ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ต่อการพัฒนามโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

Effects of Model – Based Learning in DNA Replication for Scientific Concept Development of Mathayomsuksa 6 Students

สุกัลยา หลำเหล็ม[1*], อรุณรัศมิ์ วณิชชานนท์[2] และเปลื้อง สุวรรณมณี[3]

Sukulya Lomlem[1*], Arunrut Vanichanon[2] and Pluang Suwanmanee[3]

[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท, หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตรศึกษา, มหาวิทยาลัยทักษิณ

[1] Graduate student, Department of Science Education, Faculty of Science, Thaksin University.

[2] อาจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน, มหาวิทยาลัยทักษิณ

[2] Academic, Department of Basic Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University.

[3] ผู้อำนวยการ, สถาบันปฏิบัติการชุมชนเพื่อการศึกษาแบบบูรณาการ, มหาวิทยาลัยทักษิณ

[3] Director, Institute of Community Operation for Integrated Studies: ICOFIS, Thaksin University.

[*]**Corresponding author, E-mail:** Sukulya@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ต่อการพัฒนามโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 28 คน ด้วยวิธีสุ่มแบบกลุ่ม ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ แบบจำลองและแบบทดสอบวัดมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ แบบเลือกตอบพร้อมแสดงเหตุผลประกอบจำนวน 13 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลโดยจัดกลุ่มมโนมติของนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่ม จากนั้นคำนวณหาค่าร้อยละของนักเรียนในแต่ละกลุ่มมโนมติ พร้อมกับหาค่าเฉลี่ยและค่าความก้าวหน้าทางการเรียนจากคะแนนการทดสอบก่อนและหลังเรียน

ผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติที่สมบูรณ์ (SU) หลังการจัดการเรียนรู้เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 0.00 เป็นร้อยละ 45.79 นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) หลังการจัดการเรียนรู้เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 0.44 เป็นร้อยละ 29.40 นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เพียงบางส่วนและมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน (PS) หลังการจัดการเรียนรู้ลดลงจากร้อยละ 19.92 เป็นร้อยละ 15.56 นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน (AC) หลังการจัดการเรียนรู้ลดลงจากร้อยละ 27.87 เป็นร้อยละ 6.37 และนักเรียนที่ไม่มีมโนมติ (NU) หลังการจัดการเรียนรู้ลดลงจากร้อยละ 50.40 เป็นร้อยละ 2.79 และพบว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูงในเรื่องการจำลองตัวของดีเอ็นเอ แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

คำสำคัญ: มโนมติ, แบบจำลองเป็นฐาน, การจัดการเรียนรู้

Abstract

The research objective was to compare Mathayomsuksa 6 students' concept in DNA Replication topic before and after the model-based learning management. The samples were 28 students in Mathayomsuksa 6 using cluster sampling. The research instruments were lesson plans using model-based learning, DNA Replication Model and concept diagnostic test inform of two tier question with multiple choices and open questions for reason 13 items. The data were analyzed by categorizing student's concept within 5 categories and reported in percentage of students in each category, arithmetic mean and normalized gain.

The research revealed that the model-based learning management could develop Mathayomsuksa 6 students' concept in DNA Replication topic better conceptual understanding exhibited after the model-based learning management. Students had sound understanding (SU) categories increased from 0.00 to 45.79 percent after learning and partial understanding (PU) categories increased from 0.44 to 29.40 percent after learning. The misconception in partial understanding with specific misunderstanding (PS) categories decreased from 19.92 to 15.56 percent after learning and misunderstanding (AC) categories decreased from 27.87 to 6.37 percent after learning. In addition, student in no understanding (NU) categories decreased from 50.40 to 2.79 percent after learning and high level of normalized gain within DNA Replication topic. This results was indicated suggested that the model-based learning could develop of conceptual understanding, effective and suitable for 21th century learning management.

Keywords: Concept, Model–Based, Learning management

บทนำ

การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคตเพราะวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการงานอาชีพต่างๆ ตลอดจนเทคโนโลยี เครื่องมือเครื่องใช้และผลผลิตต่างๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตและในการทำงาน อีกทั้งวิทยาศาสตร์เป็นวัฒนธรรมของโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ (Knowledge – based society) ทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้รู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literacy for all) เพื่อที่จะมีความรู้ความเข้าใจธรรมชาติและเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างขึ้น สามารถนำความรู้ไปใช้อย่างมีเหตุผล สร้างสรรค์และมีคุณธรรม สามารถแข่งขันกับนานาประเทศและดำเนินชีวิตร่วมกันในสังคมโลกได้อย่างมีความสุข การจะสร้างความเข้มแข็งทางด้านวิทยาศาสตร์นั้น องค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งคือ การจัดการศึกษาเพื่อเตรียมคนอยู่ในสังคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งเป็นผู้ผลิตและผู้บริโภคที่มีประสิทธิภาพ (กรมวิชาการ. 2551: 1)

โดยเนื้อหาพันธุศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพและเป็นเนื้อหาที่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้าใจเกี่ยวกับจีโนมิกและการดัดแปลงพันธุกรรม (Tsui; & Treagust. 2007: 206) โดยทั่วไปแล้วเรื่องราวต่าง ๆ ทางพันธุศาสตร์มักเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ในระดับเซลล์ ที่ผู้เรียนมองไม่เห็น เช่น โปรตีน ยีน โครโมโซม ดีเอ็นเอ ด้วยเหตุนี้พันธุศาสตร์จึงถือเป็นเรื่องนามธรรมและยากในการทำความเข้าใจ อีกทั้งยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในหลายประเด็นเกี่ยวกับ

โครโมโซม กระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซีส ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ ซึ่งประเด็นเหล่านี้ถือว่าสำคัญมากต่อการทำความเข้าใจในเรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ (Banet; & Ayuso. 2000: 314) เพราะเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการต่างๆอีกมากมาย เช่น การสังเคราะห์อาร์เอ็นเอ การสังเคราะห์โปรตีน รวมถึงยังเป็นสาเหตุของการเกิดความผิดปกติต่างๆทางพันธุกรรมหรือที่เรียกว่า การกลายพันธุ์ นั่นเอง

จากการศึกษาสถานการณ์การเรียนการสอนพันธุศาสตร์ในประเทศไทยที่ผ่านมาพบว่า พันธุศาสตร์เป็นเนื้อหาที่ยากทั้งต่อการเรียนรู้ทำความเข้าใจของนักเรียนและยากต่อการจัดการสอนของครู โดยวิธีการสอนที่ครูใช้เป็นหลักคือการบรรยาย ร่วมกับการใช้ใบงาน ใบความรู้และแผนภาพประกอบ (ทัศนียา รัตนฤาทัยและนฤมล ยุตาคม. 2549) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพน้อยในการสอนแนวคิดพันธุศาสตร์ เป็นผลให้นักเรียนไทยยังมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนแม้หลังการเรียนในชั้นเรียนแล้ว ดังเช่น ผลการวิจัยของ ทัศนียา รัตนฤาทัย, กัญจนา ธีระกุลและนฤมล ยุตาคม (2549: 235) เรื่อง แนวคิดพันธุศาสตร์ของนักเรียนด้อยโอกาสช่วงชั้นที่ 4 ของประเทศไทย

ทั้งนี้ในเรื่องของ การจำลองตัวของดีเอ็นเอ จะมีสื่อการสอนที่ใช้ส่วนใหญ่ก็คือ รูปภาพ และเป็นรูปภาพที่มีการแสดงรายละเอียดต่างๆ ไว้ครบถ้วนภายในภาพเดียวก็จะทำให้ดูซับซ้อนและยากต่อการทำความเข้าใจของนักเรียน ส่วนสื่อการสอนที่เป็นวีดิโอ ก็มักแสดงกระบวนการจำลองตัวของดีเอ็นเอแบบคราวๆโดยจะไม่ลงลึกในรายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมีของดีเอ็นเอ ส่วนสื่อที่เป็นแบบจำลองพบว่าจะไม่มีการแสดงรายละเอียด องค์ประกอบทางเคมีของดีเอ็นเอให้เห็นเช่นเดียวกับสื่อที่เป็นวีดิโอ เช่น สื่อประกอบการเรียนการสอนของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานร่วมกับ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รัชนีกร ธรรมโชติ. 2555) สื่อแบบจำลองของเบนเน็ท (Bennett. 1998: 457-460) และสื่อแบบจำลองที่มีจำหน่ายทั่วไป ซึ่งถือได้ว่า แบบจำลองดังกล่าวยังเป็นแบบจำลองที่ไม่สมบูรณ์อาจส่งผลในให้เกิดแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนได้

ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมาใช้ในการเรียนการสอน เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นของต่างประเทศซึ่งยังไม่ครอบคลุมกับบริบทในประเทศไทย และการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานช่วยพัฒนาความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้เป็นอย่างดี (Steer. 2005) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้จัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้แบบจำลอง ชุดการจำลองตัวของดีเอ็นเอ ที่มีการแสดงองค์ประกอบโครงสร้างทางเคมีของดีเอ็นเอ ซึ่งมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก (3.50) เพื่อพัฒนามโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 และทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปเผยแพร่เพื่อให้ครูผู้สอนสามารถนำไปใช้ประกอบในการเรียนการสอนได้

2. เป็นข้อมูลให้กับครูผู้สอนในรายวิชาชีววิทยา เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 นำไปจัดการเรียนการสอนที่จะช่วยพัฒนาแนวคิดของนักเรียน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

สมมติฐานของการวิจัย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสูงกว่าก่อนการเรียนรู้

กรอบแนวคิดของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีกรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

ตัวแปรต้น

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

ตัวแปรตาม

ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ

วิธีดำเนินการวิจัย

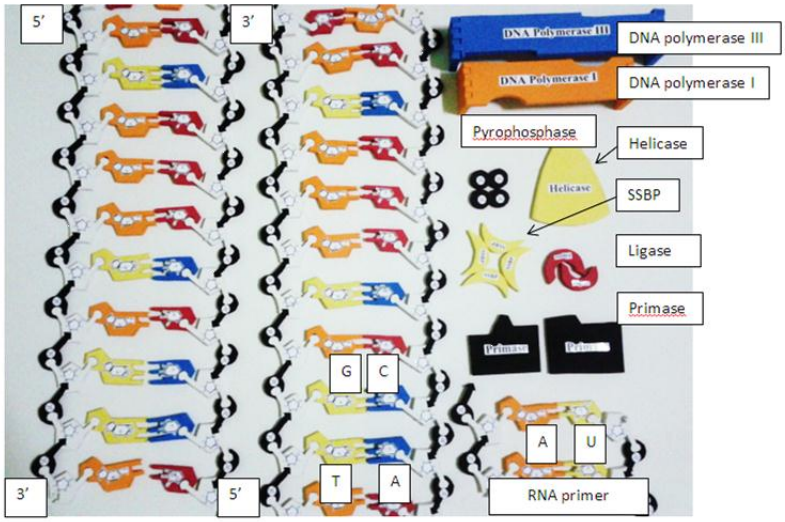
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนเอกชนสอนศาสนาอิสลาม ขนาดเล็ก ในจังหวัดสงขลา จำนวน 34 ห้องเรียน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้อง 6/1 โรงเรียนศาสนบำรุง จำนวน 1 ห้อง 28 คน ภาคเรียนที่ 1 ปี 2560 โดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ 1) แบบวัดมโนมติ เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ เป็นแบบวัดมโนมติแบบเลือกตอบพร้อมแสดงเหตุผลประกอบ จำนวน 15 ข้อ มีหลักเกณฑ์ในการสร้างแบบวัดโดยวิเคราะห์มโนมติให้สอดคล้องกับตัวชี้วัดและจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อเป็นกรอบในการสร้างแบบวัดมโนมติ หลังจากนั้นสร้างแบบวัดมโนมติจำนวน 15 ข้อ และกำหนดเกณฑ์การจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนตามระดับความสอดคล้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็น 5 กลุ่ม หลังจากนั้นนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง จากนั้นนำแบบวัดแนวคิดที่ผ่านการแก้ไขและปรับปรุงเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาอีกครั้ง แล้วจึงนำแบบวัดมโนมติที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วจำนวน 15 ข้อ ที่ได้ไปทดลองใช้ (Try out) กับนักเรียนที่มีบริบทคล้ายกันกับกลุ่มตัวอย่าง นำผลที่ได้จากแบบวัดมโนมติมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ และค่าความเชื่อมั่น แล้วคัดเลือกข้อสอบที่ไม่ได้เกณฑ์มาปรับปรุงหรือตัดทิ้ง แล้วคัดเลือกไว้จำนวน 13 ข้อ 2) แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน จำนวน 4 แผน แผนละ 2 คาบ รวมทั้งหมด 8 คาบ โดยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้จะประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นสร้างความสนใจ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ และขั้นประเมินผล 3) สื่อแบบจำลอง ที่ผู้วิจัยพัฒนาและสร้างขึ้นเอง ดังภาพ



ภาพประกอบที่ 1 แบบจำลองชุดการจำลองตัวของดีเอ็นเอ

แบบจำลองชุดการจำลองตัวของดีเอ็นเอ ประกอบด้วย นิวคลีโอไทด์ดีเอ็นเอ เอนไซม์เฮลิเคส เอนไซม์อาร์เอ็นเอไพรเมส เอนไซม์ดีเอ็นเอโพลีเมอเรส1 เอนไซม์ดีเอ็นเอโพลีเมอเรส3 เอนไซม์ไลเกส โปรตีนจับดีเอ็นเอสายเดี่ยว อาร์เอ็นเอไพรเมอร์

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล ก่อนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยให้นักเรียนทุกคนทำแบบวัดมโนมติที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จำนวน 13 ข้อ กำหนดเวลา 50 นาที จากนั้นผู้วิจัยดำเนินการสอนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ทั้งหมด 4 แผน แผนละ 2 คาบ จำนวน 4 มโนมติ ได้แก่ ดีเอ็นเอ การจำลองตัวของดีเอ็นเอ การถอดรหัส การแปลรหัส และการกลายพันธุ์ รวมระยะเวลา 8 คาบ และหลังการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยให้นักเรียนทุกคนทำแบบวัดมโนมติที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จำนวน 13 ข้อ กำหนดเวลา 50 นาที อีกครั้ง

วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบวัดมโนมติ ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยตรวจให้คะแนนในส่วนของการเลือกตอบ และพิจารณาคำตอบในส่วนการแสดงเหตุผลประกอบมาจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนโดยกำหนดเกณฑ์การจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียน ตามระดับความสอดคล้องของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มความเข้าใจมโนมติที่สมบูรณ์ (SU) กลุ่มความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) กลุ่มความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เพียงบางส่วนและมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน (PS) กลุ่มความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน (AC) กลุ่มที่ไม่มีมโนมติ (NU) วิเคราะห์ผลโดยหาค่าร้อยละของนักเรียนในแต่ละกลุ่มมโนมติ

ผลการวิจัย

นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังแสดงผลในตาราง

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของคะแนนความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ก่อนเรียนและหลังเรียน

มโนมติ	จำนวนข้อ	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน		<g>
			$\overline{X}$	%	$\overline{X}$	%	
ดีเอ็นเอ	2	6	0.75	12.5	4.33	72.32	0.68**
การจำลองตัวของดีเอ็นเอ	3	9	0.83	9.32	6.89	76.58	0.74***
การถอดรหัสและการแปลรหัส	5	15	1.23	8.21	9.96	66.42	0.63**
การกลายพันธุ์	3	9	0.76	8.53	6.00	66.67	0.64**
รวม	13	39	3.58	9.64	27.18	70.49	0.67**

หมายเหตุ : **คือ การพัฒนาอยู่ในระดับปานกลาง ***คือ การพัฒนาอยู่ในระดับสูง

จากตารางที่ 1 พบว่า หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองชุดการจำลองตัวของดีเอ็นเอ นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ สูงกว่าก่อนเรียนทุกมโนมติ เรียงลำดับจากมโนมติที่มีการพัฒนามากไปหาน้อยคือ การจำลองตัวของดีเอ็นเอ (<g> = 0.74) ดีเอ็นเอ (<g> = 0.68) การกลายพันธุ์ (<g> = 0.64) และการถอดรหัสและการแปลรหัส (<g> = 0.63) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว นักเรียนมีการพัฒนาอยู่ในระดับปานกลาง (<g> = 0.67)

ตารางที่ 2 ค่าร้อยละความเข้าใจมโนมติก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 28 คน แยกตามมโนมติ

มโนมติ	ความเข้าใจมโนมติ (ร้อยละ)									
	SU		PU		PS		AC		NU	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1. ดีเอ็นเอ	0.00	48.21	0.00	26.78	13.25	16.07	35.71	5.35	46.90	3.57
2. การจำลองตัวของดีเอ็นเอ	0.00	55.95	1.78	25.00	32.14	11.89	19.04	4.76	46.43	2.38
3. การถอดรหัสและการแปลรหัส	0.00	38.57	0.00	34.89	16.43	16.43	18.65	7.03	66.43	2.85
4. การกลายพันธุ์	0.00	39.28	0.00	30.95	21.43	17.85	38.09	8.33	41.85	2.38
ร้อยละโดยเฉลี่ยของนักเรียน	0.00	45.79	0.44	29.40	19.92	15.56	27.87	6.37	50.40	2.79

หมายเหตุ: SU = นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์, PU = นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน, PS = นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน, AC = นักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนและ NU = นักเรียนไม่มีมโนมติ

จากตารางที่ 2 พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ NU (ไม่มีมโนมติ) สูงถึงร้อยละ 50.40 รองลงมาคือ AC (มีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 27.87 และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 19.92 ตามลำดับและไม่มีนักเรียนที่มีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) เลย แต่ในขณะที่หลังเรียนนักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) สูงถึงร้อยละ 45.79 รองลงมาคือ PU (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน) ร้อยละ 29.40 และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 15.56 ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานทำให้นักเรียนมีมโนมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยพบว่าหลังการจัดการเรียนรู้นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจมโนมติที่สมบูรณ์ (SU) เพิ่มสูงขึ้นในทุกมโนมติ เช่น ดีเอ็นเอ (ร้อยละ 48.21) การจำลองตัวของดีเอ็นเอ (ร้อยละ 55.95) การถอดรหัสและการแปลรหัส (ร้อยละ 38.57) และการกลายพันธุ์ (ร้อยละ39.28) และนักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติที่คลาดเคลื่อน (AC) หลังการจัดการเรียนรู้ลดลงในทุกมโนมติ เช่น ดีเอ็นเอ (ร้อยละ 5.35) การจำลองตัวของดีเอ็นเอ (ร้อยละ 4.76) การถอดรหัสและการแปลรหัส (ร้อยละ 7.03) และการกลายพันธุ์ (ร้อยละ 8.33)

เมื่อแยกพิจารณาในแต่ละมโนมติพบว่านักเรียนมีมโนมติแตกต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

มโนมติที่ 1 เรื่อง ดีเอ็นเอ

ตารางที่ 3 ค่าร้อยละความเข้าใจมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนที่มีต่อมโนมติ เรื่อง ดีเอ็นเอของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (รายข้อ)

มโนมติ	ข้อ	ความเข้าใจมโนมติ (ร้อยละ)									
		SU		PU		PS		AC		NU	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1. ดีเอ็นเอ	1	0.00	46.42	0.00	17.85	14.29	21.43	28.58	7.14	57.14	7.14
	2	0.00	50.00	0.00	35.71	12.22	10.71	42.85	3.57	36.67	0.00
ผลเฉลี่ย		0.00	48.21	0.00	26.78	13.25	16.07	35.71	5.35	46.90	3.57

จากตารางที่ 3 พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ NU (ไม่มีมโนมติ) สูงถึงร้อยละ 46.90 รองลงมาคือ AC (มีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 35.71 และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 13.25 ตามลำดับและไม่มีนักเรียนที่มีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) และ PU (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน) เลย ส่วนหลังเรียนนักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) สูงถึงร้อยละ 48.21 รองลงมาคือ PU (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน) ร้อยละ 26.78 และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 16.07 ตามลำดับ

มโนมติที่ 2 เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ

ตารางที่ 4 ค่าร้อยละความเข้าใจมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนที่มีต่อมโนมติ เรื่อง การจำลองของดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (รายข้อ)

มโนมติ	ข้อ	ความเข้าใจมโนมติ (ร้อยละ)									
		SU		PU		PS		AC		NU	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
2. การจำลองตัวของดีเอ็นเอ	1 (3)	0.00	46.43	3.57	35.71	42.86	10.71	32.14	3.57	17.86	3.57
	2 (4)	0.00	57.14	0.00	21.43	28.57	10.71	14.28	7.14	57.14	3.57
	3 (5)	0.00	64.29	0.00	17.86	25.00	14.27	10.71	3.57	64.29	0.00
ผลเฉลี่ย		0.00	55.95	1.78	25.00	32.14	11.89	19.04	4.76	46.43	2.38

จากตารางที่ 4 พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ NU (ไม่มีมโนมติ) สูงถึงร้อยละ 46.43 รองลงมาคือ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 32.14 และ AC (มีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 19.04 ตามลำดับและไม่มีนักเรียนที่มีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) เลย แต่หลังเรียนนักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) สูงถึงร้อยละ 55.95 รองลงมาคือ PU (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน) ร้อยละ 25.00 และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 11.89 ตามลำดับ

มโนมติที่ 3 เรื่อง การถอดรหัสและการแปลรหัส

ตารางที่ 5 ค่าร้อยละความเข้าใจมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนที่มีต่อมโนมติ เรื่อง การถอดรหัสและการแปลรหัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (รายข้อ)

มโนมติ	ข้อ	ความเข้าใจมโนมติ (ร้อยละ)									
		SU		PU		PS		AC		NU	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
3. การถอดรหัสและการแปลรหัส	1 (6)	0.00	46.43	0.00	35.17	21.42	14.29	21.42	3.57	57.14	0.00
	2 (7)	0.00	32.14	0.00	42.86	17.86	17.86	14.28	3.57	67.86	3.57
	3 (8)	0.00	28.57	0.00	35.71	10.71	25.00	17.85	7.14	71.43	3.57
	4 (9)	0.00	50.00	0.00	28.57	7.14	10.71	17.85	10.71	75.00	0.00
	5(13)	0.00	35.71	0.00	32.14	25.00	14.29	21.42	10.71	60.71	7.14
ผลเฉลี่ย		0.00	38.57	0.00	34.89	16.43	16.43	18.65	7.03	66.43	2.85

จากตารางที่ 5 พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ NU (ไม่มีมโนมติ) สูงถึงร้อยละ 66.43 รองลงมาคือ AC (มีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ18.65 และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 16.43 ตามลำดับและไม่มีนักเรียนที่มีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) และ PU (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน) เลย แต่หลัง

เรียนนักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) สูงถึงร้อยละ 38.57 รองลงมาคือ PU (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน) ร้อยละ34.89 และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ16.43 ตามลำดับ

มโนมติที่ 4 เรื่อง การกลายพันธุ์

ตารางที่ 6 ค่าร้อยละความเข้าใจมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียนที่มีต่อมโนมติ เรื่อง การกลายพันธุ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (รายข้อ)

มโนมติ	ข้อ	ความเข้าใจมโนมติ (ร้อยละ)									
		SU		PU		PS		AC		NU	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
4. การกลายพันธุ์	1(10)	0.00	42.86	0.00	42.86	21.43	10.71	35.71	3.57	42.85	0.00
	2(11)	0.00	42.86	0.00	21.42	25.00	17.85	46.43	7.14	25.57	7.14
	3(12)	0.00	32.14	0.00	28.57	10.71	25.00	32.14	14.29	57.14	0.00
ผลเฉลี่ย		0.00	39.28	0.00	30.95	21.43	17.85	38.09	8.33	41.85	2.38

จากตารางที่ 6 พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ NU (ไม่มีมโนมติ) สูงถึงร้อยละ 41.85 รองลงมาคือ AC (มีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ38.09 และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 21.43 ตามลำดับและไม่มีนักเรียนที่มีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) และ PU (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน) เลย แต่หลังเรียนนักเรียนมีความเข้ามโนมติในส่วนของ SU (มีความเข้าใจมโนมติสมบูรณ์) สูงถึงร้อยละ 39.28 รองลงมาคือ PU (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วน) ร้อยละ 30.95และ PS (มีความเข้าใจมโนมติเพียงบางส่วนและมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน) ร้อยละ 17.85 ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อมโนมติ เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบมโนมติของนักเรียนระหว่างก่อนการจัดการเรียนรู้กับหลังการจัดการเรียนรู้

จากการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในแบบวัดมโนมติ พบว่า นักเรียนมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้สูงขึ้นกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติที่สมบูรณ์ (SU) หลังการจัดการเรียนรู้เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 0.00 เป็นร้อยละ 45.79 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วน (PU) เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 0.44 เป็นร้อยละ 29.40 และพบว่านักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อนหลังการจัดการเรียนรู้ลดลงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เพียงบางส่วนและมีมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน (PS) หลังการจัดการเรียนรู้ลดลงจากร้อยละ 19.92 เป็นร้อยละ 15.56 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน (AC) ลดลงจากร้อยละ 27.87 เป็นร้อยละ 6.37 และนักเรียนที่ไม่มีมโนมติ (NU) ลดลงจากร้อยละ 50.40 เป็นร้อยละ 2.79 แสดงให้เห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ทำให้นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจมโน

มติที่สมบูรณ์มากขึ้น และมีความเข้าใจมโนมติที่คลาดเคลื่อนลงลด ยกเว้นมโนมติเรื่อง การกลายพันธุ์ พบว่านักเรียนบางส่วนร้อยละ 8.33 ยังมีความเข้าใจมโนมติที่คลาดเคลื่อน (AC)

สอดคล้องกับผลการวิจัยของละมัย โชคชัย, เอกรัตน์ ทานาค และพรรณนภา ศักดิ์สูง (2557) ได้ศึกษา การพัฒนาแนวคิด เรื่องเซลล์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน พบว่า หลังจากการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจมโนมติที่สมบูรณ์ (SU) ร้อยละ 62.00 โดยเนื้อหาที่นักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ถูกต้องมากที่สุด คือ เซลล์ หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต และสอดคล้องกับผลการวิจัยของลัทธวรรณ ศรีวิคำ, คเชนทร์ แดงอุดม และธิติยา บงกชเพชร (2559) ได้ศึกษา ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อมโนมติ เรื่อง ปฏิสัมพันธ์ในระบบสุริยะ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจมโนมติที่สมบูรณ์ (SU) หลังการจัดการเรียนรู้ร้อยละ 52.11 ซึ่งนักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจมโนมติที่สมบูรณ์มากขึ้น และมีความเข้าใจมโนมติที่คลาดเคลื่อนลงลด อาจเป็นเพราะงานวิจัยทั้งสองมีการจัดการเรียนรู้โดยกระตุ้นความคิดของนักเรียนด้วยการใช้คำถาม มีการตรวจสอบความรู้เดิม และเน้นการลงมือปฏิบัติเพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง

และพบว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเพิ่มสูงขึ้นในทุกมโนมติ โดยเรียงลำดับจากมโนมติที่มีการพัฒนามากไปหาน้อยคือ การจำลองตัวของดีเอ็นเอ (<g> = 0.74) ดีเอ็นเอ (<g> = 0.68) การกลายพันธุ์ (<g> = 0.64) และการถอดรหัสและการแปลรหัส (<g> = 0.63) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว นักเรียนมีการพัฒนาอยู่ในระดับปานกลาง (<g> = 0.67) สอดคล้องกับผลงานวิจัยของวรวุฒิ ศรีโพธิ์ และสุภาพร พรไตร (2557) ได้ศึกษา การจำลองพันธุศาสตร์ของมังกร: กิจกรรมเพื่อการจัดการเรียนรู้การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม พบว่าหลังการจัดการเรียนรู้นักเรียนทั้งชั้นมีดัชนีความก้าวหน้าอยู่ระหว่าง 0.40-0.92 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.67 อยู่ในระดับกลาง สำหรับกลุ่มครู พบว่าทั้งชั้นมีดัชนีความก้าวหน้าอยู่ระหว่าง 0.30-1.00 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.91 อยู่ในระดับสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้นี้ทำให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้น เกิดความสนใจ และมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน

แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง การจำลองตัวของดีเอ็นเอ หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้นักเรียนมีการพัฒนามโนมติที่สูงขึ้น และนักเรียนสามารถอธิบายรายละเอียดของมโนมติได้มากขึ้นกว่าก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานให้ความสำคัญกับการใช้คำถาม การตรวจสอบความรู้เดิมหรือประสบการณ์เดิมของนักเรียน เน้นให้มีการลงมือปฏิบัติจริงเพื่อให้นักเรียนได้สังเกตผลที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างหลักฐานเชิงประจักษ์ พร้อมกับมีการจัดกิจกรรมที่หลากหลายทำให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กัน เน้นทักษะกระบวนการ สร้างความกล้าแสดงออก และการอภิปรายเกี่ยวกับแบบจำลองเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ที่ชัดเจน ดังนั้นจึงถือได้ว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนามโนมติทางวิทยาศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้นสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ทัศนียา รัตนฤาทัย, กัญจนา ธีระกุลและนฤมล ยุตาคม. (2549). *แนวคิดพันธุศาสตร์ของนักเรียนด้อยโอกาสช่วงชั้นที่ 4 ของประเทศไทย*. วารสารเกษตรศาสตร์(ฉบับสังคมศาสตร์), 27, 234 – 245.

ทัศนียา รัตนฤทัย และนฤมล ยุตาคม. (2549). *การรับรู้ของครูและนักเรียนเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนพันธุศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายของโรงเรียนสังกัดกองการศึกษาสงเคราะห์ในประเทศไทย*. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์, 12(3), 313-327.

รัชนีกร ธรรมโชติ. 2555. *การจำลองตัวของดีเอ็นเอ. คู่มือสื่อการสอนวิชาชีววิทยาโดยความร่วมมือระหว่างสานักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานและคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*.

ละมัย โชคชัย, เอกรัตน์ ทานาค และพรรณนภา ศักดิ์สูง. (2557). *การพัฒนาแนวคิด เรื่อง เซลล์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน*.

ลัทธวรรณ ศรีวิคำ, คเชนทร์ แดงอุดม และธิติยา บงกชเพชร. (2559). *ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อมโนมติ เรื่อง ปฏิสัมพันธ์ในระบบสุริยะ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3*. นเรศวรวิจัย, 12, 1418-1428.

วรวุฒิ ศรีโพธิ์ และสุภาพร พรไตร. (2557). *การจำลองพันธุศาสตร์ของมังกร: กิจกรรมเพื่อการจัดการเรียนรู้การถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม*. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 5(2), 118-127.

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

Bennett, J. (1998). Modeling DNA Replication. *The American Biology Teacher*, *60*(6), 457-460.

Steer, A. (2005). *Learning Behaviour: The Report of The Practitioners' Group on School Behaviour and Discipline*. London, A Specialist Science & Technology Collage.

Tsui, C. Y., & Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary school student's conceptual status. *Journal of research in Science Teaching*, *44*, 205-235.