บทความวิจัย (Research Article)

การพัฒนาความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยา โดยการจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์

DEVELOPING SCIENTIFIC EXPLANATION ABILITY OF BIOLOGY STUDENT TEACHERS BY PROVIDING EXPERIENCES IN GENERATING SCIENTIFIC EVIDENCES AND WRITING SCIENTIFIC EXPLANATIONS

Received: August 16, 2020 **Revised:** October 22, 2020 **Accepted:** December 14, 2020

วันเพ็ญ คำเทศ[1] นันทรัตน์ เครืออินทร์[2] และทัศตริน วรรณเกตุศิริ[3*]

Wanpen Kamtet[1] Nantarat Kruea-In[2] and Tussatrin Wannagatesiri[3*]

[1,2,3]มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

[1,2,3]Kasetsart University, Kampangsean Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: tussatrin.k@ku.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีต่อความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยา และเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยาก่อนและหลังการเรียนรู้ การจัดประสบการณ์นี้เน้นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ โดยผู้สอนกำหนดสถานการณ์ปัญหา เพื่อให้นักศึกษาครูชีววิทยากำหนดสมมติฐานและออกแบบการทดลอง เก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยเป็นนักศึกษาครูชีววิทยาชั้นปีที่ 3 ระดับอุดมศึกษา จำนวน 29 คน เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย 1) แบบบันทึกการทดลอง ข้อมูลจะนำมาวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและเชื่อมโยงกับสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง และการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ 2) แบบวัดความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ข้อมูลจะถูกตรวจด้วยเกณฑ์การประเมินการอธิบายจำเพาะในด้านข้อสรุป หลักฐาน และการให้เหตุผล วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน ผลการวิจัย พบว่า นักศึกษาครูชีววิทยาสามารถออกแบบการทดลองเพื่อสร้างหลักฐานมาสนับสนุนสมมติฐานการทดลอง และสามารถนำหลักฐานมาประกอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้หลังจากการได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน ส่งผลให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์นั้นถูกต้องครบถ้วนมากขึ้น ข้อมูลจากแบบวัดความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นักศึกษาครูชีววิทยา การจัดประสบการณ์ การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ การเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์

Abstract

The purpose of this research were to study the effect of providing experiences in generating and writing scientific explanations on the scientific explanation ability of biology student teachers and compare the scientific explanation ability of biology student teachers before and after learning. Providing these experiences based on an inquiry process. The instructor stated the problem situation for biology teacher students to formulate hypotheses, design experiments, collect data, analyze data and write scientific explanations. Research participants were 29 third year biology student teachers in tertiary level. The research instruments consisted of 1) an experimental record form, data were analyzed by content analysis for describing links among assumptions, experimental design, and scientific explanation and 2) scientific explanation ability test, data was checked by using the specific claim, evidence and reasoning rubrics. The data was analyzed by using arithmetic mean, standard deviation, and dependent sample t-test. The research results revealed that biology student teachers were able to design the experiments to generate evidences to support their experimental assumptions and used the evidences to create their own scientific explanations. After receiving feedback from the instructor, their scientific explanations were more complete. Data from scientific explanation ability test could be concluded that the mean score of scientific explanation after learning was significantly higher than before learning at 0.05.

Keywords: Scientific Explanation, Biology Student Teachers, Providing Experiences, Generating Scientific Evidences, Writing Scientific Explanations

บทนำ

การอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในโลกเป็นส่วนสำคัญของงานทางวิทยาศาสตร์และยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นพฤติกรรมหนึ่งที่ระบุไว้ในสมรรถนะสำคัญของการเป็นบุคคลผู้รู้วิทยาศาสตร์ที่ต้องสามารถอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยใช้หลักฐานและหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมในการระบุคำตอบของสถานการณ์ที่ศึกษา (OECD, 2013b; McNeill et al., 2005) หลักฐานทางวิทยาศาสตร์เป็นองค์ประกอบสำคัญของการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการสนับสนุนคำตอบหรือข้อสรุป (Claim) ดังนั้น วิธีการสำคัญในการประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ คือการตรวจสอบว่านักวิทยาศาสตร์มีการใช้ข้อมูลอย่างไรเพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาเป็นหลักฐาน (Chinn & Brewer, 1998, pp. 623–654) หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการสนับสนุนข้อสรุปและใช้ในการโน้มน้าวให้ผู้อื่นเชื่อในแนวคิดของตน ข้อมูลดังกล่าวอาจได้มาจากการสังเกตและการวัดสิ่งที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติหรือได้มาจากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ ดังนั้น ข้อมูลที่นักวิทยาศาสตร์นำมาใช้เป็นหลักฐานจึงมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ

การอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ เป็นความสามารถและเป็นความเข้าใจพื้นฐานของการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Inquiry) ผู้เรียนต้องให้ความสำคัญกับหลักฐานซึ่งจำเป็นในการสร้างและประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ (National Research Council, 2000) การทดลองเป็นกิจกรรมพื้นฐานของการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ที่ทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เป็นหลักฐานก่อนแล้วจึงเป็นการอธิบายเพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จึงช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจธรรมชาติของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในแง่ของการเชื่อมโยงกับหลักฐาน (Sandoval & Reiser, 2004, pp. 345–372) การตั้งสมมติฐานเป็นการคาดคะเนคำตอบหรือข้อสรุปของปัญหา เมื่อนักวิทยาศาสตร์ได้รวบรวมหลักฐานเพื่อทดสอบสมมติฐานแล้ว หากสมมติฐานนั้นได้รับการสนับสนุนจากหลักฐาน

เชื่อมโยงกับแนวคิดหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ สมมติฐานจะช่วยให้คำตอบของปัญหาชัดเจนขึ้น ซึ่งสมมติฐานที่ดีจะต้องคาดคะเนคำตอบอย่างมีหลักการและตรวจสอบได้โดยการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล (Data) เมื่อข้อมูลเหล่านั้นได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นจริงจากการทดลองซ้ำๆ แล้วได้ผลเหมือนเดิม ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เป็นหลักฐาน (Evidence) ที่ทำให้สมมติฐานที่นักวิทยาศาสตร์ตั้งไว้ในตอนแรกนั้นสมเหตุสมผล จากนั้นนักวิทยาศาสตร์จะสื่อสารสิ่งที่ได้ค้นพบนั้นออกมาโดยการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้น ผู้เรียนจึงจำเป็นต้องหาวิธีการได้มาซึ่งหลักฐานและรู้จักใช้หลักฐานจากการทดลองเพื่อพิสูจน์คำตอบหรือข้อสรุปจากหลักฐานที่รวบรวมได้โดยใช้แนวคิดหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ในการให้เหตุผลว่าเพราะเหตุใดหลักฐานดังกล่าวจึงสนับสนุนข้อสรุป

นักการศึกษาหลายท่านได้ให้นิยามของหลักฐานไว้ ดังนี้ Aikenhead (2004, pp. 242 – 275); McNeill (2011, pp. 793–823) กล่าวว่า หลักฐาน เป็นข้อมูลข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่ใช้ในการตอบคำถาม การแก้ปัญหา หรือการตัดสินใจ Kuhn and Reiser (2005, pp. 1 – 35) ได้ให้นิยามของหลักฐานว่า หลักฐานเป็นข้อมูลที่รวบรวมเพื่อสนับสนุนข้อสรุป (เช่น ข้อมูลเชิงตัวเลข ข้อมูลพื้นฐาน ผลการสังเกต หรือข้อเท็จจริงที่ได้จากการอ่านและการอภิปราย) Walton (2016) กล่าวว่า หลักฐาน หมายถึง ข้อโต้แย้งใดๆ ก็ตามที่ส่งเสริมและสนับสนุนข้อสรุป ซึ่งจะมีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อนำบริบทของสาขาวิชาเข้ามาพิจารณาร่วมด้วย และ Macagno (2016, p. 181) ได้ระบุว่า หลักฐานเป็นการวัดของผู้เชี่ยวชาญจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ หรือจากการทดลองเพื่อสนับสนุนแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องใดเรื่องหนึ่ง สำหรับการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นิยามความหมายของหลักฐานว่า หลักฐาน หมายถึง ข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่ได้จากการทดลองเพื่อสนับสนุนข้อสรุป

การส่งเสริมความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้แก่นักศึกษาครูชีววิทยาจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อให้สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อการสื่อสารกับนักเรียนและบุคคลอื่นได้อย่างถูกต้องครบถ้วน งานวิจัยจำนวนหนึ่งสะท้อนให้เห็นประเด็นปัญหาระดับความสามารถในการการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ที่ยังต้องการการพัฒนา เช่น งานวิจัยของ Sesen (2013, p. 244) ที่พบว่า นักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ไม่สามารถให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในปรากฏการณ์ที่กำหนดให้เกี่ยวกับเรื่องแรงตึงผิว แรงโคฮีชัน และแรงแอดฮีชัน แม้ว่าจะเคยผ่านการเรียนเนื้อหาเหล่านี้ตั้งแต่ระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษา และมหาวิทยาลัยมาแล้วก็ตาม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kampourakis et al. (2016, pp. 1124 – 1149) ที่บ่งชี้ว่านักศึกษาครูชีววิทยาซึ่งจะเป็นครูในอนาคตควรมีความเข้าใจโครงสร้างหรือองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพื่อการสอนนักเรียนให้สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงปัญหาของนักศึกษาในการเลือกใช้ข้อมูลเพื่อนำมาเป็นหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อสรุป ทั้งที่นักศึกษาครูมีความรู้ความเข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง สะท้อนให้เห็นว่านักศึกษาครูชีววิทยาไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ความเข้าใจในหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ไปสู่การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานหรือข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยาโดยการจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์

แนวคิดของการวิจัยครั้งนี้มุ่งสร้างประสบการณ์จริงเยี่ยงนักวิทยาศาสตร์ โดยการใช้กิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักศึกษาครูชีววิทยาสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์จากการตั้งสมมติฐาน ออกแบบการทดลอง รวมรวมหลักฐาน และลงข้อสรุปด้วยตนเอง แล้วส่งเสริมให้นักศึกษาสามารถเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องและครบถ้วนตามสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลการจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีต่อความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยา

2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยาก่อนและหลังการเรียนรู้ด้วยการจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre – Experimental Research) โดยดำเนินการทดลองตามแบบแผนการวิจัยแบบ The Single Group, Pretest – Posttest Design มีกลุ่มทดลองกลุ่มเดียว วัดผลก่อนและหลังการทดลอง

2. ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาครูชีววิทยา ชั้นปีที่ 3 จำนวน 29 คน ที่ผ่านการเรียนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาทั้งบรรยายและปฏิบัติมาแล้ว จำนวน 12 รายวิชา ได้แก่ (1) ชีววิทยา 1 (2) ปฏิบัติการชีววิทยา 1 (3) ชีววิทยา 2 (4) ปฏิบัติการชีววิทยา 2 (5) สัตววิทยา (6) พันธุศาสตร์ (7) พฤกษศาสตร์ (8) ชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 1 (9) ชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 2 (10) จุลชีววิทยา (11) ชีววิทยาของเซลล์ และ (12) สรีรวิทยาทั่วไป

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 แบบบันทึกการทดลอง เป็นแบบบันทึกที่นักศึกษาบันทึกรายละเอียดของกิจกรรมการทดลอง เรื่อง การถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่าย ที่แต่ละกลุ่มได้ออกแบบไว้ ประกอบด้วยปัญหา สมมติฐาน ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม วัสดุอุปกรณ์ วิธีการทดลอง ตารางบันทึกผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง โดยผู้วิจัยกำหนดสถานการณ์เกี่ยวกับน้ำผึ้ง โดยให้ข้อมูลว่า “น้ำผึ้งความเข้มข้น 80 – 85 % มีประโยชน์ในทางการแพทย์ โดยมีคุณสมบัติสามารถรักษาแผลติดเชื้อเรื้อรังหรือถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่าย” จากนั้นตั้งประเด็นปัญหาให้นักศึกษาครูสำรวจและทดลองเพื่อหาหลักฐานสนับสนุนว่า “สารใดอีกบ้างนอกจากน้ำผึ้งที่มีคุณสมบัติสามารถรักษาแผลติดเชื้อเรื้อรังหรือถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่ายเช่นเดียวกับน้ำผึ้ง เพราะเหตุใด” แล้ววิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อศึกษาความสอดคล้องเชื่อมโยงระหว่างการสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยา โดยการสร้างหลักฐานจากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ พร้อมทั้งตรวจสอบความสมเหตุสมผลของหลักฐานเชื่อมโยงกับเหตุผลทางวิทยาศาสตร์

3.2 แบบวัดความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยข้อสอบชนิดเขียนตอบที่มีลักษณะของข้อคำถามเป็นคำถามปลายเปิด ในบริบทเกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์ มีการกำหนดสถานการณ์ทดลองเพื่อศึกษาปฏิกิริยาการย่อยน้ำมันพืช (หลอดทดลอง 1 – 3) และไข่ขาว (หลอดทดลอง 4 – 6) ของเอนไซม์ A ที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 5 นาที โดยใส่เอนไซม์ A ในปริมาณที่เท่ากันในทุกหลอดทดลอง ได้ผลการทดลอง ดังนี้

หลอดทดลอง	อุณหภูมิที่อุ่นหลอดทดลอง (°C)	ปริมาณน้ำมันพืชในหลอดทดลอง (mL)	
		เริ่มต้นทดลอง	เมื่อเ วลาผ่านไป 5 นาที
1	25	2.0	0.5
2	35	2.0	0.0
3	45	2.0	2.0
4	25	2.0	2.0
5	35	2.0	2.0
6	45	2.0	2.0

คำถาม จากข้อมูล จะอธิบายการทำงานของเอนไซม์ A ได้ว่าอย่างไร

ทั้งนี้ การอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะตรวจคำตอบด้วยการให้คะแนนตามเกณฑ์ประเมินแบบรูบริค (Specific Scoring Rubrics) ซึ่งสร้างตามกรอบแนวคิดของ McNeil and Krajcik (2012) ใน 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ข้อสรุป หลักฐาน และ

การให้เหตุผล โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละองค์ประกอบเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 2 คะแนน 1 คะแนน และ 0 คะแนน (คะแนนเต็ม 6 คะแนน) แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของข้อสอบที่มีบริบทเกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
ข้อสรุป (Claim)	(ไม่ลงข้อสรุปหรือลงข้อสรุปไม่ถูกต้อง) *ระบุว่า เอนไซม์ A สามารถย่อยไข่ขาวได้แต่ไม่สามารถย่อยน้ำมันพืชได้ หรือ ระบุว่าเอนไซม์ A ทำงานได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 45 °C*	(ลงข้อสรุปได้ถูกต้อง แต่ไม่สมบูรณ์) *กล่าวได้ไม่ครบถ้วน เช่น กล่าวว่า เอนไซม์ A สามารถย่อยน้ำมันพืช (ไขมัน) ได้ แต่ไม่กล่าวถึงการย่อยไข่ขาว (โปรตีน) หรือ กล่าวถึงสารที่เอนไซม์ A ย่อยได้ แต่ไม่กล่าวถึงอุณหภูมิที่เอนไซม์ A ทำงานได้ดีที่สุด หรือทำงานได้ หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง*	(ลงข้อสรุปได้ถูกต้องและสมบูรณ์) *กล่าวชัดเจนว่า “เอนไซม์ A สามารถย่อยน้ำมันพืช (ไขมัน)ได้แต่ไม่สามารถย่อยไข่ขาว (โปรตีน) ได้ และเอนไซม์ A ทำงานได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 35 °C หรือทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ 25 – 35 °C”*
หลักฐาน (Evidence)	(ไม่ระบุหลักฐานหรือหลักฐานที่ให้ไม่เหมาะสม (หลักฐานที่ระบุไม่สนับสนุนข้อสรุป)) *ระบุข้อมูลที่ไม่เหมาะสม เช่น ปริมาณน้ำมันพืช หรือปริมาณไข่ขาวเมื่อเริ่มต้นทดลอง หรือไม่ระบุ*	(ระบุหลักฐานได้เหมาะสม แต่ไม่เพียงพอที่จะสนับสนุนข้อสรุป อาจใช้หลักฐานบางส่วนที่ไม่เหมาะสม) *ระบุข้อมูลที่เป็นหลักฐานเพียงปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือหลังทดลอง หรือ ปริมาณไข่ขาวที่ไม่เปลี่ยนแปลงหลังทดลองอย่างใดอย่างหนึ่ง*	(ระบุหลักฐานที่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับสนับสนุนข้อสรุป) *ระบุหลักฐานที่เหมาะสมได้ครบทั้ง 2 ส่วน ได้แก่ 1) ปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือ และ 2) ปริมาณไข่ขาวที่ไม่เปลี่ยนแปลงหลังทดลอง*
เหตุผล (Reasoning)	(ไม่ให้เหตุผลหรือให้เหตุผลที่ไม่เชื่อมโยงหลักฐานที่สนับสนุนข้อสรุป) *ให้เหตุผลที่ไม่เหมาะสม เช่น “ที่อุณหภูมิสูงเอนไซม์จะมีปริมาณลดลง”*	(ให้เหตุผลที่เชื่อมโยงหลักฐานที่สนับสนุนข้อสรุป มีการเชื่อมโยงหลักการทางวิทยาศาสตร์บางส่วน แต่ไม่เพียงพอ) *กล่าวเกี่ยวกับความจำเพาะของเอนไซม์กับสารตั้งต้น หรือการเสียสภาพทางธรรมชาติของเอนไซม์เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป อย่างใดอย่างหนึ่ง*	(ให้เหตุผลที่เชื่อมโยงหลักฐานที่สนับสนุนข้อสรุป รวมถึงใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสม เพียงพอ) *กล่าวถึง ความจำเพาะของเอนไซม์กับสารตั้งต้น และการเสียสภาพทางธรรมชาติของเอนไซม์เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป*

ข้อคำถามและเกณฑ์การตรวจให้คะแนนผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 2 คน และสาขาชีววิทยา จำนวน 1 คน มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญ (IOC) อยู่ในช่วง 0.67 – 1.00 สำหรับการตรวจสอบความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater Reliability) โดยการนำผลคะแนนที่ได้จากการตรวจให้คะแนนแบบสอบวัดความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของผู้วิจัยและครูชีววิทยา จำนวน 1 คน รวม 2 คน มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ผลการตรวจสอบ พบว่า คะแนนสอบวัดความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์ระหว่างผู้ประเมินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.86 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบทีแบบสองกลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent Sample t-test)

ผลการวิจัย

1. ผลการจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีต่อความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยา กิจกรรมการทดลองที่นักศึกษาครูชีววิทยาออกแบบเพื่อการได้มาซึ่งหลักฐานในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปัญหา “สารใดอีกบ้างนอกจากน้ำผึ้งที่มีคุณสมบัติสามารถรักษาแผลติดเชื้อเรื้อรังหรือถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่ายเช่นเดียวกับน้ำผึ้ง เพราะเหตุใด” นักศึกษาครูชีววิทยาจะทำงานเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มคาดคะเนคำตอบของปัญหา (สมมติฐาน) จากนั้นออกแบบกิจกรรมการทดลองและทำการทดลอง ได้ผลการทดลอง แสดงดังตาราง 2 และตัวอย่างกิจกรรมการทดลองของนักศึกษาครูชีววิทยา แสดงดังภาพ 1

ตาราง 2 สมมติฐาน กิจกรรมการทดลอง และผลการทดลองที่นักศึกษาครูชีววิทยาออกแบบเพื่อหาคำตอบของปัญหา “สารใดอีกบ้างนอกจากน้ำผึ้งที่มีคุณสมบัติสามารถรักษาแผลติดเชื้อเรื้อรังหรือถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่ายเช่นเดียวกับน้ำผึ้ง เพราะเหตุใด”

กลุ่มที่	สมมติฐาน	กิจกรรมการทดลอง	ผลการทดลอง
1	น้ำเชื่อมสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อหมูได้	แช่เนื้อหมูในน้ำเชื่อมเข้มข้น 30% เข้มข้น 90% น้ำกลั่น และไม่แช่ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค streak plate สังเกต การเจริญของจุลินทรีย์โดยการนับจำนวนโคโลนี	จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ น้ำเชื่อมเข้มข้น 90% เข้มข้น 30% น้ำกลั่น และไม่แช่
2	นมสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อวัวได้	แช่เนื้อวัวในนมจืด นมขาดมันเนย น้ำกลั่น และไม่แช่ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค streak plate สังเกตการเจริญของจุลินทรีย์โดยการนับจำนวนโคโลนี	จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ น้ำกลั่น นมจืด นมขาดมันเนย และไม่แช่
3	แอลกอฮอล์เข้มข้น 40% สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อไก่ได้ดีที่สุด	แช่เนื้อไก่ในแอลกอฮอล์เข้มข้น 20% เข้มข้น 40% น้ำกลั่น และไม่แช่ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค streak plate สังเกตการเจริญของจุลินทรีย์โดยการนับจำนวนโคโลนี	จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ แอลกอฮอล์เข้มข้น 40% เข้มข้น20% น้ำกลั่น และไม่แช่
4	น้ำเกลือสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อหมูได้	แช่เนื้อหมูในน้ำเกลือเข้มข้น 15% เข้มข้น 25% น้ำกลั่น และไม่แช่ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค streak plate สังเกตการเจริญของจุลินทรีย์โดยการนับจำนวนโคโลนี	จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ น้ำเกลือเข้มข้น 25% เข้มข้น15% น้ำกลั่น และไม่แช่
5	น้ำผึ้งสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อหมูได้ดีที่สุด	แช่เนื้อหมูในสารละลายต่างๆ ดังนี้ น้ำผึ้ง เหล้าขาว น้ำเกลือ น้ำเชื่อม ซีอิ๊วดำ น้ำมันพืช นม น้ำกลั่น และไม่แช่ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค streak plate สังเกตการเจริญของจุลินทรีย์โดยการนับจำนวนโคโลนี	จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ เหล้าขาว ซีอิ๊วดำ น้ำเกลือ น้ำเชื่อม น้ำผึ้ง น้ำมัน นม ไม่แช่ และน้ำกลั่น

กลุ่มที่	สมมติฐาน	กิจกรรมการทดลอง	ผลการทดลอง
6	ซีอิ๊วดำสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อหมูได้ดีที่สุด	แช่เนื้อหมูในซีอิ๊วดำ ซอสถั่วเหลือง น้ำกลั่น และไม่แช่ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค streak plate สังเกตการเจริญของจุลินทรีย์โดยการนับจำนวนโคโลนี	จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ ซีอิ๊วดำ ซอสถั่วเหลือง ไม่แช่ และน้ำกลั่น
7	เนื้อปลาที่แช่ในน้ำมันต่างชนิดกันเกิดจุลินทรีย์ในปริมาณที่ต่างกัน	แช่เนื้อปลาในน้ำมันชนิดต่าง ๆ ดังนี้ น้ำมันหมู น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก แช่ในน้ำกลั่น และไม่แช่ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค streak plate สังเกตการเจริญของจุลินทรีย์ โดยการนับจำนวนโคโลนี	จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ ไม่แช่ น้ำกลั่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก และน้ำมันหมู

ภาพ 1 ตัวอย่างกิจกรรมการทดลองของนักศึกษาครูชีววิทยา

จากกิจกรรมการทดลองที่นักศึกษาครูชีววิทยาแต่ละกลุ่มออกแบบ พบว่า ทุกกลุ่มสามารถออกแบบกิจกรรมการทดลองได้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยทุกกลุ่มคาดคะเนคำตอบหรือข้อสรุปของปัญหา (สมมติฐาน) ว่า สารชนิดต่างๆ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์ได้ และออกแบบการทดลองแช่เนื้อสัตว์ในสารชนิดต่างๆ จากนั้นทำการแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค Streak Plate และสังเกตการเจริญของจุลินทรีย์ โดยการนับจำนวนโคโลนี เมื่อพิจารณาผลการทดลองของแต่ละกลุ่ม พบว่า ผลการทดลองของกลุ่ม 1 3 4 6 และ 7 เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ส่วนผลการทดลองของกลุ่ม 2 และ 5 ไม่เป็นไปตามสมมติฐาน เนื่องจากกลุ่ม 2 ตั้งสมมติฐานว่า *“นมสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อวัวได้”* แต่ผลการทดลอง พบว่า เนื้อวัวที่แช่ในนมมีจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์มากกว่าที่แช่ในน้ำกลั่น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า สารอาหารในนมเหมาะแก่การเจริญของจุลินทรีย์ สำหรับกลุ่ม 5 ตั้งสมมติฐานว่า *“น้ำผึ้งสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อหมูได้ดีที่สุด”* แต่ผลการทดลอง พบว่า เหล้าขาวมีจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์น้อยที่สุด แสดงว่า เหล้าขาวสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในเนื้อหมูได้ดีที่สุด ในกิจกรรมที่ใช้เพื่อส่งเสริมให้นักศึกษาครูชีววิทยาสามารถสร้างหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อสรุป พบว่า แต่ละกลุ่มมีการกำหนดตัวแปรต้นและสมมติฐานการทดลองที่แตกต่างกันไปตามความสนใจ ส่งผลให้ได้ข้อมูลที่มีความหลากหลาย ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในบริบทของการถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่ายจากหลักฐานการทดลองที่ได้ในหัวข้อถัดไป

หลังจากนักศึกษาครูชีววิทยาแต่ละกลุ่มได้ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ในการหาคำตอบของปัญหาที่ถามว่า “สารใดอีกบ้างนอกจากน้ำผึ้งที่มีคุณสมบัติสามารถรักษาแผลติดเชื้อเรื้อรังหรือถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่ายเช่นเดียวกับน้ำผึ้ง เพราะเหตุใด” นักศึกษาครูแต่ละกลุ่มนำผลการทดลองที่ได้มาใช้เป็นหลักฐานในการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ก่อนและหลังได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน แสดงดังตาราง 3 และคะแนนคำอธิบาย

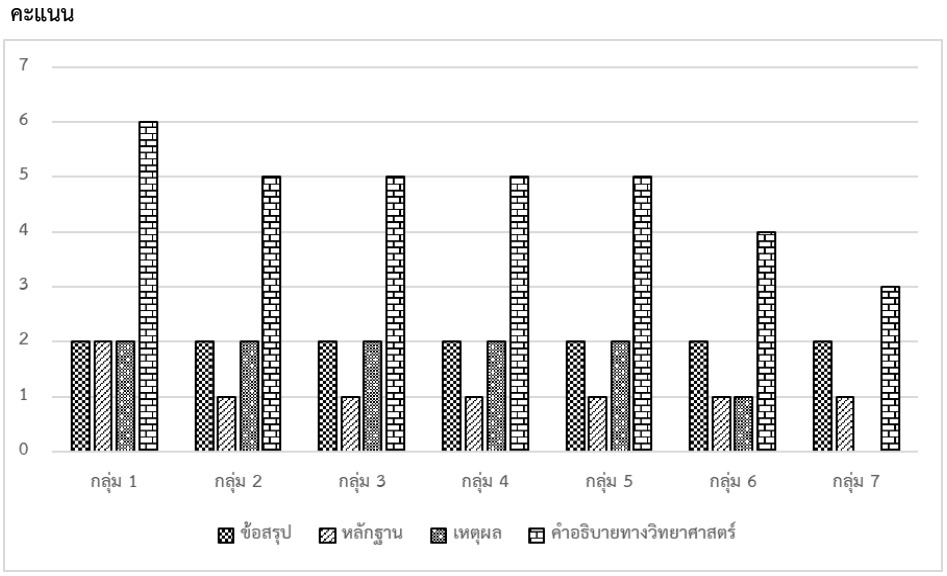
ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่าย ของนักศึกษาครูชีววิทยา จำแนกตามกลุ่ม (ก่อนได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน) แสดงดังแผนภูมิ 1

ตาราง 3 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่าย ของนักศึกษาครูชีววิทยา (รายกลุ่ม) ก่อนและหลังได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน

กลุ่มที่	คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	
	ก่อนได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน	หลังได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน
1	**เนื้อหมูที่แช่น้ำผึ้งและน้ำเชื่อมจะไม่เน่า** เพราะปริมาณจุลินทรีย์ของเนื้อที่แช่น้ำเชื่อมและน้ำผึ้งมีปริมาณน้อยกว่าไม่แช่ และเนื้อหมูที่แช่และไม่แช่น้ำผึ้งและน้ำเชื่อมแห้งเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากความเข้มข้นของสาร ละลายมีผลต่อเนื้อหมูและจุลินทรีย์ในเนื้อหมู ถ้าสาร ละลายมีความเข้มข้นมากกว่าเนื้อหมูและเซลล์จุลินทรีย์ น้ำจะ osmosis ออกจากเนื้อหมูและเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ตาย เนื้อหมูแห้ง เนื้อหมูจึงไม่เน่า	(เนื่องจากกลุ่ม 1 เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องและครบถ้วนตั้งแต่การเขียนครั้งแรกจึงไม่มีการให้ข้อมูลป้อนกลับเพื่อการปรับปรุงแก้ไขคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์)
2	**หมักเนื้อวัวด้วยนมทำให้เนื้อไม่เน่า** เพราะจากผลการทดลอง พบว่า นมสามารถยับยั้งแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในเนื้อวัวได้ สังเกตจากจำนวนของแบคทีเรียที่ลดลง เนื่องจากนมมีความเข้มข้นสูงกว่าเนื้อวัว ทำให้น้ำออสโมซิสออกจากเนื้อวัวตามหลักของออสโมซิสที่น้ำมากจะออสโมซิสไปยังน้ำน้อย ส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียในเนื้อวัวมีปริมาณลดลงสาเหตุมาจากการขาดน้ำ	**แช่เนื้อวัวในนมเนื้อวัวไม่เน่า** เพราะเนื้อวัวแห้งและจากการทดลอง พบว่า นมสามารถทำให้จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในเนื้อวัวลดลงได้ ดูจากจำนวนของจุลินทรีย์ในเนื้อวัวที่แช่ในนมน้อยกว่าในเนื้อวัวที่ไม่ได้แช่ เนื่องจากนมมีความเข้มข้นสูงกว่าสารละลายภายในเซลล์เนื้อวัวและเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้น้ำออสโมซิสออกจากเซลล์เนื้อวัวและเซลล์จุลินทรีย์
3	**เนื้อสัตว์จะไม่เน่า** เพราะ จากตารางผลการทดลองและรูปที่แสดงให้เห็นปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 20% เข้มข้น 40% และน้ำกลั่น เนื่องจากแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นสูงน้ำจากในเนื้อไก่จึงออสโมซิสออกมา ซึ่งเป็นไปตามหลักการออสโมซิสที่โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีน้ำมากไปยังบริเวณที่มีน้ำน้อย ส่งผลให้จุลินทรีย์ในเนื้อไก่อยู่ในสภาพที่ขาดน้ำเชื้อจุลินทรีย์ในเนื้อไก่จึงลดปริมาณลง	**เนื้อไก่แช่เหล้า (แอลกอฮอล์ 40%) จะไม่เน่า** เพราะจากการทดลอง แอลกอฮอล์เข้มข้น 40% สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในเนื้อไก่ได้และลักษณะของเนื้อไก่ที่แช่แอลกอฮอล์มีลักษณะที่แห้ง เนื่องจากเมื่อนำเนื้อไก่ไปแช่ในแอลกอฮอล์เข้มข้น 40% ซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่าความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์จุลินทรีย์และภายในเซลล์เนื้อไก่ น้ำทั้งในเซลล์ของจุลินทรีย์และในเซลล์เนื้อไก่จึงออสโมซิสออกจากเซลล์ทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์ขาดน้ำและตายลง และการที่น้ำออสโมซิสออกจากเซลล์เนื้อไก่ จึงทำให้เนื้อไก่แห้ง
4	**เนื้อหมูจะไม่เน่าเสีย และเก็บไว้ได้นาน** เพราะผลการทดลอง streak plate จากชิ้นเนื้อที่แช่ในน้ำเกลือ พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ เนื่องจากการแช่เนื้อหมูด้วยน้ำเกลือจะเกิดการออสโมซิสของน้ำจากบริเวณที่มีโมเลกุลของน้ำมากไปยังบริเวณที่มีโมเลกุลของน้ำน้อย ส่งผลให้น้ำในตัวจุลินทรีย์ออสโมซิสออกจากเซลล์ ทำให้เซลล์จุลินทรีย์ตาย และลดปริมาณของจุลินทรีย์ในเนื้อหมูลง	**เมื่อหมักเนื้อหมูด้วยน้ำเกลือเข้มข้น 25% เนื้อหมูจะไม่เน่าเสีย** เพราะพบว่าเนื้อหมูที่แช่ในน้ำเกลือมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าเนื้อหมูที่แช่ในน้ำกลั่นและน้อยกว่าเนื้อหมูที่ไม่แช่ เนื่องจากการแช่เนื้อหมูด้วยน้ำเกลือจะเกิดการออสโมซิสของน้ำในเซลล์จุลินทรีย์ออกจากเซลล์ทำให้เซลล์จุลินทรีย์ตาย และน้ำในเซลล์เนื้อหมูก็ออสโมซิสออกจากเซลล์เช่นเดียวกัน ทำให้เนื้อหมูแห้ง

กลุ่มที่	คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	
	ก่อนได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน	หลังได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน
5	**เนื้อสัตว์ไม่เน่า** เพราะจากการทดลองน้ำผึ้งและสารอื่น ได้แก่ เหล้า น้ำเกลือ น้ำเชื่อม ซีอิ๊ว น้ำมัน นม และน้ำกลั่น ช่วยในการยับยั้งแบคทีเรีย เนื่องจากสารที่มีความเข้มข้นสูงทำให้น้ำในเซลล์แบคทีเรียออสโมซิสออกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกมาอยู่ในสารละลายแบคทีเรียจึงเกิด hypertonic จนตาย ดังนั้น เนื้อสัตว์ที่อยู่ในน้ำผึ้งและสารที่มีความเข้มข้นสูงเช่น เหล้า ซีอิ๊ว น้ำเกลือ น้ำเชื่อม จึงไม่เน่าเสีย และสามารถเก็บไว้ได้นาน	**เนื้อหมูที่แช่ในสารละลายชนิดต่างๆ จะไม่เน่า** เพราะปริมาณจุลินทรีย์ในชิ้นเนื้อหมูที่แช่ในสารละลายชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำผึ้ง น้ำเชื่อม น้ำเกลือ เหล้า ซีอิ๊ว มีปริมาณน้อยกว่าในชิ้นเนื้อหมูที่ไม่แช่ และเนื้อหมูแห้ง เนื่องจากสารละลายต่างๆ ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้น้ำภายในเซลล์จุลินทรีย์ออสโมซิสอออกมาภายนอกเซลล์รวมถึงน้ำในเซลล์ของเนื้อหมูก็ออสโมซิสออกมาจากเซลล์เนื้อหมู ทำให้เนื้อหมูแห้งและไม่เน่าเสีย
6	**เมื่อหมักเนื้อหมูด้วยซีอิ๊ว เนื้อหมูจะไม่เน่า** เพราะเนื้อหมูที่แช่ซีอิ๊วมีปริมาณเชื้อแบคทีเรียน้อยกว่าเนื้อหมูที่ไม่แช่ในซีอิ๊ว เนื่องจากซีอิ๊วมีความเข้มข้นของน้ำน้อยกว่าแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นของน้ำมากกว่าจึงทำให้น้ำในเซลล์แบคทีเรียเกิดการออสโมซิสออกจากเซลล์ทำให้เชื้อแบคทีเรียไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้	**เมื่อหมักเนื้อหมูด้วยซีอิ๊ว เนื้อหมูจะไม่เน่า** เพราะเนื้อหมูที่แช่ซีอิ๊วมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าเนื้อหมูที่ไม่แช่ในซีอิ๊ว และเมื่อเวลาผ่านไปชิ้นเนื้อหมูจะแห้ง เนื่องจากซีอิ๊วมีความเข้มข้นของน้ำน้อยกว่าความเข้มข้นของน้ำในเซลล์จุลินทรีย์จึงทำให้น้ำในเซลล์จุลินทรีย์เกิดการออสโมซิสออกจากเซลล์ทำให้เชื้อ จุลินทรีย์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในขณะเดียวกัน ซีอิ๊วมีความเข้มข้นของน้ำน้อยกว่าความเข้มข้นของน้ำในเซลล์เนื้อหมู น้ำในเซลล์เนื้อหมูจึงมีการออสโมซิสออกมาด้วยเช่นกัน
7	**ไม่เน่า** เพราะ การตรวจสอบแบคทีเรียในเนื้อปลาโดยวิธีการหมักน้ำมันต่างชนิดกัน เนื่องจากแรงดันออสโมซิสในน้ำผึ้งมีความเข้มข้นมากกว่าสารละลายในตัวเชื้อโรคจึงเกิดแรงดันให้น้ำในตัวเชื้อโรคซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ออกมาอยู่ในน้ำผึ้ง ทำให้เชื้อตาย	**เนื้อปลาที่แช่ในน้ำมันเน่า** เพราะเชื้อจุลินทรีย์ของเนื้อปลาที่แช่ในน้ำมันมากกว่าชิ้นเนื้อปลาที่ไม่ได้แช่น้ำมัน และเนื้อปลาไม่แห้ง เนื่องจากน้ำภายในเซลล์จุลินทรีย์และเซลล์เนื้อปลาไม่สามารถออสโมซิสออกจากเซลล์ได้ เนื่องจากน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ น้ำและน้ำมันจึงแยกชั้นกัน และไม่ละลายเข้าด้วยกัน จุลินทรีย์จึงยังเจริญเติบโตได้ในเนื้อปลา เนื้อปลาจึงเน่า

หมายเหตุ อักษรตัวหนาแสดงข้อสรุป อักษรตัวตรงแสดงหลักฐาน และอักษรตัวขีดเส้นใต้แสดงเหตุผล



แผนภูมิ 1 คะแนนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่าย ของนักศึกษาครูชีววิทยา จำแนกตามกลุ่ม (ก่อนได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน)

จากข้อมูลในตาราง 3 พบว่า ในการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ กลุ่ม 2 – 7 ระบุหลักฐานไม่ครบถ้วน เพราะหลักฐานที่ควรนำมาใช้ประกอบเพื่อสนับสนุนข้อสรุปมี 2 ส่วน ได้แก่ ปริมาณโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์และลักษณะของเนื้อสัตว์ที่แห้ง (เนื่องจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกตผลการทดลองของกิจกรรมที่นักศึกษาแต่ละกลุ่มออกแบบนี้มีทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ดังนั้น การระบุหลักฐานจึงควรมีข้อมูลทั้งสองลักษณะ) แต่ทั้งหกกลุ่ม ระบุเฉพาะข้อมูลที่เป็นผลการทดลองในส่วนของการสังเกตปริมาณโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ โดยไม่ระบุผลการสังเกตลักษณะเนื้อสัตว์หลังการแช่ แสดงให้เห็นว่า แม้จะมีข้อมูลทางวิทยาศาสตร์มากกว่า 1 อย่าง ที่สามารถนำมาเป็นหลักฐานในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ แต่นักศึกษาครูทั้งหกกลุ่มยังขาดการประเมินหลักฐานที่จะนำมาใช้ในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยจึงให้ข้อมูลป้อนกลับว่า *“หลักฐานยังไม่ครบถ้วน ให้พิจารณาว่ายังมีข้อมูลอื่นที่สังเกตได้จากการทดลองนอกจากปริมาณโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์อีกหรือไม่”* หลังจากได้รับข้อมูลป้อนกลับ กลุ่ม 2 – 6 สามารถระบุหลักฐานได้ครบถ้วน โดยกล่าวถึงทั้งปริมาณโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์และลักษณะของเนื้อสัตว์ที่แห้ง ส่วนกลุ่ม 7 ไม่ระบุถึงหลักฐานที่จะนำมาสนับสนุนข้อสรุป โดยกล่าวถึงเพียงวิธีการทดลอง อีกทั้งการเขียนยังสะท้อนให้เห็นว่านักศึกษากลุ่มนี้เกิดความสับสนระหว่างเหตุผลและหลักฐาน ผู้วิจัยจึงให้ข้อมูลป้อนกลับแก่กลุ่ม 7 เป็นครั้งที่ 2 ว่า *“เหตุผลไม่สอดคล้องกับข้อสรุปและหลักฐาน เนื่องจากระบุหลักฐานและเหตุผลในสถานการณ์เรื่องน้ำผึ้ง (ซึ่งไม่ใช่สถานการณ์ที่ศึกษาของกลุ่ม) ในขณะที่ข้อสรุปมาจากสมมติฐานในกิจกรรมการทดลองที่ออกแบบไว้”* ข้อมูลวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า หลังการให้ข้อมูลป้อนกลับของผู้สอน นักศึกษาทุกกลุ่มสามารถเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยนำหลักฐานที่ได้จากการทดลองมาเชื่อมโยงกับเหตุผลทางวิทยาศาสตร์เพื่อรองรับข้อสรุปที่ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

2. ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยาก่อนและหลังการเรียนรู้โดยการจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยาก่อนและหลังการเรียนรู้ จำแนกตามองค์ประกอบและรวมทุกองค์ประกอบ

องค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	ก่อนทำกิจกรรม		หลังทำกิจกรรม		t-test	*p*
	$\bar{X}$	SD	$\bar{X}$	SD		
ข้อสรุป (Claim)	1.37	0.78	1.45	0.69	0.465	.646
หลักฐาน (Evidence)	0.48	0.78	1.31	0.60	6.272	.000*
เหตุผล (Reasoning)	0.24	0.44	1.10	0.72	5.570	.000*
รวมทุกองค์ประกอบ	2.10	1.35	3.86	1.71	6.863	.000*

**p<0.05*

จากตาราง 4 แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยาในองค์ประกอบด้านข้อสรุปก่อนและหลังการเรียนรู้ไม่แตกต่างกัน แต่ในองค์ประกอบด้านหลักฐานและการให้เหตุผล มีค่าคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังทำกิจกรรมการเรียนรู้สูงกว่าก่อนทำกิจกรรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ ค่าคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์รวมทุกองค์ประกอบหลังการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในที่นี้ ผู้วิจัยขอเสนอตัวอย่างคำตอบของข้อสอบวัดความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในบริบทที่เกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์ของนักศึกษาครูชีววิทยาก่อนและหลังการเรียนรู้ ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างคำตอบก่อนทำกิจกรรม

“เอนไซม์ A มีความจำเพาะในการย่อยน้ำมันพืช และย่อยได้ดีที่อุณหภูมิ 35 °C และสามารถย่อยได้ที่อุณหภูมิ 25 °C เอนไซม์ A จะเสื่อมสภาพการทำงานที่อุณหภูมิ 45 °C (2 คะแนน สำหรับข้อสรุป 0 คะแนน สำหรับหลักฐาน และ 1 คะแนน สำหรับเหตุผล ดังนั้น คะแนนรวมจึงเท่ากับ 3)”

ตัวอย่างคำตอบหลังทำกิจกรรม

“เอนไซม์ A เป็นเอนไซม์ที่ย่อยน้ำมันพืชและทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 35 °C เพราะจากผลการทดลอง พบว่าที่อุณหภูมิ 35 °C หลังทดลอง ไม่พบว่ามีปริมาณน้ำมันพืชเหลืออยู่ ในขณะที่ปริมาณไข่ขาวยังเหลืออยู่เท่ากับก่อนทดลอง เนื่องจากเอนไซม์ A มีความจำเพาะต่อน้ำมันพืช และจะเสียสภาพเมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป (2 คะแนน สำหรับข้อสรุป 2 คะแนน สำหรับหลักฐาน และ 2 คะแนน สำหรับเหตุผล ดังนั้น คะแนนรวมจึงเท่ากับ 6)”

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างคำตอบของข้อสอบข้อนี้ของนักศึกษาครูชีววิทยาตามเกณฑ์การตรวจให้คะแนนการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ สะท้อนให้เห็นว่า ก่อนการเรียนรู้นักศึกษาสามารถลงข้อสรุปได้ถูกต้อง และให้เหตุผลได้ถูกต้องบางส่วน แต่ไม่สามารถระบุหลักฐานได้ ในขณะที่หลังการเรียนรู้นักศึกษาสามารถระบุหลักฐานที่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับสนับสนุนข้อสรุป รวมถึงให้เหตุผลโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมและเพียงพอในการเชื่อมโยงหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อสรุปได้ดีขึ้น

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

1. กิจกรรมการสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยา โดยการกำหนดปัญหาที่เป็นสถานการณ์เพื่อเป็นบริบทในการสืบเสาะส่งเสริมให้นักศึกษาครูชีววิทยาได้พัฒนาความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเปิดโอกาสให้นักศึกษาครูชีววิทยาได้ออกแบบกิจกรรมการทดลองเพื่อให้ได้หลักฐานที่น่าเชื่อถือและสอดคล้องกับความสนใจตามสมมติฐานที่ตั้งขึ้นตามเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ โดยนักศึกษาครูชีววิทยาพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนำไปสู่การทดลองและการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีความถูกต้องและครบถ้วนได้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Duschl (2003, pp. 41 – 59); Sandoval and Reiser (2004, pp. 345 – 372) ที่ผลการวิจัยบ่งชี้ว่า กิจกรรม

การเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นการฝึกให้ผู้เรียนรวบรวมข้อมูลและแปลงข้อมูลดังกล่าวเป็นหลักฐานเพื่อใช้การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ทำให้นักศึกษามีความมั่นใจในความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่นำมาเป็นหลักฐานในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

การนำข้อมูลจากการทดลองมาเป็นหลักฐานในเบื้องต้นนั้น นักศึกษาครูชีววิทยาส่วนใหญ่มุ่งพิจารณาแต่ข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ผลของจำนวนโคโลนีเชื้อจุลินทรีย์ โดยละเลยข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น ความแห้งของเนื้อสัตว์ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งข้อมูลที่สามารถนำมาเป็นหลักฐานที่จะทำให้หลักฐานเพียงพอในการสนับสนุนคำตอบหรือข้อสรุป สังเกตได้จากคะแนนการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยากลุ่มที่ 2 – 7 ที่ยังระบุหลักฐานไม่ครบถ้วน (ก่อนได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอน) เนื่องจากระบุเพียงข้อมูลปริมาณของจุลินทรีย์ที่มากน้อยต่างกัน แต่ไม่ได้ระบุถึงลักษณะของเนื้อสัตว์ที่แห้ง แสดงให้เห็นว่านักศึกษาครูประสบกับความยากในการตัดสินหรือพิจารณาว่าข้อมูลใดเหมาะสมที่จะนำมาเป็นหลักฐาน (Bell & Linn, 2000, pp. 797–817; Sandoval, 2003, pp. 5–51; Sandoval & Millwood, 2005, pp. 23–55) เนื่องจากหลักฐานที่จะนำมาสนับสนุนคำตอบหรือข้อสรุปจะต้องเหมาะสมและเพียงพอ สำหรับความเหมาะสมนั้น ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นหลักฐานต้องสอดคล้องกับปัญหาเพื่อให้คำตอบหรือข้อสรุปนั้นมีความน่าเชื่อถือ ส่วนความเพียงพอ ข้อมูลเหล่านั้นต้องมากพอที่จะโน้มน้าวให้ผู้อื่นเชื่อในคำตอบหรือข้อสรุป ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการที่หลักฐานจะเพียงพอนั้นต้องใช้ข้อมูลหลายชิ้น (McNeill & Krajcik, 2008, pp. 121–134) นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสะท้อนให้เห็นว่า การให้ข้อมูลป้อนกลับจากผู้สอนช่วยให้การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูมีความถูกต้องและครบถ้วน เนื่องจากข้อมูลป้อนกลับช่วยให้นักศึกษารู้ข้อบกพร่องที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขในการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ทำให้สามารถแก้ไขได้ตรงจุด (Davies, 2003, pp. 13–26; McNeill & Krajcik, 2012, p. 83)

3. ความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยามีค่าคะแนนเฉลี่ยหลังการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้ ด้านข้อสรุป พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนการเรียนรู้และหลังการเรียนรู้ไม่แตกต่างกัน แต่ด้านหลักฐานและการให้เหตุผลมีค่าคะแนนเฉลี่ยหลังการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สะท้อนให้เห็นว่า การจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ครั้งนี้ส่งผลต่อความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยช่วยให้นักศึกษาครูชีววิทยาสามารถเขียนอธิบายหลักฐานและเชื่อมโยงการให้เหตุผลที่ถูกต้องมากขึ้น

ผลการวิจัยครั้งนี้สะท้อนภาพการจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ผ่านกิจกรรมการสืบเสาะหาความรู้ โดยผู้สอนเป็นผู้กำหนดสถานการณ์ปัญหา แล้วเปิดโอกาสให้นักศึกษาครูชีววิทยาได้ออกแบบกิจกรรมการทดลองเพื่อให้ได้หลักฐานที่น่าเชื่อถือและสอดคล้องกับความสนใจตามสมมติฐานที่ตั้งขึ้นตามเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ แล้วนำไปสู่การทดลองและการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ในสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดให้นั้น ช่วยให้นักศึกษาครูชีววิทยาสามารถออกแบบการทดลองตามความสนใจที่มีความจำเพาะได้ โดยเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้อธิบายวิธีการถนอมเนื้อสัตว์ไม่ให้เน่าเสียง่ายในครั้งนี้จะใช้หลักการวิทยาศาสตร์เดียวกัน ซึ่งช่วยสะท้อนให้นักศึกษาเข้าใจได้ว่า ข้อสรุปที่เกิดจากหลักฐานต่างๆ โดยการเชื่อมโยงเหตุผลทางวิทยาศาสตร์อย่างมีเหตุมีผล สามารถนำไปใช้ขยายผลข้อสรุปที่ได้ในสถานการณ์ใดๆ ก็ตามที่มีความคล้ายคลึงกัน รวมถึงการให้ข้อมูลป้อนกลับที่มีส่วนส่งเสริมให้นักศึกษาเรียนรู้ถึงการระบุหลักฐานและการเชื่อมโยงการให้เหตุผลที่ครบถ้วนยิ่งขึ้น ดังนั้น การจัดประสบการณ์การสร้างหลักฐานและการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้ จึงถือเป็นแนวทางปฏิบัติหนึ่งสำหรับการพัฒนาความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยาได้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า การกำหนดสถานการณ์ปัญหาเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนออกแบบการทดลองและสร้างหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อสรุปได้อย่างน่าเชื่อถือนั้น จำเป็นที่สถานการณ์ดังกล่าวจะต้องเอื้อให้ผู้เรียนสามารถตั้งสมมติฐานได้หลากหลายตามความสนใจอย่างแท้จริง เพื่อจะนำไปสู่การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มุ่งตอบปัญหานั้นๆ ด้วยตนเองอย่างแท้จริง จึงจะทำให้กิจกรรมในลักษณะนี้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 กระบวนการส่งเสริมความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นอกจากการจัดประสบการณ์ตรงในการสร้างหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อสรุปแล้ว จำเป็นที่จะต้องเสริมกระบวนการให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักศึกษาครูชีววิทยาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้เกิดความถูกต้องและครบถ้วน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 เนื่องจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำมาเป็นหลักฐานในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์นั้นมีหลายลักษณะ จึงควรมีการศึกษาการสร้างหลักฐานในลักษณะอื่นของนักศึกษาครูชีววิทยา เพื่อให้ได้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำมาเป็นหลักฐานนอกเหนือจากข้อมูลจากการทดลอง

2.2 ควรมีการประเมินความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง เช่น ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการออสโมซิส เนื่องจากอาจเป็นปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครูชีววิทยา เพราะงานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาให้ครอบคลุมในส่วนของการพัฒนาองค์ความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรืออื่นๆ ที่อาจเป็นประเด็นศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

References

Aikenhead, G. S. (2004). Science-based occupations and the science curriculum: concepts of evidence. *Science Education*, 89(2), 242–275.

Bell, P., & Linn, M. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797–817.

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching, 35*(6), 623–654.

Davies, A. (2003). Learning through assessment: Assessment for learning in the science classroom. In J. M. Atkin & J. E. Coffey (Eds.), *Everyday assessment in the science classroom* (pp. 13–26). Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.

Duschl, R. A. (2003). Assessment of inquiry. In J. M. Atkin, & J. E. Coffey (Eds.), *Everyday assessment in the science classroom* (pp. 41 – 59). Washington, DC: National Science Teachers Association Press.

Kampourakis, K., Silveira, P., & Strasser, B. J. (2016). How do preservice biology teachers explain the origin of biological traits?: A philosophical analysis. *Science Education,* 100(6), 1124 – 1149.

Kuhn, L., & Reiser, B. (2005). *Students constructing and defending evidence-based scientific explanations.* Paper presented at the Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas, EUA.

Macagno, F. (2016). Argument relevance and structure. Assessing and developing student' uses of evidence. *International Journal of Educational Research*, 79, 180–194.

McNeill, K. L., Lizotte, D. J., & Krajcik, J. (2005). *Identifying teacher practices that support students; explanation in science.* Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Montreal, Canada.

McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. In Luft, J., Bell, R. & Gess-Newsome, J. (Eds.). *Science as inquiry in the secondary setting* (pp. 121–134). Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.

McNeill, K. L. (2011). Elementary students' views of explanation, argumentation, and evidence, and their abilities to construct arguments over the school year. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 793–823.

McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2012). *Supporting grade 5 – 8 students in constructing explanation in science: The claim, evidence, and reasoning framework for talk and writing.* Boston: Pearson Education.

National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards.* Washington, DC: National Academy Press.

OECD. (2013b). *PISA 2015: Draft science framework*. Paris: OECD.

Sandoval, W. A. (2003). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations. *Journal of the Learning Sciences,* 12(1), 5 – 51.

Sandoval, W., & Reiser, B. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88(3), 345 – 372.

Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23–55.

Sesen, B. A. (2013). Diagnosing pre-service science teachers' understanding of chemistry concepts by using computer-mediated predict–observe–explain tasks. *Chemistry Education Research and Practice,* 14(3), 239-246.

Walton, D. (2016). *Argument evaluation and evidence*. Switzerland: Springer International Publishing.