ที่ไหน มอร์แกนทดสอบสมมติฐานของเขาเกี่ยวกับตำแหน่งของยีนสีตาอย่างไร แมลงหวี่ตัวเมียมีจีโนไทป์แบบใด มนุษย์ผู้หญิงมีจีโนไทป์แบบใด แมลงหวี่ตัวผู้มีจีโนไทป์แบบใด มนุษย์ผู้ชายมีจีโนไทป์แบบใด จีโนไทป์ของผู้หญิงและผู้ชายต่างกันอย่างไร

ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถาม (40 นาที)

- 1) นักเรียนทำกิจกรรมเพื่อศึกษาการถ่ายทอดลักษณะตาบอดสี โดยให้นักเรียนแต่ละคนมารับอุปกรณ์ดังนี้ แก้วกระดาษ 2 ใบ ลูกปัดสีขาว 3 เม็ด และลูกปัดสีน้ำเงิน 1 เม็ด (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ชุดกิจกรรมการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ

- 2) นักเรียนเขียนคำว่า “พ่อ” และ “แม่” บนแก้วกระดาษคำละใบ จากนั้นใช้ปากกาทำจุดบนลูกปัดสีขาว 1 เม็ด (ลูกปัดสีขาว หมายถึงโครโมโซม X โดย 1 เม็ด แทน 1 แอลลีล) ใส่ลูกปัดนี้รวมกับลูกปัดสีขาวอีกเม็ดที่ไม่มีเครื่องหมายไว้ในแก้ว “แม่” (เป็นพาหะ)
- 3) นักเรียนทำเครื่องหมายจุดสีดำบนลูกปัดสีขาวที่เหลือ และใส่ในแก้วพร้อมกับลูกปัดสีน้ำเงิน (ลูกปัดสีน้ำเงิน หมายถึงโครโมโซม Y โดย 1 เม็ด แทน 1 แอลลีล)
- 4) นักเรียนหลับตาแล้วหยิบลูกปัดขึ้นมาจากแก้วทั้งสองใบพร้อม ๆ กัน เพื่อแสดงว่าพ่อแม่มีส่วนร่วมช่วยในการสร้างโครโมโซมเพศเพื่อทำการปฏิสนธิกัน
- 5) จากนั้นบันทึกผลลงในตาราง ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 ทั้งหมด 10 ครั้ง
- 6) นักเรียนสอบถามข้อมูลของเพื่อนเกี่ยวกับจำนวนของผู้หญิงและผู้ชายที่ตาบอดสี

ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (คำตอบ) จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ (40 นาที)

นักเรียนแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ละ 5-6 คน แต่ละกลุ่มได้รับบัตรสถานการณ์ 2 แผ่น (Hypophosphatemia และ Albinism) ที่กล่าวถึงความผิดปกติ ยีน อากาศ สถานการณ์สมมติการแต่งงานระหว่างชายและหญิง และคำถามสำคัญเกี่ยวกับจีโนไทป์และฟีโนไทป์ของรุ่นลูก ร้อยละของรุ่นลูกที่เป็นโรค ร้อยละของลูกผู้หญิงและลูกผู้ชายที่เป็นโรค นักเรียนในกลุ่มร่วมกันศึกษาข้อมูลและตอบคำถาม

ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (30 นาที)

กลุ่มนักเรียนที่หยิบฉลากได้หัวข้อยืนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ และหัวข้อโครโมโซมร่างกาย นำเสนอข้อมูลหน้าชั้นเรียน นักเรียนส่วนที่เหลือตรวจสอบและแก้ไขคำตอบในใบกิจกรรมที่ครูแจกโดยใช้ปากกาแดง

ขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง (30 นาที)

ตัวแทนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอบัตรสถานการณ์ พร้อมแสดงวิธีคิดให้เพื่อนๆ ได้ร่วมแสดงความคิดเห็น และสุ่มนักเรียนเพื่อบอกความเหมือนและความแตกต่างระหว่างการถ่ายทอดยืนที่อยู่บนโครโมโซมร่างกายและยืนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ

3) นำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและกิจกรรมการเรียนรู้ที่ได้มาตรฐานแล้วไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 35 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster random sampling) จากประชากรนักเรียนชั้น ม.6 แผนการเรียนวิทย์-คณิต ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดปัตตานี โดยใช้รูปแบบการวิจัยแบบการทดลองกลุ่มเดียวสอบก่อนเรียนและสอบหลังเรียน (One-group pretest-posttest design) โดยมีขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังนี้ 1) ทดสอบก่อนเรียน 2) จัดกิจกรรมการเรียนรู้ และ 3) ทดสอบหลังเรียน

การวิเคราะห์ข้อมูล

- 1) หาค่าเฉลี่ยและร้อยละของคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน และคะแนนใบงาน
- 2) หาค่าประสิทธิภาพของกิจกรรมจากคะแนนใบงานและคะแนนสอบหลังเรียน โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และหาค่าดัชนีประสิทธิผลจากคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2556)
- 3) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนโดยการหาค่าดัชนีความก้าวหน้า และแบ่งความก้าวหน้าทางการเรียนออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับสูง (High gain) ระดับกลาง (Medium gain) และระดับต่ำ (Low gain) (Hake, 1998)
- 4) วิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน และแบ่งผลการเรียนออกเป็น 8 ระดับ ตามเกณฑ์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ดังนี้ ดีเยี่ยม (ร้อยละ 80-100) ดีมาก (ร้อยละ 75-79) ดี (ร้อยละ 70-74) ค่อนข้างดี (ร้อยละ 65-69) คะแนน (ร้อยละ 60-64) พอใช้ (ร้อยละ 55-59) ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (ร้อยละ 50-54) ไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (ร้อยละ 0-49)
- 5) เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยใช้การทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระ (t-test for dependent sample)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

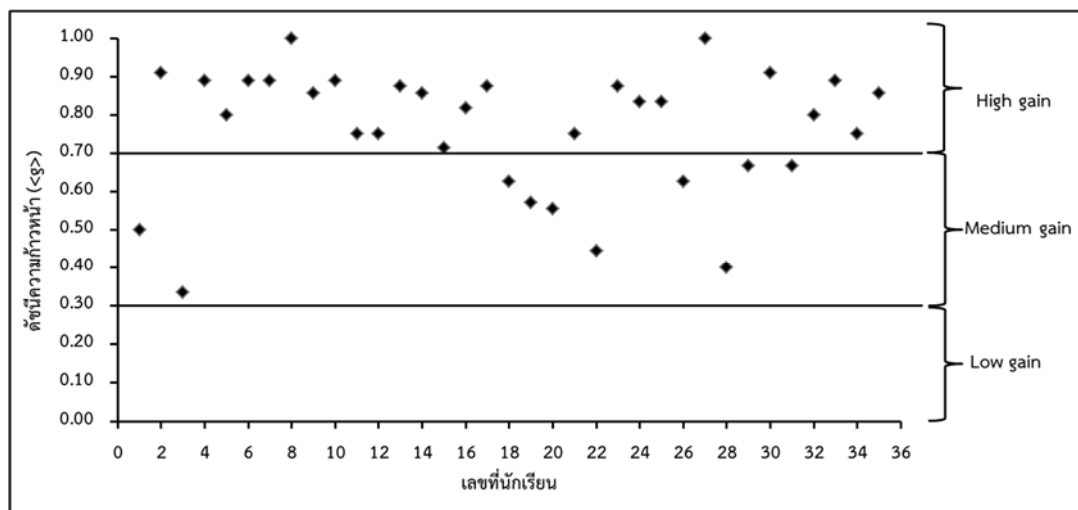
ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพและดัชนีประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้

จากการวิเคราะห์คะแนนใบงาน ซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และคะแนนสอบหลังเรียนซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) ของกิจกรรมการเรียนรู้พบว่า กิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ เรื่องการถ่ายทอดยืนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 87.34/83.64 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (80/80) ที่ตั้งไว้ ในส่วนของดัชนีประสิทธิผลมีค่าเท่ากับ 0.77 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.5) ที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2556)

2. ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน

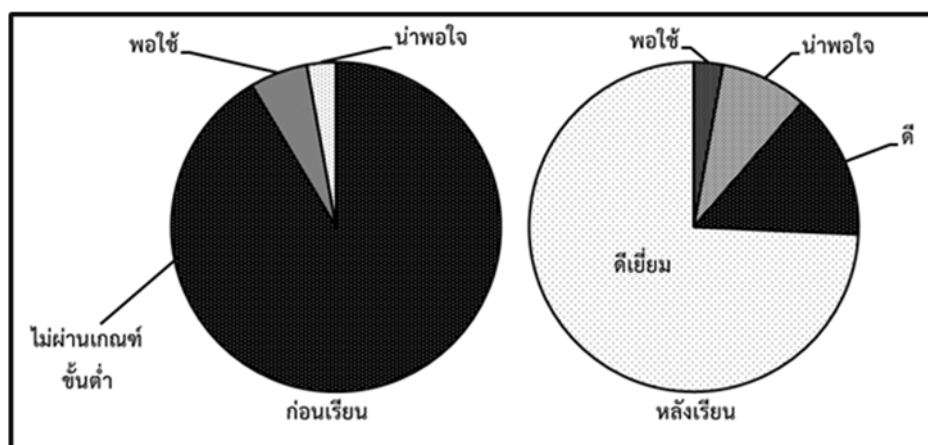
เมื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยของนักเรียนทั้งชั้นพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.7717 จัดอยู่ในระดับสูง สะท้อนให้เห็นว่าโดยเฉลี่ยแล้วนักเรียนทั้งชั้นมีความก้าวหน้าทางการเรียนสูงถึงร้อยละ 77.17 นอกจากนี้ยังพบว่า มีนักเรียนจำนวนร้อยละ 71.43 และ 28.57 ของนักเรียนทั้งหมดมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูงและระดับปานกลาง ตามลำดับ และไม่มีนักเรียนคนใดที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ดัชนีความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล

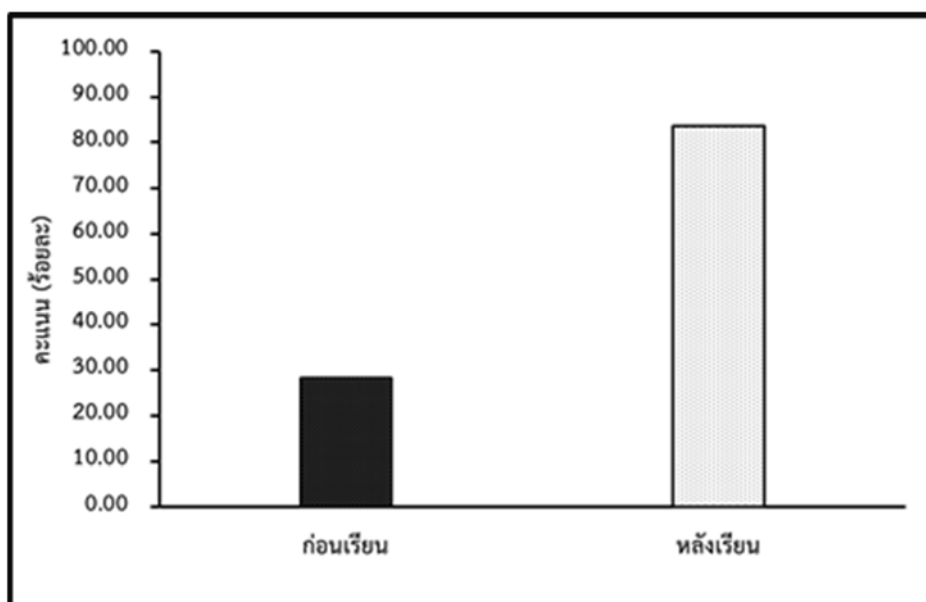
3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน

จากการวิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียนพบว่า นักเรียนทั้งชั้นได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 28.31 จัดอยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ โดยมีจำนวนนักเรียนถึงร้อยละ 91.43 ของนักเรียนทั้งหมด ได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางในงานวิจัยนี้และมีการทดสอบหลังเรียนพบว่า นักเรียนทั้งชั้นได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 83.64 จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยมีจำนวนนักเรียนถึงร้อยละ 74.29 และร้อยละ 14.29 ของนักเรียนทั้งหมด ได้คะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับดีเยี่ยมและระดับดี ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่า ไม่มีนักเรียนคนใดที่มีคะแนนสอบหลังเรียนอยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยจากการสอบก่อนเรียน (28.31) กับคะแนนเฉลี่ยจากการสอบหลังเรียน (83.64) (ภาพที่ 4) พบว่า นักเรียนได้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) สรุปได้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ เรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศ สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้



ภาพที่ 4 คะแนนเฉลี่ย (ร้อยละ) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน

นอกจากนี้หากพิจารณาการตอบข้อสอบเป็นรายข้อ พบว่าจำนวนนักเรียนที่ตอบข้อสอบหลังเรียนในแต่ละข้อถูกต้องมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในทุกข้อ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ที่ตอบคำถามถูกในแต่ละข้อของการทดสอบก่อนเรียน หลังเรียน และดัชนีความก้าวหน้า

คำถามและความคิดหลัก	จำนวนนักเรียนที่ตอบถูก (%)		
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	<g>
คำถามที่ 1 การถ่ายทอดยีนเด่นที่อยู่บนโครโมโซม X	22.86	62.86	0.52
คำถามที่ 2 การถ่ายทอดยีนด้อยที่อยู่บนโครโมโซม X (ตาบอดสี)	51.43	85.71	0.71
คำถามที่ 3 พันธุประวัติ (ตาบอดสี)	17.14	85.71	0.83
คำถามที่ 4 การถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซม Y	25.71	74.29	0.65
คำถามที่ 5 การถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมร่างกาย (สีผิวและหมู่เลือด)	40.00	88.57	0.81
คำถามที่ 6 การถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมร่างกาย (สีตา) และ การถ่ายทอดยีนด้อยที่อยู่บนโครโมโซม X (ตาบอดสี)	48.57	100.00	1.00
คำถามที่ 7 การถ่ายทอดยีนที่อยู่บนโครโมโซมร่างกาย (หมู่เลือด) และ การถ่ายทอดยีนด้อยที่อยู่บนโครโมโซม X (กล้ามเนื้อแขนขาลีบ)	14.29	91.43	0.90
คำถามที่ 8 ลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยยีนเด่นบนโครโมโซมร่างกาย	20.00	71.43	0.64
คำถามที่ 9 การถ่ายทอดยีนด้อยของโรคธาลัสซีเมีย	20.00	82.86	0.79
คำถามที่ 10 การถ่ายทอดยีนด้อยของโรคอิริโทรบลาสโทซิสฟีทาลิส	31.43	77.14	0.67
คำถามที่ 11 พันธุประวัติของการถ่ายทอดยีนด้อยของโรคผิวหนังผื่น	20.00	100.00	1.00

โดยคำถามข้อที่ 2, 3, 5, 6, 7, 9 และ 11 มีจำนวนนักเรียนมากกว่าร้อยละ 80 ของนักเรียนทั้งหมดตอบข้อสอบหลังเรียนถูกต้อง สะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับ

การถ่ายทอดยีนที่อยู่นบนโครโมโซมร่างกายของสัตว์ สัตว์ หมู เลือด และโรคธาลัสซีเมีย การถ่ายทอดยีนด้อยที่อยู่นบนโครโมโซม X ของโรคตาบอดสีและโรคกล้ามเนื้อแขนขาลีบ และพันธุประวัติของการถ่ายทอดยีนที่ควบคุมโรคผิวหนังและตาบอดสี ในส่วนของคำถามข้อที่ 1, 4, 8 และ 10 ที่มีจำนวนนักเรียนตอบข้อสอบหลังเรียนถูกต่ำกว่าร้อยละ 80 ของนักเรียนทั้งหมด สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการถ่ายทอดยีนเด่นที่อยู่นบนโครโมโซม X การถ่ายทอดยีนที่อยู่นบนโครโมโซม Y ลักษณะพันธุกรรมที่ควบคุมด้วยยีนเด่นบนโครโมโซมร่างกาย และการถ่ายทอดยีนด้อยของโรคอิริโทรบลาสโทซิสฟีทาลิส

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยโดยรวมสะท้อนให้เห็นว่า กิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ เรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่นบนโครโมโซมเพศ ที่พัฒนาขึ้นโดยผ่านการแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ มีการทดลองใช้ แก้ว และปรับปรุงอย่างต่อเนื่องมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และมีดัชนีประสิทธิผลสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป สามารถทำให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่องที่เรียน

ผลการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Boomer and Latham (2011), Dunlap and Patrick (2012), สุชาติ พ่อไชยราช และสุภาพร พรไตร (2558), สุภาพร พรไตร (2558; 2559) ที่พบว่า การสอดแทรกกิจกรรมการลงมือปฏิบัติเข้าไปในขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถามของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ สามารถทำให้กิจกรรมนั้น ๆ มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มสูงขึ้นและมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง ทั้งนี้เพราะกิจกรรมการลงมือปฏิบัติทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพเชิงรุก มีความกระตือรือร้น สนใจกิจกรรมการเรียน มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ตลอดเวลา จึงไม่เกิดความเบื่อหน่ายในการเรียน นักเรียนได้ฝึกการสังเกตอย่างแน่นแฟ้น ได้ฝึกคิดและใช้สมาธิอย่างมุ่งมั่นในการปฏิบัติกิจกรรมเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้นักเรียนเห็นปรากฏการณ์และเข้าใจสิ่งที่กำลังเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และต่อเนื่อง นำไปสู่การสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองอย่างถ่องแท้ ซึ่งความรู้นี้จะมีความคงทนมากกว่าความรู้ที่เกิดจากการท่องจำเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้ การที่นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญประการแรกของการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ จะทำให้เกิดความสงสัยที่จะเป็นแรงผลักดันสำคัญให้นักเรียนแสวงหาความรู้อย่างมีเป้าหมาย และมีการกำหนดประเด็นที่จะศึกษาอย่างชัดเจน ในขั้นของการเน้นย้ำให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบและเชื่อมโยงคำอธิบายนั้นไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนได้ฝึกอธิบายข้อค้นพบของตนเองอย่างมีเหตุผล ได้ฝึกการคิดวิเคราะห์ สร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่พบกับหลักฐานสนับสนุนว่าสมเหตุสมผลหรือไม่ เป็นการตรวจสอบความรู้ด้วยตัวของนักเรียนเอง ส่งผลให้เกิดเป็นความจำระยะยาว และในขั้นการโต้แย้งนักเรียนได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้อื่น แสดงเหตุผลในการอธิบายระหว่างเพื่อนในกลุ่มและต่างกลุ่ม ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจลึกซึ้งในงานของตน (สุภาพร พรไตร, 2558)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

กิจกรรมการเรียนรู้แบบการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ เรื่องการถ่ายทอดยีนที่อยู่นบนโครโมโซมเพศ มีลักษณะการจัดการเรียนรู้เป็นแบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ ที่เน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้มากที่สุด ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติทีละขั้นตอน ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ 150 นาที วิจัยดำเนินการกิจกรรมประกอบด้วย 5 ขั้นตอน แต่ละขั้นมีคุณลักษณะสำคัญตามลำดับดังนี้ ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ (10 นาที) ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับคำถาม (40 นาที) ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ (40 นาที) ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (30 นาที) และ ขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง (30 นาที) ดังนั้น ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับนักเรียนพบว่า

1) ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกิจกรรมการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 87.34/83.64 และ 0.77 ตามลำดับ
 2) ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนคิดเป็นร้อยละ 77.17 ($t = 0.7717$) จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับสูง
 และ 3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนอยู่ในระดับดีเยี่ยม (83.64%) ซึ่งสูงกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
 ก่อนเรียน (28.31%, ระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ) ($p < .05$) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้สามารถพัฒนา
 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการทำข้อสอบข้อ 1, 4, 8 และ 10 ที่สะท้อนว่านักเรียนประมาณร้อยละ 30 ยังคงมีความเข้าใจที่
 คลาดเคลื่อน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการพัฒนาในส่วนนี้ให้ดียิ่งขึ้นครูอาจปรับรายละเอียดของกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

1) ควรให้ผู้เรียนฝึกทำโจทย์ความน่าจะเป็นที่มีหลายลักษณะ โดยเฉพาะการถ่ายทอดยีนเด่นที่อยู่บน
 โครโมโซม X

2) ควรยกสถานการณ์ที่เป็นการถ่ายทอดยีนเด่นที่อยู่บนโครโมโซม X ในบัตรสถานการณ์ให้มากขึ้น พร้อม
 เน้นย้ำวิธีคิดคำนวณ

3) ควรเพิ่มเติมโจทย์ที่มีพันธุประวัติและถามเกี่ยวกับจีโนไทป์ในรุ่นก่อนหน้า

เอกสารอ้างอิง

- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*, 5(1), 7-20.
- วรวิทย์ ศรีโพธิ์ และสุภาพร พรไตร. (2557). การจำลองพันธุศาสตร์ของมังกร: กิจกรรมเพื่อการจัดการเรียนรู้การ
 ถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการ
 เรียนรู้*, 5(2), 118-127.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 4 กลุ่ม
 สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การค้ำของ สกสศ. (ลาดพร้าว).
- สุชาดา โพธิ์ไชยราช และสุภาพร พรไตร. (2558). การยกระดับความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์ด้วยการจัดการเรียนรู้
 แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 6(1),
 46-56.
- สุภาพร พรไตร. (2558). การเรียนรู้เรื่องวัฏจักรเซลล์และไมโทซิสด้วยการสืบเสาะวิทยาศาสตร์: แนวทางเชิงรุกเพื่อ
 เพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนของความรู้. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ
 สิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 6(2), 175-187.
- สุภาพร พรไตร. (2559). การเรียนรู้วัฏจักรเครบส์ในการสลายสารอาหารระดับเซลล์ด้วยการสืบเสาะวิทยาศาสตร์:
 กิจกรรมการลงมือปฏิบัติ (hands-on) เพื่อยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน. *วารสารหน่วยวิจัย
 วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 7(2), 285-297.
- Allchin, D. (2000). Mending Mendelism. *The American Biology Teacher*, 62, 633-639.
- Boomer, S. M. and Latham, K. L. (2011). Manipulatives-based laboratory for major's biology a hands-
 on approach to understanding respiration and photosynthesis. *Journal of Microbiology
 and Biology Education*, 12(2), 127-134.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P.V., Powell, J.C., Westbrook, A. and Landes, N. (2006).
The BSCS 5E instructional model: origins and effectiveness. A report prepared for the
 office of science education national institute of health.
- Chinnici, J. P., Yue, J. W. and Kierom, M. T. (2004). Students as "human chromosome" in role-
 playing mitosis and meiosis. *The American Biology Teacher*, 66(1), 35-39.

- 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.
- Gelbart, H. and Yarden, A. (2006). Learning genetics through an authentic research simulation in bioinformation. **Journal of Biological Education**, 30(3), 107-112.
- 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.
- Lewis, J. and Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance—Do students see any relationship. **International Journal of Science Education**, 22, 177-195.
- Mills Shaw, R. K., Horne, V. K., Zhang, H. and Boughman, J. (2008). Essay content reveals misconception of high school students in genetics content. **Genetic**, 178, 1157-1168.
- National Research Council [NRC]. (2000). **Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning**. Washington D.C.: National Academy.
- Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R. and Ayas, A. (2006). A crossage study of the understanding of three genetic concepts: How do they image the gene, DNA and chromosome? **The Journal of Science Education and Technology**, 15(2), 192-202.
- Smith, M. U. (2014a). It's not your Grandmother's Genetics Anymore! (Part 1). **The American Biology Teacher**, 76(4), 224-229.
- Smith, M. U. (2014b). It's not your Grandmother's Genetics Anymore! (Part 2). **The American Biology Teacher**, 76(5), 306-310.
- Stavroulakis, A. M. (2005). Meio-socks & other genetic yarns. **The American Biology Teacher**, 67(4), 233-238.
- Synder, J. (2008). It's all in the bag: A genetics activity. **The American Biology Teacher**, 70(6), 357-362.
- Tsui, C. Y. and Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary school students' conceptual status. **Journal of research in Science Teaching**, 44, 205-235.