การเรียนรู้เรื่อง วัฏจักรเซลล์และไมโทซิส ด้วยการสืบเสาะวิทยาศาสตร์: แนวทางเชิงรุกเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคงทนของความรู้

สุภาพร พรไตร

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ และหน่วยวิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190
E-mail: sporntrai@gmail.com

รับบทความ: 19 มิถุนายน 2558 ยอมรับตีพิมพ์: 2 ตุลาคม 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์เรื่อง วัฏจักรเซลล์และไมโทซิส รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพและประสิทธิผลด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคงทนของความรู้ ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วยการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้และแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และนำไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษา ซึ่งได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 36 คน เก็บข้อมูลจาก 1) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนซึ่งเป็นข้อสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 7 ข้อ 2) ใบงาน และ 3) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน 2 ครั้ง (ครั้งที่ 1 สอบหลังเสร็จสิ้นกิจกรรมการเรียนรู้ และครั้งที่ 2 สอบหลังเสร็จสิ้นกิจกรรมการเรียนรู้ 15 วัน) ผลการวิจัยพบว่ากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์นี้ ประกอบด้วย 5 ขั้น ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถาม ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง ใช้เวลาในการจัดกิจกรรม 60 นาที ประสิทธิภาพของกิจกรรม (E1/E2) และค่าดัชนีประสิทธิผลมีค่าเท่ากับ 81.4/80.6 และ 0.7713 ตามลำดับ ทำให้นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียน (<*g*>) คิดเป็นร้อยละ 77.13 จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับสูง ทำให้นักเรียนยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (16.3%) ไปสู่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนระดับดีเยี่ยม (80.56%) ($p < .05$) และนักเรียนยังคงมีความความคงทนของความรู้ (80.16%) ไม่แตกต่างจากการสอบหลังเรียนครั้งที่ 1 ($p \geq .05$)

คำสำคัญ: การสืบเสาะวิทยาศาสตร์ วัฏจักรเซลล์ ไมโทซิส ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความคงทนของความรู้

Learning Cell Cycle and Mitosis by Science Inquiry: An Active Way to Increase Academic Achievement and Knowledge Retention

Supaporn Porntrai

Department of Biological Sciences, and Research and Innovation in Science Education Center,
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University 34190, Thailand
E-mail: sporntrai@gmail.com

Abstract

This research aimed to develop science inquiry-based learning activity in topic of cell cycle and mitosis including study efficiency and effectiveness in terms of academic achievement and retention. Research methodology comprised of developing learning activity and achievement test and introducing the activity to the participants which is a total of 36 grade-10 students. Data were collected from 1) pre-academic achievement test which is 7 items of 4-multiple choices test, 2) work sheets, and 3) post-academic achievement test. The post-academic achievement test were proposed after completing learning activity and 15 days after finishing the learning activity. The results showed that this 60-minutes-science-inquiry-based learning activity composed of 5 steps as follows: 1) learner engages in scientifically oriented questions; 2) learner gives priority to evidence in responding to question; 3) learner formulates explanations from evidence; 4) learner connects explanations to scientific knowledge; and 5) learner communicates and justifies explanation. The efficiency (E1/E2) and effectiveness (E.I.) of this activity were 81.4/ 80.6 and 0.7713, respectively. It allowed students to gain 77.13% learning progression (<*g*>) which represented a high gain level. In addition, it also allowed students to improve their pre-academic achievement from a low level (16.3%) to be an excellent level for first post-academic achievement (80.56%) which is a significant increasing. After 15 days of learning, students still had knowledge retention (80.16%) by which there was no difference from the first post-academic achievement scores.

Keywords: Science inquiry, Cell cycle, Mitosis, Academic achievement, Knowledge retention

บทนำ

แนวคิดวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับวัฏจักรเซลล์และไมโทซิสได้รับการบรรจุไว้ในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต (Ministry of Education, 2012) ความเข้าใจในขั้นตอนและกระบวนการของวัฏจักรเซลล์และไมโทซิสไม่เพียงแต่ช่วยให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีในเรื่องนี้แล้ว หากแต่ยังส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดีในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การเจริญของสิ่งมีชีวิต การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เทคโนโลยีชีวภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (Banet and Ayuso, 2000; Lewis and Kattmann, 2004; Lewis and Wood-Robinson, 2000)

ผู้สอนจำนวนไม่น้อยถ่ายทอดความรู้ในเรื่องนี้ด้วยการบรรยาย บางท่านใช้กระดาษและดินสอช่วยในการอธิบาย (Mertens and Walker, 1992) ผู้สอนจำนวนหนึ่งใช้กิจกรรมลงมือปฏิบัติ (hands-on) เพื่อจำลองพฤติกรรมของโครโมโซมที่เกิดขึ้นระหว่างการแบ่งเซลล์กิจกรรมเหล่านี้ทำจากวัสดุแบบต่าง ๆ เช่น หลอดกาแฟและลวดกำมะหยี่ (Mathis, 1979) ที่หนีบผ้า (Coleman, 1986) แผ่นกระดานปักหมุด (Gow and Nicholl, 1988) โมเดลมือ (Mickle, 1990) มาร์ชมอลโลว์ (Sodenberg, 1992) ริบบิ้น (Levy and Benner, 1995) เส้นด้ายและกระดาษ (Stencel, 1995) ลวดกำมะหยี่และด้ายหลากสี (Clark and Mathis, 2000) โครโมโซมกระดาษของมังกร (Harrell, 2001) ถุงเท้าหลากสี (Chinnici et al., 2006) ทุ่นลอยว่ายน้ำ (Farrar and Barnhart, 2011) ลวดสปริง (Luo, 2012) โซ่พลาสติก (Porntrai, 2014) รวมไปถึงชุดการเรียนรู้ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธีบทบาทสมมติ (role-play) เพื่อช่วยให้นักเรียนเรียนรู้เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ได้ดีขึ้น (Chinnici et al., 2004; Wyn and Stegink, 2000)

อย่างไรก็ตามแม้จะมีการใช้เทคนิควิธีที่หลากหลาย แต่ยังพบว่า นักเรียนจำนวนไม่น้อยยังคงมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการแบ่งเซลล์ Kindfield (1991) รายงานว่า พลอยดี้ (ploidy) และโครงสร้างของโครโมโซมเป็นหัวข้อที่นักเรียนมีความสับสนมากในการเรียนเรื่องการแบ่งเซลล์ นอกจากนี้ยังพบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอื่น ๆ เช่น ความแตกต่างระหว่างโครมาทิด โครโมโซม และฮอโมโลกัสโครโมโซม (Clark and Mathis, 2000) การลำดับระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละระยะ เช่น การจำลองดีเอ็นเอเกิดขึ้นในระยะโพรเฟส จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่งในระยะแอนาเฟส โครโมโซมจะมี 2 โครมาทิดตลอดการแบ่งเซลล์ (Dikmenli, 2010; Nakthong et al., 2007; Ozcan et al., 2012) Smith (1991) กล่าวว่าความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้จะต้องได้รับการปรับแก้ด้วยเทคนิคการจัดการเรียนรู้ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นครูจำเป็นต้องออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลายเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับนักเรียนในบริบทของตนเอง

Ozcan et al. (2012) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้วิชาชีววิทยาจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อนักเรียนมีปฏิสัมพันธ์เชิงรุก (active interaction) ในกระบวนการจัดการเรียนรู้ ดังนั้นครูที่สอนวิชาชีววิทยาจำเป็นต้องลดบทบาทการบรรยาย (lecture) และเพิ่มการใช้กลวิธีที่ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยการค้นพบ (discovery) ประสบการณ์ลงมือปฏิบัติ และการทำงานแบบมีปฏิสัมพันธ์ภายในกลุ่มโดยผ่านกระบวนการสืบเสาะ (inquiry process) ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย (Ozcan et al., 2012) มีการใช้

กระบวนการคิดวิเคราะห์ การคิดเชิงเหตุผลที่นำไปสู่การเกิดความเข้าใจที่ถ่องแท้ (Prasertsan, 2012; McDonald, 2012) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบและเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือ (NRC, 2000) และการนำเสนอคิดวิเคราะห์และซักถาม แสดงเหตุผลโต้แย้งในคำอธิบายที่สร้างขึ้น ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งในงานของตนเอง (NRC, 2000; Porntrai, 2012; Proulx, 2004) สิ่งเหล่านี้ทำให้นักเรียนที่ผ่านการเรียนรู้ด้วยวิธีนี้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถด้านการคิดเพิ่มขึ้น (Sripho and Porntrai, 2014; Phochaiyarach and Porntrai, 2015; Porntrai, 2014)

บทความวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์เรื่อง วัฏจักรเซลล์และไมโทซิส รวมถึงผลต่อการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคงทนของความรู้ของนัก – เรียน ซึ่งเป็นตัวอย่างที่เป็นประโยชน์ต่อครูในการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้เกิดประสิทธิภาพและบรรลุจุดมุ่งหมายของหลักสูตรในลำดับต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

1. พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง วัฏจักรเซลล์และไมโทซิส โดยให้มีลักษณะของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของ NRC (2000) ประกอบไปด้วย ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถาม ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (คำตอบ) จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง เวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมประมาณ 60 นาที จากนั้นประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะจนได้แผนการจัดการเรียนรู้ที่มีค่า IOC เท่ากับ 1 นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 40 คน พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้นี้มีค่า E1/E2 และค่า E.I. เท่ากับ 83/81 และ 0.6743 ตามลำดับ

2. พัฒนาแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จากนั้นประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะจนได้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีค่า IOC เท่ากับ 1 นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 40 คน เวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ 7 นาที วิเคราะห์ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ เลือกข้อสอบไว้ จำนวน 7 ข้อ โดยข้อสอบที่เลือกไว้มีค่าความยาก และค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.33 – 0.79 (เฉลี่ย 0.63) และ 0.25 – 0.83 (เฉลี่ย 0.43) ตามลำดับ ในส่วนของค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.61

3. นำกิจกรรมและแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้มาตรฐานแล้วไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษา ได้แก่นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์–คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 36 คน โดยมีขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังนี้

3.1 ทดสอบก่อนเรียน โดยใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ประกอบด้วยข้อคำถามดังนี้

ข้อที่	คำถาม
1	ข้อใดเรียงลำดับขั้นตอนในวัฏจักรเซลล์ได้ถูกต้อง
2	ข้อใดเรียงลำดับขั้นตอนการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิสได้ถูกต้อง
3	ข้อใดเป็นเหตุการณ์ที่พบในระยะโพรเฟสของการแบ่งแบบไมโทซิส
4	เซลล์ที่อยู่ในระยะใดของวัฏจักรเซลล์มีปริมาณดีเอ็นเอน้อยที่สุด
5	เซลล์ร่างกายชนิดหนึ่งใช้เวลาในการแบ่ง 1 รอบประมาณ 10 นาที ถ้าเริ่มต้นมีเซลล์จำนวน 100 เซลล์ เมื่อเวลาผ่านไปครึ่งชั่วโมง จะมีเซลล์ในขวดเลี้ยงเซลล์จำนวนเท่าใด
6	จากภาพโครงสร้างหมายเลขใดที่ทำให้เกิดการแยกกันของ sister chromatid
7	จากการศึกษาพบว่า เซลล์เยื่อบุข้างแก้มประกอบด้วยนิวเคลียส 4 อัน เซลล์นี้น่าจะมีความผิดปกติในขั้นตอนใดของการแบ่งเซลล์

3.2 จัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ (60 นาที)

3.3 ทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 1 โดยใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับเดิมแต่สลับข้อ สลับตัวเลือก

3.4 ทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 2 หลังการทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 1 ผ่านไป 15 วัน โดยใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับเดิมแต่สลับข้อ สลับตัวเลือก

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียน ระหว่างเรียน และหลังเรียน หาค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. นำคะแนนระหว่างเรียนและคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนครั้งที่ 1 มาหาค่าประสิทธิภาพของนวัตกรรม (E1/E2) โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และนำคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนครั้งที่ 1 มาหาค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.)

3. วิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และแบ่งผลการเรียนออกเป็น 8 ระดับ ตามเกณฑ์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน 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. นำคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนมาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยใช้การทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน (*t*–test for dependent samples) และวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนโดยการหาค่าดัชนีความก้าวหน้า (normalized gain, <*g*>)

5. นำคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนครั้งที่ 1 และ 2 มาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05 โดยใช้การทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกันเพื่อหาความคงทนของความรู้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

กิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง วัฏจักรเซลล์และไมโทซิส

กิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะการจัดการเรียนรู้เป็นแบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของ NRC (2000) ที่เน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้มากที่สุด ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และให้ครู

เป็นเพียงผู้จัดสภาพการเรียนรู้ให้เอื้อต่อการสืบเสาะของนักเรียน วิธีดำเนินกิจกรรมประกอบด้วย 5 ขั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ (5 นาที)

1. ครูทบทวนความรู้เดิมโดยถามนักเรียนว่า “โครโมโซมแบ่งเป็นกี่ประเภทอะไรบ้าง” และ “จำนวนโครโมโซมในเซลล์ร่างกายและเซลล์สืบพันธุ์ต่างกันอย่างไร”

2. ครูเล่าต่อว่า “ร่างกายของเราในตอนแรกมีเพียงเซลล์เดียวเรียกว่า ไซโกต เกิดจากการปฏิสนธิระหว่างไข่กับอสุจิ หลังจากนั้นจำนวนเซลล์ในร่างกายของเราก็เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก” ครูถามว่า “เซลล์ที่เพิ่มขึ้นมานั้นมาจากไหน ไซโกตแบ่งเซลล์หรือได้รับมาจากที่อื่น” หากนักเรียนตอบว่าเกิดจากไซโกตแบ่งเซลล์ ครูจึงถามต่อว่า

■ ในแต่ละรอบของการแบ่งเซลล์มีลำดับขั้นตอนอะไรบ้าง

■ ในแต่ละขั้นตอนเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

■ ผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ร่างกายมีปริมาณและลักษณะอย่างไร

■ การแบ่งเซลล์ในลักษณะนี้เรียกว่าอะไร และมีความสำคัญอย่างไร

ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถาม (20 นาที)

1. นักเรียนแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ละ 4 – 5 คน

2. ตัวแทนกลุ่มรับซองบัตรเนื้อหา ซึ่งในแต่ละซองมี 8 บัตร ได้แก่ บัตร G1 phase, S phase, G2 phase, Prophase, Metaphase, Anaphase, Telophase และ Cytokinesis เรียงสลับกัน และขบวนรถไฟที่มี 8 โบกี้

3. แต่ละกลุ่มอ่านเนื้อหาในบัตร จัดเรียงบัตรเนื้อหาตามลำดับก่อนหลัง และนำไปติดลงบนโบกี้ขบวนรถไฟให้ถูกต้อง และนำไปให้ครูตรวจ (ภาพที่ 1ก)

4. กลุ่มที่ทำถูกต้องจะได้รับซองบัตรภาพ ซึ่งในแต่ละซองมีบัตร 6 ใบ ได้แก่ บัตร Interphase, Prophase, Metaphase, Anaphase, Telophase และ Cytokinesis เรียงสลับกัน และขบวนรถไฟที่มี 3 โบกี้

5. แต่ละกลุ่มศึกษารายละเอียดภาพ จัดเรียงบัตรภาพตามลำดับก่อนหลัง และนำไปติดลงบนโบกี้ขบวนรถไฟให้ถูกต้อง และนำไปให้ครูตรวจ (ภาพที่ 1ข)

6. แต่ละกลุ่มศึกษารายละเอียดความสัมพันธ์ของรถไฟขบวนที่ 1 และ 2 ซึ่งควรได้ข้อสรุปดังในภาพที่ 1ค

ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (คำตอบ) จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ (15 นาที)

1. นักเรียนรับแจกใบกิจกรรมที่ประกอบด้วยคำถามสำคัญดังต่อไปนี้

■ ในแต่ละรอบของการแบ่งเซลล์มีลำดับขั้นตอนอะไรบ้าง

■ ในแต่ละขั้นตอนเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

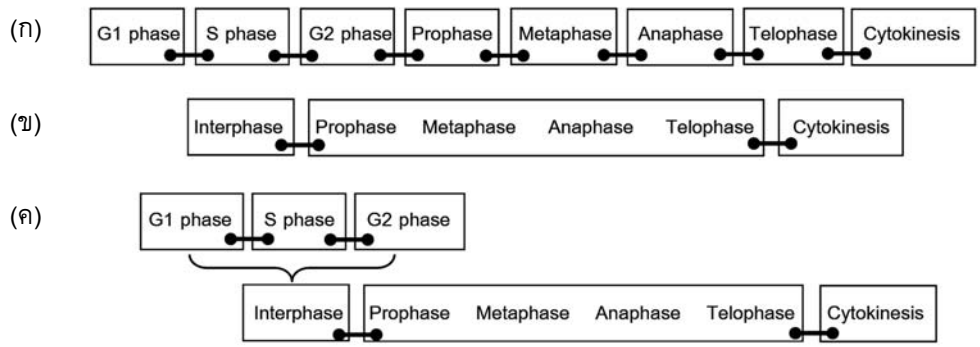
■ ระยะ Interphase ประกอบด้วยระยะอะไรบ้าง

■ การแบ่งนิวเคลียส (Karyokinesis) ประกอบด้วยระยะอะไรบ้าง

■ การแบ่งไซโทพลาซึม (Cytokinesis) ในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์แตกต่างกันอย่างไร

■ ผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ร่างกายมีปริมาณและลักษณะอย่างไร

■ การแบ่งเซลล์ในลักษณะนี้เรียกว่า



ภาพที่ 1 บัตรภาพและบัตรเนื้อหาบนโบกี้ขบวนรถไฟ ก) การเรียงบัตรเนื้อหาระยะต่างๆ ข) การเรียงบัตรภาพระยะต่าง ๆ และ ค) การหาความสัมพันธ์ระหว่างบัตรเนื้อหาและบัตรภาพ

ว่าอะไร และมีความสำคัญอย่างไร

■ วัฏจักรเซลล์มีลักษณะอย่างไร (วาดภาพ)

ขั้นที่ 4 นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (10 นาที)

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มรับใบความรู้เรื่องวัฏจักรเซลล์และไมโทซิส เพื่อตรวจสอบและแก้ไขคำตอบในใบกิจกรรมโดยใช้ปากกาสีแดง

ขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง (10 นาที)

1. กำหนดหมายเลขสลากเท่ากับจำนวนกลุ่มของนักเรียน ครูสุ่มหยิบมาทีละใบ รวม 3 ใบ

2. กลุ่มที่ได้รับการสุ่มนำเสนอภาพวัฏจักรเซลล์และสรุปประเด็นสำคัญต่อไปนี้ พร้อมตอบคำถามของเพื่อนในห้อง

■ ในแต่ละรอบของการแบ่งเซลล์ร่างกายมีลำดับขั้นตอนอะไรบ้าง

■ ผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์ ร่างกายมีปริมาณและลักษณะอย่างไร

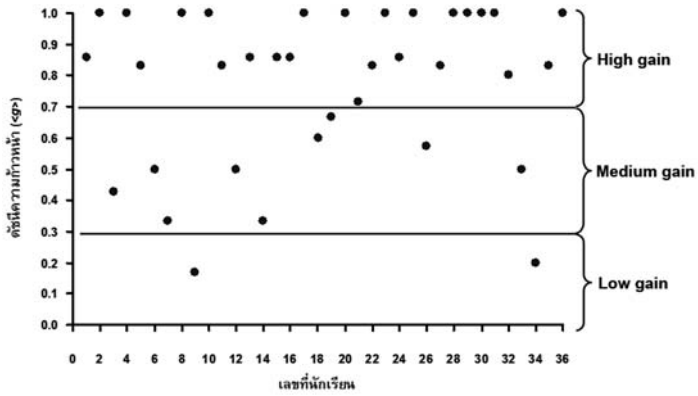
■ การแบ่งเซลล์ในลักษณะนี้เรียกว่าอะไร และมีความสำคัญอย่างไร

ประสิทธิภาพและดัชนีประสิทธิผลของนวัตกรรม

งานวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญคือ พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (E1/E2) ขั้นต่ำตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 จากการวิเคราะห์คะแนนใบงานและคะแนนทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 1 ซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพของกระบวนการ (E1) และประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E2) ของนวัตกรรม พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 81.4/80.6 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนทั้งชั้น พบว่า จัดอยู่ในระดับสูง (high gain) โดยมีค่า $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.7713 แสดงว่า นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้นี้ทำให้นักเรียนทั้งชั้นมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 77.13 (ตาราง 1) ทั้งนี้มีนักเรียนจำนวน 2 10 และ 24 คน มีความความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ตามลำดับ (ภาพที่ 2) จากข้อมูลความก้าวหน้าทางการเรียนนี้สรุปได้ว่า นวัตกรรมนี้มีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.7713 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (0.5)

ตาราง 1 ความถี่ของนักเรียนที่ตอบคำถามถูกในแต่ละข้อของการทดสอบก่อนเรียน หลังเรียนครั้งที่ 1 และหลังเรียนครั้งที่ 2 และดัชนีความก้าวหน้า

คำถามและความคิดหลัก	ความถี่นักเรียนที่ตอบถูก (ร้อยละ)			ดัชนีความก้าวหน้า	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน 1	หลังเรียน 2	$<g_1>$	$<g_2>$
คำถามที่ 1 ลำดับขั้นตอนในวัฏจักรเซลล์	3.9	83.3	97.2	0.81	0.97
คำถามที่ 2 ลำดับขั้นตอนในการแบ่งนิวเคลียส	5.6	86.1	80.6	0.85	0.79
คำถามที่ 3 พฤติกรรมของโครโมโซม	22.2	86.1	75.0	0.82	0.68
คำถามที่ 4 ปริมาณดีเอ็นเอภายในเซลล์	19.4	80.6	75.0	0.76	0.69
คำถามที่ 5 จำนวนเซลล์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์	8.3	77.8	69.4	0.76	0.67
คำถามที่ 6 บทบาทของเส้นใยสปินเดิล	22.2	83.3	86.1	0.79	0.82
คำถามที่ 7 การแบ่งไซโทพลาซึม	22.2	66.7	77.8	0.57	0.71

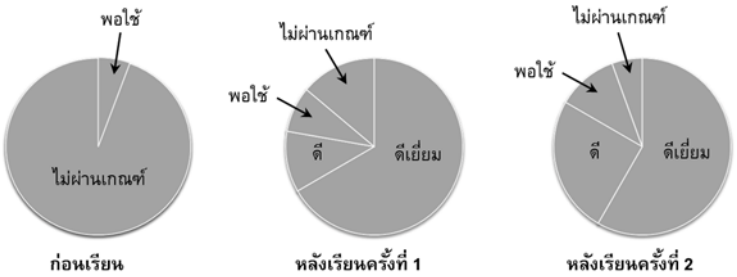


ภาพที่ 2 คะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และความคงทนของความรู้

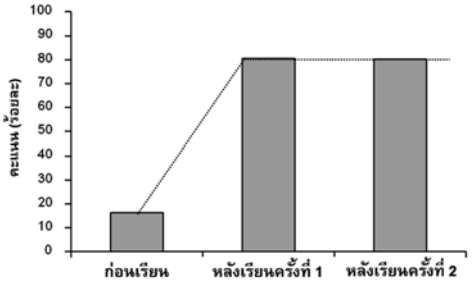
จากผลการศึกษาที่ผ่านมา ผู้วิจัยพบว่านวัตกรรมที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาตรฐาน จึงสนใจว่าการจัดการเรียนรู้นี้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้มากน้อยเพียงใด จากการวิเคราะห์คะแนนสอบก่อนเรียน พบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 16.3 อยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ ทั้งนี้มีนักเรียน 2 คน มีคะแนนอยู่ในระดับพอใช้ และ 34 คน มีคะแนนอยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางในงานวิจัยนี้และมีการทดสอบหลังเรียน พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนครั้งที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 80.56 อยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยแบ่งเป็นระดับดีเยี่ยม 24 คน ระดับดี 4 คน ระดับพอใช้ 3 คน และอยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ 5 คน สำหรับการทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 2 พบว่า นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.16 อยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยแบ่งเป็นระดับดีเยี่ยม 21 คน ระดับดี 9 คน ระดับพอใช้ 4 คน และอยู่ในระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ 2 คน (ภาพที่ 3)

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียน พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนครั้งที่ 1 (80.56%) มีค่ามากกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน (16.30%) (t =



ภาพที่ 3 ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน หลังเรียนครั้งที่ 1 และหลังเรียนครั้งที่ 2

16.22* และ $p = .00$) สรุปได้ว่า วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำไปอยู่ในระดับดีเยี่ยมได้ และจากการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 (80.16%) พบว่าคะแนนทั้งสองกลุ่มนี้ไม่แตกต่างกัน ($t = –0.12$ และ $p = 1.00$) สรุปได้ว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีความคงทนของความรู้ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 คะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน หลังเรียนครั้งที่ 1 และหลังเรียนครั้งที่ 2

หากพิจารณาการตอบข้อสอบเป็นรายข้อ ผู้วิจัยพบว่านักเรียนที่ตอบข้อสอบหลังเรียนครั้งที่ 1 ในแต่ละข้อถูกต้องมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในทุกข้อ (ตาราง 1) โดยคำถามที่ 1 – 4 และ 6 ซึ่งเป็นคำถามที่วัดความจำ ความเข้าใจ มีนักเรียนตอบถูกมากกว่าร้อยละ 80 สะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยให้นักเรียนจำและเข้าใจเนื้อหาเกี่ยวกับลำดับขั้นตอนในวัฏจักรเซลล์ ลำดับขั้นตอนในการแบ่งนิวเคลียส พฤติกรรมของโครโมโซมและเส้นใยสปินเดิล รวมถึงปริมาณดีเอ็นเอในระยะต่าง ๆ ของวัฏจักรเซลล์ได้เป็นอย่างดี จึงน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการนำไปใช้แก้ไขความคลาดเคลื่อนของนักเรียนในประเด็นการลำดับระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละระยะตามที่รายงานไว้โดย Dikmenli (2010) Nakthong et al. (2007) และ Ozcan et al. (2012) ในส่วนของคำถามที่ 5 และ 7 ที่แม้ว่านักเรียนจะตอบถูกมากขึ้นแต่จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกยังต่ำกว่าร้อยละ 80 อาจเนื่องมาจากข้อสอบทั้งสองข้อนี้ใช้คำถามที่วัดการคิดวิเคราะห์ซึ่งสูงกว่าการวัดความจำและความเข้าใจ จากการสุ่มถามนักเรียนที่ตอบไม่ถูกต้อง ทำให้ทราบว่าคำถามที่ 5 นักเรียนจำได้ว่าถ้าเริ่มต้นจาก 1 เซลล์ เมื่อเสร็จสิ้นไมโทซิสจะได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์ แต่เมื่อต้องคำนวณหลายรอบตามที่โจทย์กำหนดจึงเกิดความสับสน ในส่วนของคำถามที่ 7 นักเรียนทราบว่า Cytokinesis หมายถึงอะไร แต่ไม่สามารถนำความรู้นั้นมาใช้ในการตอบข้อสอบ

จากผลการวิจัยโดยรวมสะท้อนให้เห็นว่า กิจกรรมการเรียนรู้เรื่องวัฏจักรเซลล์และไมโท-

ซิสด้วยการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แม้จะใช้เวลาในการจัดกิจกรรมเพียง 60 นาที แต่สามารถทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และมีมโนมติ (concept) ที่ถูกต้องในเรื่องที่เรียน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

1. การที่นักเรียนได้จดจ่อกับคำถามที่นำไปสู่การสืบเสาะ ทำให้นักเรียนทราบเป้าหมายของการเรียน (NRC, 2000) และมีความมุ่งมั่นที่จะเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถามที่ตนสงสัย ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย (Ozcan et al., 2012)

2. การได้มาซึ่งหลักฐาน (evidence) นั้นต้องผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องใช้กระบวนการคิดที่แสดงถึงความมีเหตุมีผล มิใช่เป็นเพียงการเปิดใบความรู้และตอบคำถามตามใบงานที่ครูให้ การให้นักเรียนพิจารณารูปภาพและเนื้อหาตลอดจนจัดเรียงลำดับการเกิดก่อนหลังตามหลักของเหตุและผล เป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการคิดวิเคราะห์ที่นำไปสู่การเกิดความเข้าใจที่ถ่องแท้ (McDonald, 2012; Prasertsan, 2012)

3. การเน้นย้ำให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบและเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนทราบว่าคำถามที่ตนสงสัยได้รับการตอบแล้วหรือยัง และคำตอบนั้นสมเหตุสมผลหรือไม่ มีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด และมีความคลาดเคลื่อนจากองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่แล้วหรือไม่ (NRC, 2000) ซึ่งหากมีความสอดคล้องกัน จะทำให้นักเรียนเกิดความภาคภูมิใจในตนเอง ที่สามารถใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้เช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงในเรื่องที่ตนศึกษา ในทางกลับกันหากผลการศึกษาไม่สอดคล้องกัน จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้บนความผิดพลาดและจำความผิดพลาดและความถูกต้องนั้นได้นานยิ่งขึ้น

4. การที่นักเรียนได้มีโอกาสในการนำเสนอเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้อื่น คิดวิเคราะห์และซักถาม แสดงเหตุผลโต้แย้งในคำอธิบายที่สร้างขึ้น ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งในงานของตนเอง (NRC, 2000; Porntrai, 2012; Proulx, 2004) นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ สังเกต รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติ และนำมาสร้างคำอธิบายเพื่อสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่ในสถานการณ์ที่ต่างไปจากบทเรียนยังมีส่วนช่วยทำให้เกิดความคงทนในการเรียนเพราะนักเรียนเป็นผู้สร้างองค์ความรู้นั้นด้วยตนเอง ทำให้เกิดความเข้าใจและเกิดเป็นความจำระยะยาวขึ้น (Custers, 2010; Dresner et al., 2014; Schmid and Bogner, 2015)

สรุปผลการวิจัย

กิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง วัฏจักรเซลล์และไมโทซิส มีลักษณะการจัดการเรียนรู้เป็นแบบสืบเสาะวิทยาศาสตร์ ที่เน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้มากที่สุด ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และให้ครูเป็นเพียงผู้จัดสภาพการเรียนรู้ให้เอื้อต่อการสืบเสาะของนักเรียน วิธีดำเนินกิจกรรมประกอบด้วย 5 ขั้น ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ 60 นาที ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 นักเรียนจดจ่อกับคำถามที่จะนำไปสู่การสืบเสาะ (5 นาที) ขั้นที่ 2 นักเรียนเก็บข้อมูลเพื่อสร้างเป็นหลักฐานที่เกี่ยวเนื่องกับคำถาม (20 นาที) ขั้นที่ 3 นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากประจักษ์พยานที่ค้นพบ (15 นาที) ขั้นที่ 4 นักเรียน

เชื่อมโยงคำอธิบายไปยังองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (10 นาที) และขั้นที่ 5 นักเรียนสื่อสารและโต้แย้งแสดงเหตุผลสนับสนุนผลการค้นพบของตนเอง (10 นาที) กิจกรรมการเรียนรู้นี้มีประสิทธิภาพ (E1/E2) เท่ากับ 81.4/80.6 ค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.7713 ทำให้นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 77.13 จัดเป็นความก้าวหน้าในระดับสูง ทำให้นักเรียนยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากระดับไม่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำ (16.30%) ไปสู่ระดับดีเยี่ยม (80.56%) และเมื่อเรียนผ่านไปแล้ว 15 วัน นักเรียนยังคงมีความความคงทนของความรู้ (80.16%) ไม่แตกต่างจากการสอบหลังเรียนครั้งที่ 1

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทำข้อสอบข้อ 5 และข้อ 7 ซึ่งวัดการคิดวิเคราะห์ ผู้วิจัยพบว่าจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกยังต่ำกว่าร้อยละ 80 ดังนั้นครูควรให้ตัวอย่างข้อสอบในเรื่องนี้ที่วัดการคิดวิเคราะห์แก่นักเรียนไปทำเป็นการบ้าน เพื่อให้นักเรียนพัฒนาความสามารถด้านการคิดวิเคราะห์นี้ให้ดียิ่งขึ้น

2. กิจกรรมการเรียนรู้นี้เหมาะกับห้องเรียนที่มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการจัดการเรียนรู้ ดังนั้นหากห้องเรียนใดที่มีเวลาในการจัดกิจกรรม 2 – 3 ชั่วโมง ควรเพิ่มเติมกิจกรรมที่ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่มากขึ้น เช่น ทำโมเดลหรือทำปฏิบัติการควบคู่กันไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณครูสุชาดา พ่อไชยราช ที่ให้ความอนุเคราะห์จัดกิจกรรมการเรียนรู้และเก็บข้อมูลการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Banet, E., and Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. **Science Education** 84: 313–351.

Chinnici, J. P., Neth S. Z., and Sherman, L. R. (2006). Using chromosomal socks to demonstrate ploidy in mitosis and meiosis. **The American Biology Teacher** 68(2): 106–109.

Chinnici, J. P., Yue, J. W., and Torres, K. M. (2004). Students as “human chromosomes” in role-playing mitosis and meiosis. **The American Biology Teacher** 66(1): 35–39.

Clark, D. C., and Mathis, P. M. (2000). Modeling mitosis and meiosis: A problem-solving activity. **The American Biology Teacher** 62(3): 204–206.

Coleman, D. (1986). A simple model for use in teaching cell division and genetics. **Journal of Biological Education** 20(3): 158-159.

Custers, E. J. (2010). Long-term retention of basic science knowledge: A review study. **Advances in Health Science Education** 15: 109–128.

Dikmenli, M. (2010). Misconceptions of cell division held by student teachers in biology: A drawing analysis. **Scientific Research and Essay** 5(2): 235–247.

Dresner, M., Catherine, R., Kerissa, K. F., and

Heejun, C. (2014). Improving higher-order thinking and knowledge retention in environmental science teaching. **Bioscience** 64: 40–48.

Farrar, L., and Barnhart, K. (2011). Chromosome noodles: Jump into the gene pool using pool noodles to model chromosome in the biology classroom. **The Science Teacher** 78(5): 34–39.

Gow, M. M., and Nicholl, D. S. T. (1988). Tetrad analysis: A practical demonstration using simple model. **Journal of Biological Education** 22(1): 51–54.

Harrell, P. E. (2001). How a dragon get its wings: A fanciful approach to teaching meiosis. **The Science Teacher** 68(4): 52–57.

Kindfield, A. C. (1991). Confusing chromosome number and structure: A common student error. **Journal of Biological Education** 25(3): 193–200.

Levy, F., and Benner, D. B. (1995). Using ribbon models of chromosome modifications to explore the process of meiosis. **The American Biology Teacher** 57(8): 532–535.

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.

Lewis, J., and Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. **International Journal of Science Education** 26: 195–206.

Luo, P. (2012). Creating a double-spring model to teaching chromosome movement during mitosis and meiosis. **The American Biology Teacher** 74(4): 266–269.

Mathis, P. M. (1979). Understanding a basic biological process: Expert and notice models of meiosis. **Science Education** 78: 253–283.

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

Mertens, T. R., and Walker, J. O. (1992). A paper and pencil strategy for teaching mitosis and meiosis: Diagnosing learning problems and predicting examination performance. **The American Biology Teacher** 54: 470–474.

Mickle, J. E. (1990). A model for teaching mitosis and meiosis. **The American Biology Teacher** 52(8): 500–503.

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

Nakthong, U., Anuntasethakul, T. A. and Yutakom, N. (2007). Student conceptions on cells and cell processes in grade 10. **Kasetsart Journal (Social Sciences)** 28(1): 1–10.

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. (2012). **Innovation for Biology Education**. Ubon Ratchathani: Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University. (in Thai)

Porntrai, S. (2014). A simple and inexpensive model for use in learning cell division and cytogenetic. **Journal of Research on Science, Technology and Environment for Learning** 5(1): 109–116. (in Thai)

Porntrai, S. (2014). Developing academic achievement in life and environment topic using science inquiry learning emphasizing analytical thinking. **Journal of Research on Science, Technology and Environment for Learning** 5(1): 11–20. (in Thai)

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

Proulx, G. (2004). Integrating scientific method and critical thinking in classroom debates on environmental issues. **The American Biology Teacher** 66(1): 26–33.

Schmid, S. and Bogner, F. X. (2015). Does inquiry-learning support long-term retention of knowledge? **International Journal of Learning, Teaching and Educational Research** 10(4): 51–70.

Smith, M. U. (1991). Teaching cell division: Student difficulties and teaching recommendations. **Journal of College Science Teaching** 21(1): 28–33.

Sodenberg, P. (1992). Marshmallow meiosis. **The Science Teacher** 59: 28–31.

Sripho, W., and Porntrai, S. (2014). Dragon genetics simulation: Activity for teaching genetic inheritance. **Journal of Research on Science, Technology and Environment for Learning** 5(2): 119–127. (in Thai)

Stencel, J. (1995). A string and paper game of meiosis that promotes thinking. **The American Biology Teacher** 57(1): 42–45.

Wyn, M. A., and Stegink, S. J. (2000). Role-playing mitosis. **The American Biology Teacher** 62(5): 378–381.