



การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้าง
คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

DEVELOPMENT OF PRACTICAL WORK IN LEARNING UNIT OF DIGESTION FOR
FOSTERING SENIOR SECONDARY STUDENTS' SCIENTIFIC EXPLANATION

ฉลองวุฒิ จันทรหอม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2562

การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้าง
คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF PRACTICAL WORK IN LEARNING UNIT OF DIGESTION FOR
FOSTERING SENIOR SECONDARY STUDENTS' SCIENTIFIC EXPLANATION



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF EDUCATION
(Biology)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2019

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาศักยภาพการเลี้ยงระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้าง
คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ของ

ฉลองวุฒิ จันทร์หอม

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัฉรียา รังษิรุจิ)

ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.จีระวรรณ เกษสิงห์)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประภากร ตันตโยทัย)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเพื่อส่งเสริม ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาตอนปลาย
ผู้วิจัย	ฉลองวุฒิ จันทร์หอม
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉริยา รังษิรุจิ

งานวิจัยฉบับนี้มีความมุ่งหมายที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากนั้นนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อศึกษาว่าหลังเรียนความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเปลี่ยนแปลงอย่างไร พร้อมทั้งวิเคราะห์หาแนวปฏิบัติที่ดีเพื่อบ่งชี้แนวทางในการใช้บทปฏิบัติการอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี และเมื่อนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 45 คน ของโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ผลการวิเคราะห์เนื้อหาจากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ พบว่า หลังเรียนมีนักเรียนกว่าร้อยละ 93.34 สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดี ขณะที่การวิเคราะห์แก่นสาระจากบันทึกวิธีทัศน์การสอน บันทึกการทำปฏิบัติการ อนุทินสะท้อนคิดของครูและนักเรียน สะท้อนให้เห็นว่า 1) การประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างกรอบแนวคิด 2) การทำปฏิบัติการอย่างง่ายที่ประยุกต์จากห้องปฏิบัติการระดับมหาวิทยาลัยให้ได้หลักฐานที่น่าเชื่อถือ 3) การปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัย และ 4) การใช้แผนผังเชื่อมโยงในการอภิปรายท้ายคาบต่างเป็นแนวปฏิบัติที่ดีที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น

คำสำคัญ : คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์, บทปฏิบัติการ, ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

Title	DEVELOPMENT OF PRACTICAL WORK IN LEARNING UNIT OF DIGESTION FOR FOSTERING SENIOR SECONDARY STUDENTS' SCIENTIFIC EXPLANATION
Author	CHALONGWOOT JANHOM
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Achariya Rangsiruji

This research aims to develop the practical work in a learning unit on digestion in conjunction with inquiry-learning strategies to enhance scientific explanations among secondary school students. The intervention was evaluated by the experts in biology education before being used in a class of 45 tenth graders at a secondary school in Bangkok in order to investigate both scientific explanation writing ability, before and after the intervention, and good teaching practices. All of the experts agreed that this developed practical activity had the potential to foster this inquiry practice to the students, as illustrated in scientific explanation essay test results. The findings based on content analysis revealed that the majority of students (93.34%) could construct advanced scientific explanation after the instruction. In addition, thematic analyses demonstrated the following: (1) assessing the strengths and weakness of a given set of explanations; (2) the application of simplified laboratory instruments and procedures; (3) revising explanations based on the data provided from scientific articles; and (4) using mind-mapping to represent the interconnectedness between claim evidence and reasoning, were good teaching practices to promote student writing in a scientific explanation.

Keyword : Scientific Explanation, Practical Work, Digestion

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ และ รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา รัชชัญจิ ที่ได้ทุ่มเทเวลาในการให้คำปรึกษา จนทำให้การจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ สารเคมี และสัตว์ทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยให้กับนิสิตโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ระยะที่ 3 ประจำปีการศึกษา 2561

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา รัชชัญจิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น อาจารย์ ดร.ประภากร ตันตโยทัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรเดช ศรีทา และ คุณครูวราภรณ์ พลศักดิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา รัชชัญจิ รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชัย วงศ์วัฒน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนิษฐา นศรีนวล และ อาจารย์ ดร.ประภากร ตันตโยทัย ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบเค้าโครงวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเค้าโครงวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จีระวรรณ เกษสิงห์ อาจารย์ ดร.ประภากร ตันตโยทัย และ รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยา รัชชัญจิ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่า พร้อมทั้งให้คำแนะนำรวมถึงแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว เพื่อน ๆ รวมถึงบุคคลอื่นที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้ ที่มีส่วนทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์

ฉลองวุฒิ จันทร์หอม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ	๗
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	4
ความสำคัญของการวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	5
การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ.....	5
กลุ่มที่ศึกษา.....	5
ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	5
เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย	5
สิ่งที่ศึกษา.....	6
นิยามศัพท์	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
1. ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต.....	8
1.1 การสลายอาหารของแบคทีเรีย.....	8
1.2 การย่อยอาหารของพารามีเซียม.....	10

1.3 ระบบย่อยอาหารของไฮดรา.....	16
1.4 ระบบย่อยอาหารของพลาณาเรีย.....	20
1.5 ระบบย่อยอาหารของปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์.....	23
1.6 ระบบย่อยอาหารของมนุษย์.....	25
2. การจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต.....	27
2.1 เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์.....	28
2.2 ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต.....	28
2.3 แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต.....	28
2.4 รูปแบบการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต.....	29
2.5 แนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต.....	30
3. บทปฏิบัติการ.....	31
3.1 ความเป็นมาและความสำคัญของบทปฏิบัติการ.....	31
3.2 ความหมายของบทปฏิบัติการ.....	34
3.3 ลักษณะของบทปฏิบัติการ.....	35
3.4 การจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ.....	37
3.5 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ.....	38
3.6 การประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ.....	41
4. การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	43
4.1 ความสำคัญของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	43
4.2 ความหมายของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	44
4.3 ธรรมชาติของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	45
4.4 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	45

4.5 การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	47
4.6 การวัดและประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	56
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	65
1. สำรวจปัญหาในชั้นเรียนชีววิทยา	65
2. สร้างและพัฒนานาบทปฏิบัติการ แผนการจัดการเรียนรู้ และแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	66
2.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	66
2.2 ศึกษาร้อยละการติดสีของยีสต์ โดยการย้อมด้วยสีย้อมคongoโคเรดที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างกัน	68
2.3 ศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ดราซบปากอาหารออกมาหลังจากกินอาหาร	70
2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการย้อมสีทางเดินอาหารของปลานาเรีย โดยใช้อาหารวันที่มีความเข้มข้นของวันและสีย้อมต่างกัน	71
2.5 สร้างและพัฒนานาบทปฏิบัติการ	73
2.6 สร้างแผนการจัดการเรียนรู้	74
2.7 สร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต	76
3. นำนาบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต	78
3.1 กำหนดกลุ่มที่ศึกษา ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูล และเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย	78
3.2 แบบแผนที่ใช้ในการวิจัย	79
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	80
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	80
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	81
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	84

1. ผลการพัฒนาศักยภาพการปฏิบัติกร เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย	84
1.1 ผลการศึกษาร้อยละการติดสีของยีสต์ โดยการย้อมด้วยสีคองโกเรดที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างกัน	84
1.2 ผลการศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ตราขับกากอาหารออกมาหลังจากกินอาหาร	87
1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย้อมสีทางเดินอาหารของปลานาเรีย โดยใช้อาหารรุ่มย้อมด้วยสีผสมอาหารที่ความเข้มข้นต่างกัน	89
1.4 ผลการสร้างและพัฒนาศักยภาพการปฏิบัติกรและแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต	94
1.5 ผลการสร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต	101
2. ผลการพัฒนาศักยภาพในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	106
3. แนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย	130
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	159
สรุปผลการวิจัย	159
อภิปรายผลการวิจัย	162
ข้อเสนอแนะ	168
บรรณานุกรม	170
ภาคผนวก	180
ประวัติผู้เขียน	220



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การเปลี่ยนสีของเซลล์ยีสต์ภายในแควียวอลย์อาหาร	15
ตาราง 2 วิธีการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	48
ตาราง 3 เป้าประสงค์ บทบาทของครู และนักเรียนในแต่ละขั้นของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	54
ตาราง 4 เกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบทั่วไป	59
ตาราง 5 เกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบจำเพาะ เรื่อง ความสัมพันธ์แบบผู้ล่ากับเหยื่อ	60
ตาราง 6 การวิเคราะห์เนื้อหาจากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 4.....	67
ตาราง 7 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต.....	75
ตาราง 8 การแจกแจงแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	77
ตาราง 9 การเปรียบเทียบร้อยละการตัดสินใจของยีสต์ที่สภาวะการย้อมสีต่างกัน	85
ตาราง 10 จำนวน (ร้อยละ) ของไฮดราที่ขับถ่ายกากอาหารออกมาในแต่ละช่วงเวลา	88
ตาราง 11 ร้อยละการตอบสนองต่ออาหารเฉลี่ยของอาหารแต่ละชนิด.....	90
ตาราง 12 จำนวน (ร้อยละ) ของพลาณาเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพของอาหารวุ้น ที่ความเข้มข้นของวุ้นที่ต่างกัน.....	91
ตาราง 13 จำนวน (ร้อยละ) ของพลาณาเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพของอาหารวุ้น ที่ความเข้มข้นของสัณผสมอาหารที่ต่างกัน.....	93
ตาราง 14 คุณภาพของบทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้	100
ตาราง 15 ตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	102
ตาราง 16 คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต (ด้านความเที่ยงตรง)	105

[illegible]



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กระบวนการย่อยอาหารของพารามีเซียม	11
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของสีย้อมคองโกเรด	14
ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของสีย้อมคองโกเรดเมื่ออยู่ในสารละลายกรด.....	15
ภาพประกอบ 4 ภาพตัดตามยาวและภาพตัดขวางของไฮดรา.....	17
ภาพประกอบ 5 โครงสร้างทางเดินอาหารของพลาเนียเรีย	21
ภาพประกอบ 6 กรอบแนวคิดเรื่องบทปฏิบัติการ	34
ภาพประกอบ 7 ลักษณะของบทปฏิบัติการที่จำแนกตามระดับของการสืบเสาะ	36
ภาพประกอบ 8 กรอบแนวคิดการสร้างและพัฒนามบทปฏิบัติการของ Millar, Tiberghien, & Marechal (2002)	39
ภาพประกอบ 9 กรอบแนวคิดการสร้างและพัฒนามบทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น	40
ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างแบบประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ.....	42
ภาพประกอบ 11 แบบประเมินประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ.....	42
ภาพประกอบ 12 องค์ประกอบของการโต้แย้งของ Toulmin	46
ภาพประกอบ 13 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของ McNeill & Krajcik (2006) ..	47
ภาพประกอบ 14 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของ Sampson & Clark (2009)..	47
ภาพประกอบ 15 ที่มาของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	53
ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างข้อสอบ เรื่อง ผู้ล่ากับเหยื่อ.....	57
ภาพประกอบ 17 ตัวอย่างข้อสอบ เรื่อง สมบัติของสาร	58
ภาพประกอบ 18 ตัวอย่างการประเมินเกี่ยวกับคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมบัติของสาร	63

ภาพประกอบ 19 กรอบแนวคิดการวิจัยและการดำเนินการวิจัย	64
ภาพประกอบ 20 ยีสต์ที่ถูกย้อมสีที่สภาวะต่างกัน.....	86
ภาพประกอบ 21 การเปลี่ยนสีของยีสต์ภายในแควิโอลอย่อยอาหารของพารามีเซียม	87
ภาพประกอบ 22 พฤติกรรมการขับถ่ายของไฮดรา.....	89
ภาพประกอบ 23 ลักษณะของพลาณาเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพของอาหารวุ้น ที่ความเข้มข้นของวุ้นต่างกัน	92
ภาพประกอบ 24 ลักษณะของพลาณาเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพของอาหารวุ้น ที่ความเข้มข้นของสึผสมอาหารที่ต่างกัน.....	94
ภาพประกอบ 25 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในชั้นประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	95
ภาพประกอบ 26 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในชั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์.....	96
ภาพประกอบ 27 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในชั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์.....	97
ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในชั้นเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์.....	97
ภาพประกอบ 29 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในชั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์....	98
ภาพประกอบ 30 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในชั้นประเมินผลการเรียนรู้	99
ภาพประกอบ 31 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์.....	101
ภาพประกอบ 32 ร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ของแบบวัดทั้งฉบับ โดยภาพรวม.....	107
ภาพประกอบ 33 ร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ของแบบวัดทั้งฉบับ แยกรายองค์ประกอบ	107
ภาพประกอบ 34 ระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม ของ นักเรียนรายบุคคล.....	108
ภาพประกอบ 35 ระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ แยกราย องค์ประกอบของนักเรียนรายบุคคล.....	109

ภาพประกอบ 36 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์.....	112
ภาพประกอบ 37 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์.....	112
ภาพประกอบ 38 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	
เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์	113
ภาพประกอบ 39 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์	115
ภาพประกอบ 40 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์	115
ภาพประกอบ 41 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	
เรื่อง สัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ	116
ภาพประกอบ 42 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง สัตว์ที่บริโภคพืชและสัตว์ที่บริโภคสัตว์.....	118
ภาพประกอบ 43 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง สัตว์ที่บริโภคพืชและสัตว์ที่บริโภคสัตว์.....	119
ภาพประกอบ 44 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต	120
ภาพประกอบ 45 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต	122
ภาพประกอบ 46 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต	123
ภาพประกอบ 47 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน	124
ภาพประกอบ 48 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน	126

ภาพประกอบ 49 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน	126
ภาพประกอบ 50 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน	127
ภาพประกอบ 51 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน	130
ภาพประกอบ 52 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้	
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน	130
ภาพประกอบ 53 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย	
ในรูปแบบผังเชื่อมโยง	134
ภาพประกอบ 54 ตัวอย่างการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในวงจรที่ 2	136
ภาพประกอบ 55 ตัวอย่างการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในวงจรที่ 3	138
ภาพประกอบ 56 ตัวอย่างการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในวงจรที่ 4	139
ภาพประกอบ 57 ตัวอย่างผลที่ได้จากปฏิบัติการการตรวจหากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส	
โดยใช้สีย้อมคองโกเรด	141
ภาพประกอบ 58 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นในชั้นเรียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	
ในวงจรที่ 1	141
ภาพประกอบ 59 การใช้เครื่องเซนเซอร์ฟลูอิดิกหึ่งเพื่อตกตะกอนยีสต์	143
ภาพประกอบ 60 ตัวอย่างผลที่ได้จากปฏิบัติการการติดฉลากพารามีเซียมด้วยยีสต์	
ที่ย้อมด้วยคองโกเรด	143
ภาพประกอบ 61 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นในชั้นเรียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	
ในวงจรที่ 2	144
ภาพประกอบ 62 ตัวอย่างผลที่ได้จากปฏิบัติการศึกษาทางเดินอาหาร	
ของปลานาเรียโดยใช้อาหารรูน้อยมส์	145
ภาพประกอบ 63 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นในชั้นเรียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	
ในวงจรที่ 4	145

ภาพประกอบ 64 บทความที่นักเรียนต้องพิจารณาในชั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในวงจรที่ 1	147
ภาพประกอบ 65 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนปรับปรุงแล้ว ในวงจรที่ 1.....	148
ภาพประกอบ 66 บทความที่นักเรียนต้องพิจารณาในชั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในวงจรที่ 2	150
ภาพประกอบ 67 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนปรับปรุงแล้ว ในวงจรที่ 2.....	150
ภาพประกอบ 68 บทความที่นักเรียนต้องพิจารณาในชั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในวงจรที่ 5	152
ภาพประกอบ 69 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนปรับปรุงแล้ว ในวงจรที่ 5.....	153
ภาพประกอบ 70 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม ในรูปแบบผังเชื่อมโยง.....	155
ภาพประกอบ 71 ผลการทำปฏิบัติการที่ 6	157
ภาพประกอบ 72 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ในรูปแบบผังเชื่อมโยง.....	158

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) เป็นกระบวนการสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการแสวงหาความรู้ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ (American Association for the Advancement of Science, 1991) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องจัดประสบการณ์ให้นักเรียนได้ใช้กระบวนการเดียวกันนี้ ในการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ผ่านการตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ที่สงสัย ดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบเพื่อรวบรวมหลักฐาน แล้วนำมาวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล เพื่อให้ได้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่พร้อมสื่อสารและเผยแพร่สู่ชุมชนวิทยาศาสตร์ (National Research Council, 1996) จึงกล่าวได้ว่าการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการสำคัญที่วงการวิทยาศาสตร์ศึกษาในหลายประเทศให้ความสนใจ โดยจะเห็นได้จากการนำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในห้องเรียนหรือใช้เป็นจุดเน้นในหลักสูตร มาตรฐานการเรียนรู้ หรือตัวชี้วัด วิชาวิทยาศาสตร์ (National Research Council, 2013; กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) เพื่อพัฒนา นักเรียนให้มีความรู้เนื้อหา (Content knowledge) ทักษะกระบวนการและทักษะปฏิบัติทาง วิทยาศาสตร์ (Scientific skill and practice) และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ (Attitude towards science) อีกด้วย (Bybee, 1990; National Research Council, 2000) ครูชีววิทยาหลายท่านจึง ได้นำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มาปรับใช้ในห้องเรียนของตนโดยมักจัดการเรียนรู้ขึ้นในรูปแบบ ของการทำการทดลองหรือบทปฏิบัติการ (Practical work) (Jenkins, 1998; Millar, 1998) อาทิ การจัดการเรียนรู้เรื่องโครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก การจัดการเรียนรู้เรื่องการเปลี่ยนแปลง พลังงาน การจัดการเรียนรู้เรื่องการคอนจังก์ชันของแบคทีเรียและการจัดการเรียนรู้เรื่องระบบ ย่อยอาหารของมนุษย์ ซึ่งผลการใช้บทปฏิบัติการดังกล่าว พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียน มีความรู้ ทักษะกระบวนการ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ และความพึงพอใจต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ มากขึ้น (Phornphisutthimas, Thamchaipenet, & Panijpan, 2007; Songo, Hajdinjak, & Briski, 2008; ทรงกลด ไบยา, 2558; วิศิษฐ์ศรี โตศุกลวรรณ, 2556)

อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนรู้โดยการทำการทดลองหรือบทปฏิบัติการอาจทำให้นักเรียนเกิดแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อนได้ในกรณีที่นักเรียนไม่สามารถให้เหตุผลหรือ เชื่อมโยงหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลองหรือบทปฏิบัติการไปสู่ข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุปได้

(พัฒน์ดา มีลา และ ร่มเกล้า อางเดช, 2560) ซึ่งกระบวนการที่ผู้วิจัยกำลังกล่าวถึงนี้คือการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วย การสร้างข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุป (Claim) การนำหลักฐานเชิงประจักษ์ (Evidence) มาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง และการให้เหตุผล (Reasoning) เพื่อเชื่อมโยงหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง ซึ่งการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จัดเป็นแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Science practice) ที่สำคัญ (National Research Council, 2000)

สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นกับห้องเรียนของผู้วิจัย ที่หลังจากการดำเนินการสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์แล้ว นักเรียนไม่สามารถอธิบายผลการสำรวจตรวจสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนักเรียนจะเน้นการรายงานข้อเท็จจริงที่สังเกตได้เท่านั้น ขาดการนำหลักฐานและองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องมาใช้สนับสนุนคำอธิบาย อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ได้มาจากการสังเกตการณ์ชั้นเรียนเท่านั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการวัดความต้องการจำเป็น (Need assessment) โดยใช้แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งพบว่า นักเรียนกว่าร้อยละ 95.56 ที่สามารถเขียนข้อกล่าวอ้างเพื่อสรุปผลการทดลองได้ แต่ขาดการให้หลักฐานสนับสนุนและขาดการอธิบายโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ว่าหลักฐานนั้นสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร ซึ่งผลการวิเคราะห์ความต้องการจำเป็นนี้สอดคล้องกับการสังเกตการณ์ชั้นเรียน จึงชี้ให้เห็นว่านักเรียนขาดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงแนวทางการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ พบว่า ครูและนักการศึกษาจำนวนมากพยายามที่จะพัฒนาแนวปฏิบัติวิทยาศาสตร์ดังกล่าวให้กับนักเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะแบบร่วมมือรวมพลัง (Collaborative inquiry) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการโต้แย้ง (Argument driven inquiry) หรือการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model based inquiry) (สันติชัย อนุวัชรชัย, 2553; พัฒน์ดา มีลา และ ร่มเกล้า อางเดช, 2560; กรรณก เลิศเดชาภักดิ์ และ ปรีดา ลิ้มปานนท์, 2561) ซึ่งผลการวิจัยพบว่ายังมีนักเรียนที่ไม่สามารถ 1) ใช้หลักฐานที่เหมาะสม หรือขาดการประเมินและพิจารณาหลักฐานก่อนนำมาใช้ 2) ใช้ความคิดเห็นส่วนตัวในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ 3) ไม่เชื่อมโยงคำอธิบายกับทฤษฎีหรือไม่ใช้ศัพท์วิทยาศาสตร์ ซึ่งสาเหตุอาจเป็นเพราะการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่จัดให้กับนักเรียนส่วนใหญ่เป็นการนำข้อมูลหุติยภูมิ เช่น การนำผลการทดลองในงานวิจัย มาให้นักเรียนนักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนเกิดความสับสนเนื่องจากนักเรียนไม่ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ผู้วิจัยจึงมองว่าควรจัดการเรียนรู้ให้

นักเรียนได้ลงมือทำการทดลองหรือปฏิบัติการจริงก่อนการใช้ข้อมูลทฤษฎี เพื่อให้เขาได้นำข้อมูลที่ได้จากการทำการทดลองหรือปฏิบัติการนั้น ๆ มาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ดังนั้น การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงควรฝึกไปพร้อมกับการทำการทดลองหรือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ (McNeill, Lizotte, Krajcik, & Marx, 2006)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ผ่านการทำการทดลองหรือบทปฏิบัติการมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยพัฒนานักเรียนให้มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีขึ้น (Peker & Wallace, 2011) นอกจากนั้นนักเรียนส่วนใหญ่ยังชอบที่จะเรียนวิทยาศาสตร์ผ่านบทปฏิบัติการ (Murray & Reiss, 2005) เนื่องจากได้ฝึกการใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในโรงเรียนส่วนใหญ่ยังคงเน้นหนักไปที่การบรรยาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิชาชีววิทยา ในเนื้อหาเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ที่มีเนื้อหาค่อนข้างมาก เนื่องจากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) ในสาระชีววิทยาได้กำหนดให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายกลุ่มที่เน้นวิทยาศาสตร์เรียนเรื่องระบบย่อยอาหารไม่เพียงในมนุษย์เท่านั้น แต่รวมไปถึงสิ่งมีชีวิตอื่นอีกหลายชนิด ตั้งแต่ชนิดที่เป็นเซลล์เดียวจนถึงที่เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ ทั้งด้านโครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์ ตลอดจนกระบวนการทางสรีรวิทยา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

แต่จากการตรวจสอบเอกสารและสอบถามเพิ่มเติมจากเพื่อนครูชีววิทยาในโรงเรียนมัธยมศึกษา พบว่า 1) บทปฏิบัติการเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารที่จัดให้กับนักเรียนนั้นจะเน้นศึกษาการทำปฏิบัติการผ่าตัดอวัยวะในระบบย่อยอาหารของสัตว์ เช่น กบ ไก่ หรือปลา ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนรู้เพียงด้านโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะภายในระบบเท่านั้น 2) ในส่วนของบทปฏิบัติการเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มุ่งเน้นให้นักเรียนศึกษาเพียงด้านโครงสร้างและการเคลื่อนที่ (บพิธ จารุพันธุ์, 2545) ทั้งที่ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ฉบับปรับปรุง ก็มีการกำหนดให้นักเรียนศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียมหรืออะมีบาด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังไม่ตอบโจทย์ของผลการเรียนรู้ที่คาดหวังในเรื่องการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตได้ครบถ้วน และ 3) บทปฏิบัติการที่มีอยู่ในแบบเรียนขาดความถูกต้องตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งอาจทำให้ผลที่ได้ไม่น่าเชื่อถือ (Hodson, 1998) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตที่ไม่เพียงเป็นบทปฏิบัติการที่นักเรียนจะได้ลงมือปฏิบัติตามกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่เป็นบทปฏิบัติการที่จะช่วยส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ของนักเรียนอีกด้วย เนื่องจากจะมีการนำไปผนวกกับกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมความสามารถในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
3. เพื่อศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ความสำคัญของการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้ มีประโยชน์ดังนี้

1. เพื่อให้ได้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้บทปฏิบัติการ ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
3. ทำให้ทราบแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ขอบเขตของการวิจัย

การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างและพัฒนา มีทั้งหมด 6 ปฏิบัติการ คือ 1) บทปฏิบัติการ เรื่อง การสลายอาหารของแบคทีเรีย 2) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม 3) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของไฮดรา 4) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของพลาณาเรีย 5) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ และ 6) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ โดยบทปฏิบัติการที่ 1 5 และ 6 ผู้วิจัยได้นำเทคนิคปฏิบัติการจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้ เนื่องจากสามารถทำได้ง่ายในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ขณะที่บทปฏิบัติการที่ 2 3 และ 4 ผู้วิจัยได้นำเทคนิคปฏิบัติการจากงานวิจัยมาปรับใหม่ โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้เทคนิคปฏิบัติการที่ทำได้ง่ายในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

กลุ่มที่ศึกษา

งานวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้ดำเนินการกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษา เขต 2 กรุงเทพมหานคร จำนวน 1 ห้อง มีนักเรียน 45 คน

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาการวิจัยไว้ทั้งสิ้น 1 ปีการศึกษา (กรกฎาคม 2562 – กรกฎาคม 2563) โดยเริ่มจากศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและจัดทำเค้าโครงปริญญานิพนธ์ จากนั้นจัดทำเครื่องมือพร้อมตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มที่ศึกษา ผู้วิจัยใช้เวลาทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ (10 คาบเรียน) ในรายวิชาชีววิทยา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการได้ยึดตามแนวทางของหนังสือเรียนชีววิทยา เล่ม 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560 โดยมีเนื้อมาย่อยดังนี้ 1) การสลายอาหารของแบคทีเรีย 2) การย่อยอาหารของพารามีเซียม 3) ระบบย่อยอาหารของไฮดรา 4) ระบบย่อยอาหารของพลาณาเรีย 5) ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ และ 6) ระบบย่อยอาหารของมนุษย์

สิ่งที่ศึกษา

1. การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

3. แนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

นิยามศัพท์

1. บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต หมายถึง เอกสารประกอบการทำกิจกรรมการทดลองหรือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ที่ระบุวิธีการดำเนินการ ตารางบันทึกผล และข้อคำถามที่เกี่ยวข้องในเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ซึ่งภายในประกอบไปด้วยปฏิบัติการย่อย 6 ปฏิบัติการ ได้แก่ 1) บทปฏิบัติการ เรื่อง การสลายอาหารของแบคทีเรีย 2) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม 3) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของไฮดรา 4) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของพลาเนียเรีย 5) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ และ 6) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์

2. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ESWEE) หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่ประกอบด้วย 1) ขั้นสร้างความสนใจผ่านการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Engagement through assessing scientific explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ถูกรวบรวมขึ้นเพื่อสร้างความสนใจของนักเรียนพร้อมทั้งแนะนำให้นักเรียนได้เข้าใจองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 2) สำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific investigation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้ลงมือทำการปฏิบัติการหรือการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้หรือข้อมูลที่จะนำไปใช้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 3) เขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Writing scientific explanation) เป็นขั้นที่

นักเรียนได้นำความรู้หรือข้อมูลจากชั้นก่อนหน้ามาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 4) ขยายความรู้เพื่อปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Elaboration for revising scientific explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้อ่านงานวิจัยเพิ่มเติมเพื่อสังเคราะห์ความรู้หรือข้อมูลเพิ่มเติมมาปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้น และ 5) ประเมินผลการเรียนรู้ (Evaluation) เป็นขั้นที่นักเรียนและครูทำการประเมินผลการเรียนรู้ผ่านการทำแบบฝึกหัด

3. ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถของนักเรียนในการสร้างข้อกล่าวอ้าง ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการใช้เหตุผลเชิงตรรกะเพื่อเชื่อมโยงกับหลักฐานที่ได้จากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ โดยคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สามารถแยกองค์ประกอบออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) มีลักษณะเป็นข้อสรุปหรือคำตอบของคำถามที่กำลังศึกษา 2) หลักฐาน (Evidence) เป็นข้อมูลที่ได้จากการทำการศึกษาค้นคว้าหรือทดลอง และ 3) การให้เหตุผล (Reasoning) เป็นข้อความที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากผู้วิจัยจำเป็นต้องเข้าใจตัวแปรหรือสิ่งที่ตนสนใจศึกษาอย่างลึกซึ้ง ให้สามารถพัฒนากรอบแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นฐานในการออกแบบบทปฏิบัติการหรือจัดกิจกรรมการเรียนรู้ พัฒนาเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ตลอดจนการวิเคราะห์ อภิปราย และสรุปผลการวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบของคำถามวิจัย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต
2. การจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต
3. บทปฏิบัติการ
4. การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

1. ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ในการศึกษารั้วนี้ ผู้วิจัยจะทำการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตขึ้น 6 ปฏิบัติการ ไล่เรียงตั้งแต่เนื้อหาเรื่องการสลายอาหารของแบคทีเรียจนถึงระบบย่อยอาหารของมนุษย์ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 การสลายอาหารของแบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว (Unicellular organism) จำพวกโปรคาริโอต (Prokaryotic cell) พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ การสลายอาหารของแบคทีเรีย จัดเป็นการสลายอาหารที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์ (Extracellular digestion) และมักพบในแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotroph) (Reece et al., 2014) ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วสรุปเป็นประเด็นสำคัญดังนี้

1.1.1 กระบวนการสลายอาหารของแบคทีเรีย

กระบวนการสลายอาหารของแบคทีเรียจัดเป็นการสลายอาหารที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์ ในที่นี้จะใช้ *Bacillus subtilis* ในการอธิบาย โดยแบคทีเรียดังกล่าวเป็นแบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ได้ ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวจัดเป็นกลุ่มเอนไซม์ที่ประกอบด้วย Endo-1,4- β -D-glucanase (CMCase) Exo-1,4- β -D-glucanase (FPase) และ β -D-glucoside glucanohydrolase (Cellobiohydrolase) เอนไซม์ดังกล่าวถูกสร้างขึ้นภายใน

เซลล์ของแบคทีเรีย และจะถูกปลดปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียเพื่อทำการย่อยสลาย เซลลูโลสซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ขนาดใหญ่ให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กพอที่จะสามารถนำกลับเข้าสู่เซลล์ไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ (Samejima, Sugiyama, Igarashi, & Eriksson, 1997)

1.1.2 การศึกษาการสลายอาหารของแบคทีเรีย

Teather & Wood (1982) ได้ทำการศึกษาการใช้สีย้อมคองโกเรด (Congo red) ในการคัดแยกแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการสร้างเอนไซม์เซลลูเลส เนื่องจากคุณสมบัติของสีย้อมคองโกเรดที่มีหมู่เอมีน ($R-NH_2$) ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ของพอลิแซ็กคาไรด์ เขาจึงใช้สีย้อมดังกล่าวมาใช้อาหารเลี้ยงเชื้อซีเอ็มซี (CMC medium) ที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสอยู่ หากย้อมแล้วพบว่าเกิดวงใส (Clear zone) ขึ้นรอบโคโลนีของแบคทีเรีย แสดงว่าแบคทีเรียดังกล่าวมีคุณสมบัติในการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสได้ สอดคล้องกับ Sazci, Erenler, & Radford (1986) ที่ได้ทำการใช้สีย้อมเดียวกันนี้ในการคัดแยกสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรฟังไจ (Fungi) มีคุณสมบัติในการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสได้ อย่างไรก็ตามการใช้สีย้อมคองโกเรดมาคัดแยกแบคทีเรียหรือฟังไจอาจระบุได้เพียงว่าสิ่งมีชีวิตดังกล่าวสร้างเอนไซม์เซลลูเลสได้หรือไม่ได้ แต่ไม่สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกว่าเอนไซม์ที่ผลิตออกมามีกิจกรรม (Enzyme activity) เป็นอย่างไร หรือสามารถย่อยเซลลูโลสได้มากน้อยแค่ไหน วิธีการที่จะสามารถตอบคำถามดังกล่าวได้นั้นคือวิธีการของ Miller (1959) โดยการหากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสโดยวิธีดีเอ็นเอส (DNS)

1.1.3 เทคนิคปฏิบัติการในการศึกษาการสลายอาหารของแบคทีเรีย

(1) การเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย

การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียที่จะนำมาตรวจสอบความสามารถในการสร้างเอนไซม์เซลลูเลสนั้น จะต้องทำการเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อซีเอ็มซี ซึ่งสามารถเตรียมจากการผสม $CaCl_2$ 0.3 กรัม $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.3 กรัม KH_2PO_4 1.0 กรัม K_2HPO_4 1.0 กรัม Polypeptone 2.0 กรัม Yeast extract 1.0 กรัม NH_4NO_3 4.4 กรัม Carboxymethyl cellulose (CMC) 10.0 กรัม และผงวุ้น 15.0 กรัม ในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้เป็น 7 ด้วย 1 N NaOH นำไปต้มจนผงวุ้นละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที หลังจากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อมาเทลงจานเพาะเชื้อแล้วจึงนำเชื้อที่ต้องการเพาะเลี้ยงมาเจือจางที่ความเข้มข้นที่ต้องการ จากนั้นนำเชื้อที่เจือจางแล้วมาเกลี่ยลงจานเพาะเชื้อให้ทั่ว แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญของเชื้อ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

แล้วทำการแช่เชื้อที่มีลักษณะโคโลนีเดี่ยวลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อเดิมซ้ำจนได้เชื้อที่บริสุทธิ์ (Teather & Wood, 1982)

(2) การตรวจหากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสโดยใช้สีย้อมคองโกเรด

สามารถทำได้โดยนำจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเชื้อที่ต้องการจะตรวจหา กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสมาหย่อม โดยเทสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อ ปริมาตร ให้ท่วมจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ทั้งไว้นาน 15-20 นาที จากนั้นเทสีย้อมทิ้ง แล้วทำการล้าง ด้วยสารละลาย 1 M NaCl เป็นเวลา 15-20 นาที แล้วจึงนำมาตรวจหาวงใสที่เกิดขึ้นบนผิวหน้า ของอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งหากพบวงใสเกิดขึ้นรอบโคโลนีเดี่ยวของเชื้อแสดงว่าเชืวดังกล่าวสามารถ สร้างเอนไซม์เซลลูเลสได้ เพราะเอนไซม์ดังกล่าวจะทำการย่อยเซลลูโลสรอบโคโลนีเดี่ยว ทำให้ บริเวณดังกล่าวไม่สามารถย้อมติดสีย้อมคองโกเรดได้ (Teather & Wood, 1982)

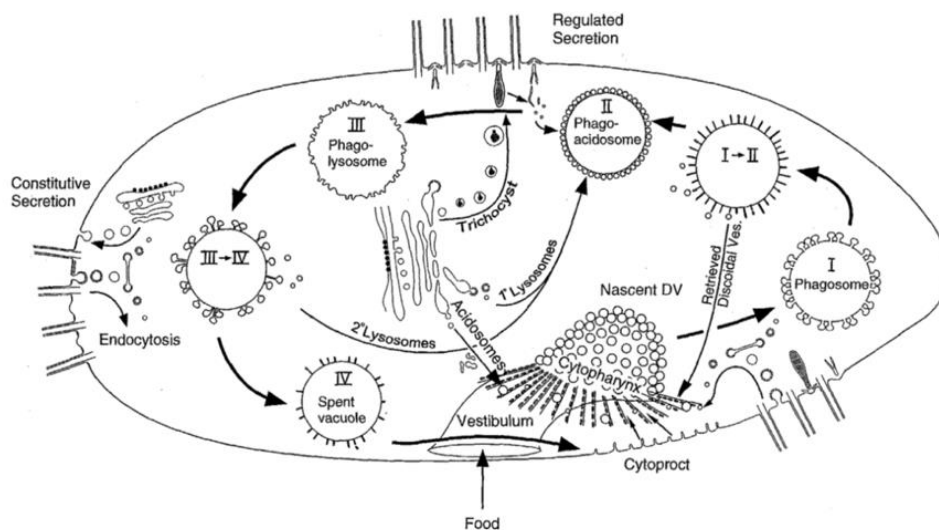
1.2 การย่อยอาหารของพารามีเซียม

พารามีเซียม (*Paramecium* sp.) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวในอาณาจักรโพรติสตา (Protista) ไฟลัมซิลิโอฟอรา (Ciliophora) แม้ว่าพารามีเซียมจะเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว แต่หาก ศึกษาอย่างละเอียดแล้วจะพบว่าระบบย่อยอาหารของพารามีเซียมค่อนข้างซับซ้อน ผู้วิจัยจึงได้ ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสรุปเป็นประเด็นสำคัญดังนี้

1.2.1 กระบวนการย่อยอาหารของพารามีเซียม

พารามีเซียมเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีการย่อยอาหารแบบภายในเซลล์ (Intracellular digestion) นำอาหารเข้าสู่เซลล์โดยใช้ Cilia ที่อยู่รอบเซลล์ โบกพัดอาหาร เช่น แบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเข้าไปในช่องปาก (Oral groove หรือ Vestibulum) โดยอาหาร จะเคลื่อนที่เข้าไปในไซโทฟาริงซ์ (Cytopharynx) ที่มีลักษณะเป็นท่อ โดยที่ปลายสุดของท่อจะเกิด กระบวนการเอนโดไซโทซิส (Endocytosis) กลายเป็นแวคิวโอลย่อยอาหาร (Digestive vacuole หรือ Phagosome) ขณะเดียวกันแอซิโดโซม (Acidosome) หรือถุงที่บรรจุน้ำกรด จะเข้ามารวม กับแวคิวโอลย่อยอาหารดังกล่าว ทำให้ระดับ pH ภายในแวคิวโอลย่อยอาหารลดลงเพื่อทำลาย โครงสร้างเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ถูกเอนโดไซโทซิสเข้ามา รวมถึงช่วยกระตุ้นเอนไซม์จากไลโซโซม (Lysosomal enzyme) ที่จะเข้ามารวมกับแวคิวโอลย่อยอาหารในขั้นตอนต่อไป หลังจากนั้น แวคิวโอลย่อยอาหารจะรวมตัวกับไลโซโซมที่อยู่ในบรรจุนเอนไซม์ เช่น โปรตีเอส (Protease) ดีเอ็นเอส (DNAse) อาร์เอ็นเอส (RNAse) หรือแอซิดฟอสฟาเตส (Acid phosphatase: AcPase) ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสิ่งมีชีวิตที่ถูกเอนโดไซโทซิสเข้ามา และเมื่อกระบวนการย่อย เสร็จสิ้น สารอาหารที่ได้จากการย่อยนี้จะแยกออกมาจากแวคิวโอลย่อยอาหารในลักษณะของ

เวสิเคิลขนาดเล็ก ส่วนของเสียที่เหลือจะถูกลำเลียงออกนอกเซลล์ทางไซโตพรอคท์ (Cytoproct) ดังภาพประกอบ 1 (Allen & Fok, 2000)



ภาพประกอบ 1 กระบวนการย่อยอาหารของพารามีเซียม

ที่ ม ๑ : Kodama, Y., & Fujishima, M. (2010). Secondary symbiosis between *Paramecium* and *Chlorella* cells. *International Review of Cell and Molecular Biology*, 279, 33-77.

1.2.2 การศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียม

การศึกษาเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารของพารามีเซียมได้ถูกศึกษาอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ประเด็นสำคัญออกมดังนี้

Fok, Lee, & Allen (1982) และ Kodama & Fujishima (2005) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการรวมตัวและระยะเวลาที่ใช้ในการรวมตัวของแควิวโอลย่อยอาหารเข้ากับแอซิโดโซมและไลโซโซม ในการศึกษาเกี่ยวกับการรวมตัวของแควิวโอลย่อยอาหารเข้ากับแอซิโดโซม *P. multimicronucleatum*, *P. bursaria* และ *P. caudatum* ถูกนำมาติดฉลากกับยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ที่ถูกย้อมสีด้วยสีย้อมที่มีคุณสมบัติเป็น pH indicator อาทิ คองโกเรด, โบรโมเครซอลกรีน (Bromocresol green) และโบรโมฟีนอลบลู (Bromophenol blue) ซึ่งผลการศึกษาพบว่ายีสต์ที่ถูกย้อมด้วยคองโกเรด จะเปลี่ยนจากสีแดง (pH=5) เป็นสีม่วงหรือน้ำเงิน (pH=2.4-3.0) ยีสต์ที่ถูกย้อมด้วยโบรโมเครซอลกรีน (pH=7) หรือ โบรโมฟีนอลบลู (pH=5)

จะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลืองอมเขียว ($\text{pH}=2.4-3.0$) การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าค่า pH ภายในแควคิวโอลย่อยอาหารมีค่าลดลงในช่วง 2-3 นาที หลังจากทำการติดฉลาก หลังจากนั้น 1-2 นาที ค่า pH ภายในแควคิวโอลย่อยอาหารจะมีค่าประมาณ 6.4-7.0 จึงสรุปได้ว่าแควคิวโอลย่อยอาหารได้รวมตัวเข้ากับแอซิดโอโซม ในขณะที่แควคิวโอลย่อยอาหารอยู่ในระยะที่ 2 (DV-II) ทำให้ค่า pH ต่ำลง และเมื่อแควคิวโอลย่อยอาหารเข้าสู่ระยะที่ 3 (DV-III) ค่า pH ก็จะเริ่มสูงขึ้นจนเป็นกลาง ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับการรวมตัวและระยะเวลาที่ใช้ในการรวมตัวของแควคิวโอลย่อยอาหารกับไลโซโซม *P. multimicronucleatum* และ *P. bursaria* ได้ถูกนำมาใช้เป็นแบบจำลอง โดยนำพารามีเซียมดังกล่าวมาทำการติดฉลากกับสาหร่ายสีเขียว (*Chlorella* sp.) จากนั้นนำไปย้อมสีโกโมริ (Gomori) เพื่อตรวจจับการทำงานของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเตส (Acid phosphatase) ในไลโซโซม ผลการศึกษาพบว่า ในเวลา 3-4 นาทีหลังจากติดฉลากและย้อมสี จะตรวจพบการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวในแควคิวโอลย่อยอาหาร โดยจะย้อมแควคิวโอลย่อยอาหารให้มีสีดำ จึงสรุปได้ว่าแควคิวโอลย่อยอาหารได้รวมตัวเข้ากับไลโซโซมในขณะที่แควคิวโอลย่อยอาหารอยู่ในระยะที่ 3 (DV-III)

1.2.3 เทคนิคปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาระบบย่อยอาหารของพารามีเซียม

(1) การเพาะเลี้ยงพารามีเซียม

พารามีเซียมเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยปัจจัยการเจริญเติบโตของพารามีเซียมประกอบด้วย อาหาร อุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามศึกษาเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงพารามีเซียมในห้องปฏิบัติการและพบว่าสามารถเพาะเลี้ยงพารามีเซียมได้หลายวิธี อาทิ Woodruff (1908) ได้ค้นพบวิธีการเพาะเลี้ยงพารามีเซียมในน้ำต้มฟาง โดยการนำฟางข้าว 10 กรัม ตัดเป็นท่อน ยาวประมาณ 1 นิ้ว ต้มในน้ำเดือด 1 ลิตร นาน 10-15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำน้ำต้มฟางไปนึ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นบรรจุลงในภาชนะเพาะเลี้ยง ทิ้งไว้ 1 คืน ให้แบคทีเรียในอากาศตกลงไปและเจริญในน้ำต้มฟาง ก่อนนำน้ำต้มฟางมาใช้เลี้ยงพารามีเซียม ขณะที่ Dryl (1959) ได้เสนอวิธีการเพาะเลี้ยงพารามีเซียมในห้องปฏิบัติการโดยใช้ น้ำผักกาดผสมกับ Modified Dryl's solution (MDS) โดยนำน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร ทำละลายกับ 0.1 M $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 20 มิลลิลิตร 0.1 M KH_2PO_4 10 มิลลิลิตร 0.1 M Na_2HPO_4 10 มิลลิลิตร 0.1 M CaCl_2 15 มิลลิลิตร (ต้องเติม CaCl_2 ท้ายสุด เพื่อป้องกันการตกตะกอนของ CaPO_4) เติมน้ำกลั่นลงไปจนครบ 1000 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมน้ำผักกาดโดยการนำผักกาด 250 กรัม มาแช่ในน้ำร้อนเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ออกซิเดส (Oxidase) แล้วนำไปปั่นในน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1:2 หลังจากนั้นนำไปนึ่งเพื่อฆ่าเชื้อแล้วนำมาผสม

กับ MDS ที่อัตราส่วน 1:25 ในขั้นตอนสุดท้ายของการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อคือการนำมาเพาะกับเชื้อ *E. coli* 1 วัน ก่อนนำไปใช้เพาะเลี้ยงพารามีเซียม

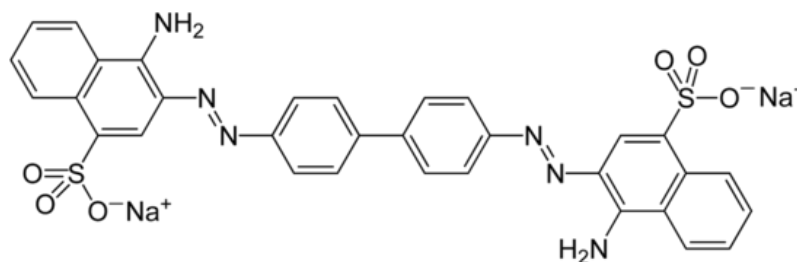
(2) การเพาะเลี้ยงยีสต์

การเพาะเลี้ยงยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) สามารถทำได้หลายวิธีเช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงพารามีเซียม ในที่นี้ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการเพาะเลี้ยงยีสต์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมักเพาะเลี้ยงยีสต์บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด YM (YM medium) ทั้งแบบอาหารวุ้น (Agar) และอาหารเหลว (Broth) โดยขั้นตอนการเตรียมมีดังนี้ นำ Yeast extract 3 กรัม Malt extract 3 กรัม Dextrose 10 กรัม Peptone 5 กรัม วุ้น 20 กรัม (หากเตรียมอาหารวุ้น) น้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ต้มให้ส่วนผสมทั้งหมดละลายเข้ากัน จากนั้น นำไปนึ่งฆ่าเชื้อ ก่อนนำมาเทลงจานอาหารเลี้ยงเชื้อหรือขวดรูปชมพู่เพื่อเพาะเลี้ยงยีสต์ สำหรับการเลี้ยงบนอาหารวุ้นสามารถตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ แต่หากเป็นอาหารเหลวจะต้องนำไปเขย่าบน Shaker เป็นเวลา 12 - 24 ชั่วโมง

(3) การย้อมสียีสต์ด้วย pH indicator

สีย้อมที่มีคุณสมบัติเป็น pH indicator มีหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น คองโกเรด, โบโรโมเครโซลกรีน และโบโรโมฟีนอลบลู ในที่นี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับโครงสร้างและกลไกการทำงานของสีย้อมคองโกเรดเป็นหลักเนื่องจากเป็นสีย้อมที่จะใช้ในการศึกษาของผู้วิจัย

คองโกเรด เป็นสีย้อม (Dye) มีโครงสร้างเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ทำให้เกิดสี (Chromophore) ชนิดดิสแอโซ (Disazo) (ดังภาพประกอบ 2) กล่าวคือมีหมู่แอโซ (Azo) ($N=N$) 2 หมู่ในโมเลกุล จัดเป็นสีย้อมโดยตรง (Direct dye) สีย้อมคองโกเรดสามารถย้อมติดเซลล์ได้หลายชนิด เนื่องจากสามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์ได้หลายตำแหน่ง อาทิ 1) หมู่เอมีน ($R-NH_2$) ของสีย้อมคองโกเรด สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิแซ็กคาไรด์ ที่ผนังเซลล์ของยีสต์ ที่มีองค์ประกอบเป็น β -1,3 glucan และ β -1,6 glucan (Wood & Fulcher, 1978) 2) หมู่ซัลโฟเนต (SO_3^-) ของสีย้อมคองโกเรดจะแตกตัวเมื่อละลายในตัวทำละลายได้ประจุลบ (Anionic) มีคุณสมบัติเป็นกรด สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออน (Ionic interaction) กับโครงสร้างของเซลล์ที่มีประจุบวก เช่น ไฮโดรฟลอสซิม และเซลลูโลส (Vollhardt & Schore, 2011) 3) แรงดึงดูดไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic interaction) ระหว่างโครงสร้างที่ไม่ชอบน้ำของสีย้อมและโครงสร้างของเซลล์ นอกจากนี้ยังสามารถเกิด 4) พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) และ 5) แรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ระหว่างสีย้อมกับโครงสร้างของเซลล์ได้



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของสีย้อมคองโกเรด

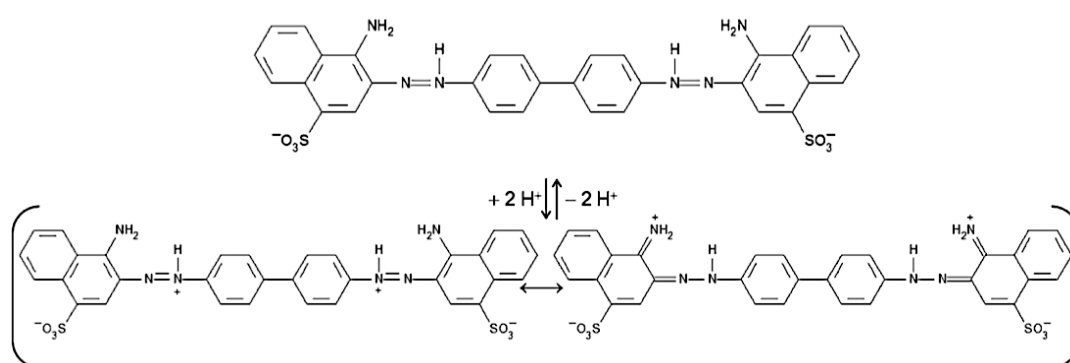
ที่มา: Kahlert, H., Meyer, G., & Albrecht, A. (2016). Colour maps of acid–base titrations with colour indicators: how to choose the appropriate indicator and how to estimate the systematic titration errors. *ChemTexts*, 2(2), 1-28.

การย้อมสียีสต์สามารถทำได้โดยนำยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* 0.5 กรัม มาผสมกับสารละลายบัฟเฟอร์ (Krebs-Ringer phosphate buffer, Modified-Dryl's solution หรือ Sorenson's phosphate buffer ที่ pH 7) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มในน้ำ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำการฆ่ายีสต์ด้วยความร้อน (Heat-killed) หลังจากนั้นใส่สีย้อมลงไป 0.05 กรัม ตั้งให้เย็นแล้วนำปั่นเหวี่ยงที่ 4500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที ดูดเอาสารละลายส่วนใส (Supernatant) ที่ทำการล้างยีสต์ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 4-5 รอบ แล้วจึงปรับความหนาแน่นของยีสต์ให้เป็น 10^4 - 10^5 เซลล์/มิลลิลิตร เก็บรักษาไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส (ควรใช้ภายใน 2 วันหลังย้อม) (Fok et al., 1982; Jensen & Bainton, 1973)

(4) การติดฉลากพารามิเทียมด้วยยีสต์ที่ย้อมสี pH indicator

พารามิเทียม 250 ไมโครลิตร ที่ความหนาแน่น 5×10^3 เซลล์/มิลลิลิตร ถูกนำไปผสมกับยีสต์ที่ย้อมสี 30 ไมโครลิตร ที่ความหนาแน่น 10^4 - 10^5 เซลล์/มิลลิลิตร ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ ทิ้งไว้ 1-2 นาที ให้พารามิเทียมนำยีสต์เข้าไปภายในเซลล์ จากนั้นนำมาล้างด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ผ่านตาข่ายไนลอน 15 ไมครอน แล้วนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งจะพบว่ายีสต์ที่ย้อมสีด้วย pH indicator เมื่อเข้าไปอยู่ในแวคิวโอลย่อยอาหาร จะมีการเปลี่ยนสี ดังเช่นยีสต์ที่ย้อมด้วยคองโกเรด จะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงินหรือม่วง เนื่องจากความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นของแวคิวโอลย่อยอาหาร เนื่องจากการรวมตัวกับแอซิโดไซม ซึ่งน้ำกรดที่อยู่ภายในโครงสร้างดังกล่าวจะแตกตัวให้โปรตอน (H^+) ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ H_3O^+ ดังสมการ $HIn_{(aq)} + H_2O_{(l)} \leftrightarrow In_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$ ทำให้สมดุลย้อนไปทางด้านซ้าย เกิดการเพิ่มขึ้นของ $HIn_{(aq)}$

ซึ่งเป็น Indicator ของกรด (มีสีน้ำเงินหรือม่วง) ดังนั้นสีของยีสต์จึงเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำเงินหรือม่วงนั่นเอง หากพิจารณาที่โครงสร้าง หมู่ฟังก์ชันที่ให้สีของคองโกเรดคือหมู่แอโซ ซึ่งเมื่อไนโตรเจนในหมู่แอโซหรือหมู่เอมีนรับโปรตอนจากกรดมา จะทำให้เกิดการบิดตัวที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (ดังภาพประกอบ 3) ทำให้สีของคองโกเรดเปลี่ยนไปจากเดิมที่เป็นสีแดงไปเป็นสีน้ำเงินหรือม่วง (Kahlert, Meyer, & Albrecht, 2016)



ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของสีย้อมคองโกเรดเมื่ออยู่ในสารละลายกรด

ที่มา: Kahlert, H., Meyer, G., & Albrecht, A. (2016). Colour maps of acid–base titrations with colour indicators: how to choose the appropriate indicator and how to estimate the systematic titration errors. *ChemTexts*, 2(2), 1-28.

(5) การเทียบสีและค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงไปภายในแควคิวโอลย่อยอาหาร

นำยีสต์ที่ย้อมแล้วไปตกตะกอนใน 10 mM phthalic acid buffer ที่ pH 3-5 และ 0.1 M citric acid buffer ที่ pH 2.4-7.0 ซึ่งการเปลี่ยนสีของยีสต์ที่ย้อมสี pH indicator สามารถบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ได้ ดังตาราง 1

ตาราง 1 การเปลี่ยนสีของเซลล์ยีสต์ภายในแควคิวโอลย่อยอาหาร

pH	สีของยีสต์ที่ถูกย้อมด้วย		
	Congo red	Bromocresol green	Bromophenol blue
7.0		น้ำเงิน	
6.4		น้ำเงิน	

ตาราง 1 (ต่อ)

pH	สีของยีสต์ที่ถูกย้อมด้วย		
	Congo red	Bromocresol green	Bromophenol blue
6.0		เขียวแกมน้ำเงินเข้ม	
5.4		เขียวแกมน้ำเงินเข้ม	
5.0	แดง	เขียวแกมน้ำเงิน	น้ำเงิน
4.4	แดงเข้ม	เขียวแกมน้ำเงิน	น้ำเงิน
4.0	แดงเข้ม	เขียว	เขียวแกมน้ำเงินเข้ม
3.4	แดงเข้ม	เขียว	เขียว
3.0	ม่วงหรือน้ำเงิน	เขียวแกมเหลือง	เขียวแกมเหลือง
2.4	ม่วงหรือน้ำเงิน	เขียวแกมเหลือง	เขียวแกมเหลือง

ที่มา: Kodama, Y., & Fujishima, M. (2005). Symbiotic *Chlorella* sp. of the ciliate *Paramecium bursaria* do not prevent acidification and lysosomal fusion of host digestive vacuoles during infection. *Protoplasma*, 225(3-4), 191-203.

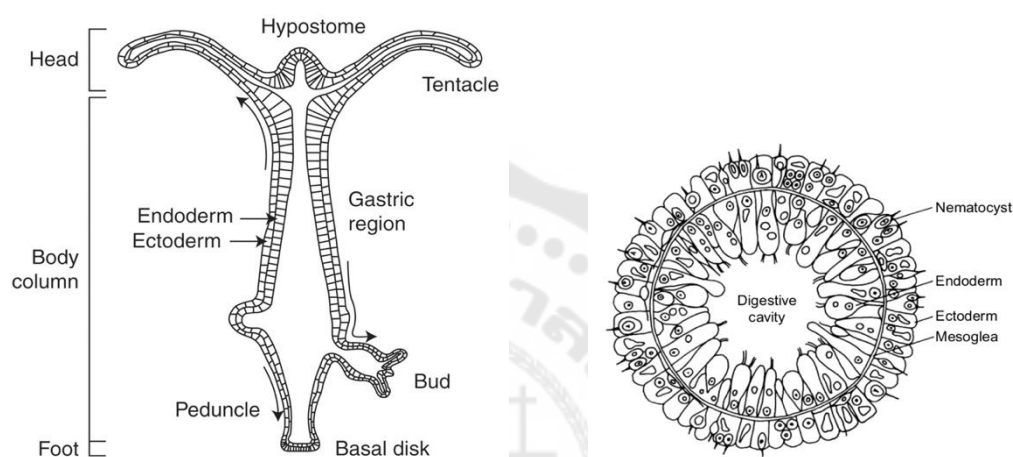
1.3 ระบบย่อยอาหารของไฮดรา

ไฮดรา (*Hydra* sp.) เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ในอาณาจักรสัตว์ (Animalia) ไฟลัมไนดาเรีย (Cnidaria) โดยไฮดราเป็นสัตว์ที่ถูกใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษาระบบย่อยอาหารที่นักวิทยาศาสตร์หลายคนให้ความสนใจ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสรุปเป็นประเด็นสำคัญดังนี้

1.3.1 กระบวนการย่อยอาหารของไฮดรา

ไฮดราเป็นสัตว์ในกลุ่มไนดาเรียนที่มีลักษณะลำตัวแบบ Polyp มีหนวด (Tentacle) อยู่ 6-8 เส้น ซึ่งภายในมี Cnidocyte ที่สามารถปล่อยเข็มพิษ (Nematocyst) ออกมาใส่เหยื่อ โดยภายในเข็มพิษจะมีสารที่เป็นพิษต่อระบบประสาท (Neurotoxin) ที่สามารถทำให้เหยื่อเป็นอัมพาตได้ จากนั้นไฮดราจะใช้นวด ในการนำเหยื่อเข้าไปในช่องว่างภายในลำตัว (Gastrovascular cavity) โดยผ่านช่องปาก (Mouth) ภายในช่องว่างดังกล่าว จะถูกล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อชั้นใน (Endodermis) ที่ประกอบด้วย Gland cell ทำหน้าที่สร้างเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารในช่องว่างภายในลำตัว ซึ่งจัดว่าเป็นการย่อยภายนอกเซลล์ ขณะที่ Nutritive cell จะใช้

แฟลกเจลลา โบกพัดอาหารที่มีขนาดเล็กเข้าสู่เซลล์ในรูปแบบของแวนคิวโอลย่อยอาหาร (ภาพประกอบ 4) ซึ่งจัดเป็นการย่อยอาหารภายในเซลล์ เมื่ออาหารที่อยู่ในช่องว่างภายในลำตัวถูกย่อยจนหมดแล้ว เหลือเพียงโครงสร้างที่ไม่สามารถย่อยได้ ไฮดราจะทำการขับกากอาหารเหล่านั้นออกมาทางช่องปาก (Reece et al., 2014)



ภาพประกอบ 4 ภาพตัดตามยาวและภาพตัดขวางของไฮดรา

ที่มา : Bode, H. R. (2001). The role of *Hox* genes in axial patterning in *Hydra*. *American Zoologist*, 41(3), 621-628.

1.3.2 การศึกษาระบบย่อยอาหารของไฮดรา

ระบบย่อยอาหารของไฮดราได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ประเด็นสำคัญออกมาดังนี้

Loomis (1955) ได้นำไฮดรา (*Hydra littoralis*) มาศึกษาพฤติกรรม การกิน (Feeding behavior) ที่ประกอบไปด้วยพฤติกรรมการปล่อยเข็มพิษไล่เหยื่อ (Discharge of nematocyst) การขดของหนวด (Tentacle writhing) การเปิดช่องปาก (Mouth opening) และการหดของลำตัว (Body contraction) เพื่อนำอาหารเข้าสู่ช่องว่างภายในลำตัว ว่ามีความเกี่ยวข้องกับไรโบนิวคลีโอไทด์ กลูตาไธโอน (Reduced glutathione: GSH) โดยเขาแบ่งการทดลองออกเป็นหลายส่วนด้วยกัน ส่วนแรกจะเป็นการศึกษาความเข้มข้นของไรโบนิวคลีโอไทด์ กลูตาไธโอนที่หลังจากสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม crustacea เมื่อถูกแทงด้วยเข็มพิษของไฮดรา ผลการศึกษาพบว่า ในหลอด

ทดลองที่มีไฮดราและสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม crustacea ที่มีชีวิตอยู่ จะตรวจพบปริมาณของรีดิวซ์ กลูตาไรโอนมากที่สุด รองลงมาเป็นหลอดทดลองที่มีเพียงสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม crustacea ที่มีชีวิตอยู่ ส่วนหลอดทดลองที่มีเพียงไฮดรา สิ่งมีชีวิตในกลุ่ม crustacea ที่ตายแล้ว และไฮดราที่ผสมกับสิ่งมีชีวิตในกลุ่ม crustacea ที่ตายแล้ว ไม่สามารถตรวจพบรีดิวซ์ กลูตาไรโอนได้ สอดคล้องกับการทดลองอีกส่วนที่เราได้ศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของไฮดราต่อรีดิวซ์ กลูตาไรโอน เมื่อออกอาหารในระยะเวลาต่าง ๆ พบว่า เมื่อออกอาหารไฮดราเป็นเวลานาน ไฮดราจะแสดงพฤติกรรมหรือตอบสนองต่อการกินอาหารมากขึ้น ส่วน Kass-Simon & Scappaticci (2004) ค้นพบว่าในขณะที่เหยื่อว่ายเข้ามาในระยะที่ใกล้กับไฮดรา แรงสั่นสะเทือนของน้ำจะกระตุ้นให้เกิดการยืดตัวของเข็มพิษออกไปจับเหยื่อนั่นเอง

1.3.3 เทคนิคปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาระบบย่อยอาหารของไฮดรา

(1) การเพาะเลี้ยงไฮดรา

โดยธรรมชาติแล้วไฮดรามักจะอาศัยในแหล่งน้ำจืดตามธรรมชาติทั่วไป ซึ่งแหล่งน้ำดังกล่าวนี้จะต้องเป็นแหล่งน้ำที่ค่อนข้างนิ่ง ใสสะอาด มีวัชพืชน้ำที่เติบโตไม่หนาแน่น และมีแสงแดดส่องถึง อย่างไรก็ตามการเก็บไฮดราจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาไว้ในห้องปฏิบัติการอาจทำได้ยาก ดังนั้นจึงมีการนำไฮดรามาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการเพื่อความสะดวกในการเก็บตัวอย่างมาศึกษา ซึ่งวิธีการเพาะเลี้ยงไฮดราในห้องปฏิบัติการนั้นมีหลายวิธี เช่น ทับรุ่งเรือง (2560) ได้เสนอการเลี้ยงไฮดราในตู้ปลา โดยให้ผู้เลี้ยงนำตู้ปลาไปไว้ริมหน้าต่างที่มีแสงแดดส่องถึง ใส่สาหร่ายหางกระรอกและแหลงไปเพื่อช่วยให้มีออกซิเจนในน้ำมากขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ควรใส่ทรายและก้อนหิน 5-6 ก้อนเพื่อเป็นที่ยึดเกาะของไฮดราใช้น้ำประปาเป็นน้ำเลี้ยง (ตั้งทิ้งไว้จนหมดกลิ่นคลอรีนประมาณ 1 สัปดาห์ ก่อนนำไฮดราลงเลี้ยง) ขณะที่ Lenhoff & Brown (1970) ได้เสนอวิธีการเลี้ยงไฮดรา (Mass culture) ในถ้วยแก้ว โดยใช้ M solution ที่เตรียมจาก 0.1 M CaCl_2 5 มิลลิลิตร และ KMNT stock solution 30 มิลลิลิตร (ได้จากการผสม 0.5 M tris-HCl buffer pH 7.8 1000 มิลลิลิตร เข้ากับ 0.1 M NaHCO_3 500 มิลลิลิตร 1 M KCl 50 มิลลิลิตร 1 M MgCl_2 50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 1400 มิลลิลิตร) จากนั้นนำไปละลายในน้ำกลั่น 2-3 ลิตร แล้วใช้เป็นน้ำเลี้ยงไฮดรา

(2) อาหารเลี้ยงไฮดรา

อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงไฮดราที่นิยมใช้คือไรแดง (*Daphnia* sp.) เนื่องจากเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำจืด ผู้เลี้ยงสามารถนำไรแดงมาเพาะในตู้ปลาแยกกันกับไฮดราโดยภายในตู้ปลาที่เลี้ยงไรแดงจะต้องใส่เศษไม้หรือใบไม้ลงไปเพื่อเป็นแหล่งอาหารให้กับไรแดง เมื่อนำไรแดงไปให้ไฮดรากินก็สามารถใช้เปิดหรือหลอดหยดดูไปให้

(ทับ รุ่งเรือง, 2560) ขณะที่ Lenhoff & Brown (1970), Sugiyama & Fujisawa (1977) และ Bossert & Galliot (2012) ได้ใช้ไรทะเล (*Artemia* sp.) เป็นอาหารของไฮดรา โดยวิธีการเลี้ยงไรทะเลนั้นสามารถทำได้โดยนำเกลือแกง 33 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ให้ได้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นเดียวกับน้ำทะเล จากนั้นนำไข่ของไรทะเลมาใส่ลงในภาชนะที่บรรจุน้ำเกลือ เพื่อเพิ่มอัตราการฟัก สามารถเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำเกลือโดยใช้เครื่องเป่าลม เมื่อไข่ฟักออกมาเป็นตัว ไรทะเลจะตกตะกอนอยู่ที่ก้น จากนั้นนำไรทะเลออกมาล้างด้วยน้ำกลั่น 3 รอบ ก่อนนำไปให้ไฮดรา โดยใช้ปิเปตหรือหลอดหยด

(3) การให้อาหารไฮดรา

ในกรณีที่เลี้ยงด้วยไรแดง ผู้เลี้ยงสามารถใช้ปิเปตหรือหลอดหยดดูดเอาไรแดงจากภาชนะเลี้ยงมาให้ไฮดราได้ แต่หากเป็นไรทะเลที่เลี้ยงในน้ำเกลือ ผู้เลี้ยงจะต้องทำการล้างไรทะเลเรียบร้อยแล้ว แล้วจึงใช้ปิเปตดูดหรือหลอดหยดดูดไรทะเลมาเพียงเล็กน้อย ใส่ลงในภาชนะเลี้ยง รอให้ไฮดรากินประมาณ 1-4 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการล้างภาชนะเลี้ยงเพื่อกำจัดซากไรทะเลที่ตายแล้วและที่ไฮดราไม่ได้กินออกจากภาชนะเลี้ยง จากนั้นถ่ายไฮดราทั้งหมดออกจากภาชนะเลี้ยง นำไฮดราล้างด้วยน้ำเลี้ยงที่สะอาด 3 ครั้ง ก่อนถ่ายไฮดราทุกตัวลงภาชนะเลี้ยงใหม่ และเมื่อผ่านไป 8 ชั่วโมง ไฮดราจะคายกากอาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ออกมา ดังนั้นจึงต้องมีการทำความสะอาดรอบที่ 2 โดยมีวิธีการเช่นเดียวกับการล้างในครั้งแรก (Bossert & Galliot, 2012)

(4) การสังเกตพฤติกรรมการกินและการย่อยอาหารของไฮดรา

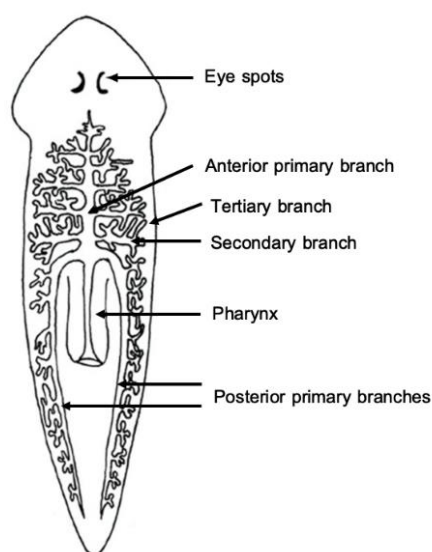
การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการกินและการย่อยอาหารของไฮดราที่นิยมศึกษานั้น สามารถทำได้โดยคัดเลือกไฮดราที่มีขนาดใหญ่ใส่ลงในสไลด์หุ้มโดยใช้ปิเปตหรือหลอดหยด จากนั้นนำไรแดง หรือไรทะเลใส่ลงในสไลด์หุ้มเดียวกัน จากนั้นนำไปสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยการศึกษาการกินอาหาร (Ingestion) จะเกิดขึ้นในช่วงแรก เริ่มตั้งแต่การที่ไฮดราโจมตีเหยื่อโดยใช้เข็มพิษ จนถึงใช้หนวดจับอาหารแล้วนำเข้าปาก ในส่วนของกระบวนการย่อยอาหาร เนื่องจากไฮดราเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ อาหารที่กินนั้นเข้าไปอยู่ในช่องว่างภายในลำตัว และใช้เวลานานในการย่อยอาหาร จึงทำให้การศึกษาการย่อย (Digestion) ทำได้ยาก กระบวนการต่อไปที่จะสามารถสังเกตได้ใต้กล้องจุลทรรศน์คือกระบวนการขับถ่าย (Egestion) (Bossert & Galliot, 2012)

1.4 ระบบย่อยอาหารของพลานาเรีย

พลานาเรีย (*Dugesia* sp.) เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ในอาณาจักรสัตว์ ไฟลัม แพลทีเฮลมินทีส (Platyhelminthes) ที่ถูกใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษาระบบย่อยอาหาร ที่นักวิทยาศาสตร์หลายท่านให้ความสนใจ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสรุปเป็นประเด็นสำคัญดังนี้

1.4.1 กระบวนการย่อยอาหารของพลานาเรีย

พลานาเรียจัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคสัตว์ (Carnivorous organism) อาศัยตัวอ่อนของแมลงหรือสัตว์หน้าดินขนาดเล็ก อาศัยในแหล่งน้ำจืดที่เป็นน้ำนิ่งที่ใสสะอาด โดยเมื่อพลานาเรียรับรู้ถึงสารเคมีที่ปล่อยออกมาจากเหยื่อหรือรับรู้ทางกายภาพ มันจะเข้าจู่โจมโดยหลั่งเมือกเหนียว (Adhesive mucus) ใส่เหยื่อให้เคลื่อนที่ไม่สะดวก จากนั้นจะปล่อยสารพิษ (Poisonous secretion) ให้เหยื่อตาย แล้วจึงเริ่มยัดคอหอย (Pharynx) ดูดกินเหยื่อ โดยอาศัยการปล่อยสารที่ช่วยย่อยสลายเนื้อเยื่อของเหยื่อ (Digestive fluid) อาหารจะเข้าทางปาก ที่อยู่ตอนปลายของคอหอย จากนั้นอาหารจะเข้าไปสู่ช่องว่างภายในลำตัว (Gastrovascular cavity) ที่เป็นท่อปลายตัน 3 แขนงหลักหรืออาจเรียกได้ว่าเป็นแขนงปฐมภูมิ (Primary branches) แขนงที่ 1 จะทอดยาวจากกลางลำตัวไปทางด้านหัว (Anterior primary branch) ส่วนอีก 2 แขนงจะทอดยาวไปทางด้านท้ายของลำตัว (Posterior primary branches) โดยแต่ละแขนงปฐมภูมิจะมีการแตกเป็นแขนงทุติยภูมิ (Secondary branches) และแขนงตติยภูมิ (Tertiary branches) ตามลำดับ (ภาพประกอบ 5) อาหารที่ถูกนำเข้ามาภายในช่องว่างภายในลำตัวจะถูกย่อยครั้งแรกภายในช่องว่างดังกล่าว โดยการหลั่งเอนไซม์จากเซลล์แกแลนด์ลาร์ (Glandular cell) จนได้อาหารที่มีอนุภาคนาขนาดเล็ก ซึ่งจัดเป็นการย่อยอาหารภายนอกเซลล์ จากนั้นอาหารขนาดเล็กดังกล่าวจะถูกเอนโดไซโทซิส (Endocytosis) เข้าไปในเซลล์ขนหรือเซลล์ฟาโกไซต์ (Ciliated cell/Phagocyte) เพื่อทำการย่อยภายในเซลล์ (Reece et al., 2014)



ภาพประกอบ 5 โครงสร้างทางเดินอาหารของพลานาเรีย

ที่ ม ๑ : Rossi, L., Salvetti, A., Batistoni, R., Deri, P., & Gremigni, V. (2008).

Planarians, a tale of stem cells. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65(1), 16-23.

1.4.2 การศึกษาระบบย่อยอาหารของพลานาเรีย

ระบบย่อยอาหารของพลานาเรียได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามก็ตีผู้วิจัยได้สังเคราะห์ประเด็นสำคัญออกมาดังนี้

Sheiman, Zubina, & Kreshchenko (2002) ศึกษาการควบคุมพฤติกรรมการกินอาหารของพลานาเรีย (*Dugesia tigrina*) โดยการนำพลานาเรียมาตัดคอหอยทิ้ง จากนั้นนำไปให้อาหารด้วยลูกน้ำ จากนั้นสังเกตว่าพลานาเรียจะแสดงพฤติกรรมการหาอาหารหรือไม่ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าใน 1-2 วัน หลังจากการตัดคอหอย พลานาเรียจะไม่เคลื่อนที่ มันมักจะเกาะอยู่ตามซอกของภาชนะที่ใช้เลี้ยง ในขณะที่ 3 วันหลังการตัดคอหอย การแสดงพฤติกรรมการหาอาหารของพลานาเรียจะสูงขึ้นถึงร้อยละ 72 ต่อมา เขาได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาว่าปมประสาทที่หัวและคอหอยของพลานาเรียมีบทบาทต่อพฤติกรรมการหาอาหารของมันหรือไม่ เขาจึงแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองแรกทำเพื่อศึกษาบทบาทของปมประสาทที่หัวของพลานาเรียเพียงอย่างเดียว ขณะที่การทดลองที่ 2 ทำเพื่อศึกษาบทบาทของปมประสาทที่หัวและคอหอยของพลานาเรีย ผลการทดลองพบว่า เมื่อตัดปมประสาทที่หัวของพลานาเรียออกหมด ในช่วง 1-5 วันหลังตัด พลานาเรียแทบจะไม่แสดงพฤติกรรมการหาอาหารเลย แต่พลานาเรียยังสามารถใช้คอหอยในการกินอาหารได้ในกรณีที่ไม่เจอกับเหยื่อโดยบังเอิญ

ในขณะที่พลาณาเรียที่ถูกตัดปมประสาทออกเพียงครั้งเดียว ยังสามารถแสดงพฤติกรรมการหาอาหารและใช้คอหอยในการกินอาหารได้ปกติ ส่วนผลของการทดลองที่ 2 พบว่า เมื่อตัดปมประสาทของพลาณาเรียและคอหอยออกจนหมด พลาณาเรียจะไม่แสดงพฤติกรรมการหาอาหารและการใช้คอหอยในการกินอาหารเลย ขณะที่พลาณาเรียที่ถูกตัดปมประสาทออกครั้งเดียวและตัดคอหอยออกยังสามารถแสดงพฤติกรรมการหาอาหารได้ แต่ไม่สามารถใช้คอหอยในการกินอาหารได้ จึงอาจสรุปได้ว่าพฤติกรรมการหาอาหารของพลาณาเรียนั้นมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของปมประสาทนั่นเอง

1.4.3 เทคนิคปฏิบัติการในการศึกษาระบบย่อยอาหารของพลาณาเรีย

(1) การเพาะเลี้ยงพลาณาเรีย

ในสภาวะธรรมชาติ พลาณาเรียมักอาศัยในแหล่งน้ำจืดที่สะอาดและอุดมสมบูรณ์ พวกมันชอบหลบซ่อนอยู่ใต้ก้อนหินจะออกมาข้างนอกเพียงเพื่อหาอาหารเท่านั้น ดังนั้นในห้องปฏิบัติการบางแห่งจึงเพาะเลี้ยงพลาณาเรียคล้ายกับสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติที่มันอาศัยอยู่เช่น การเพาะเลี้ยงในอ่างบัว แต่บางห้องปฏิบัติการอาจนำมาเลี้ยงในน้ำแร่พร้อมกับการเปิดเครื่องเติมอากาศให้ตลอดเวลา เพื่อรักษาระดับออกซิเจนให้เพียงพออยู่เสมอ น้ำควรมีอุณหภูมิระหว่าง 19-25 องศาเซลเซียส (Wu & Persinger, 2011) แต่ในบางห้องปฏิบัติการอาจใช้ M solution เป็นน้ำเลี้ยงพลาณาเรีย (Lenhoff & Brown, 1970)

(2) อาหารเลี้ยงพลาณาเรีย

ในการเพาะเลี้ยงพลาณาเรียในห้องปฏิบัติการนั้นสามารถให้อาหารได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการใช้เหยื่อที่มีชีวิตหรือการใช้อาหารที่ปรุงขึ้น ในห้องปฏิบัติการของ Sheiman, Zubina, & Kreshchenko (2002) ใช้ลูกน้ำเป็นอาหารของพลาณาเรีย โดยให้เพียง 2 วันต่อสัปดาห์ ส่วนห้องปฏิบัติการของ Wu & Persinger (2011) จะใช้ตับวัวแช่แข็ง (Frozen bovine liver) โดยจะให้กินครั้งละ 2 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง อย่างไรก็ตาม การให้ตับวัวแช่แข็งอาจทำให้น้ำเน่าเสีย ดังนั้นควรดูแลสภาพน้ำให้สะอาดอยู่เสมอ

(3) การสังเกตพฤติกรรมการกิน การย่อยอาหาร และโครงสร้างของระบบย่อยอาหารของพลาณาเรีย

การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการกินและการย่อยอาหารของพลาณาเรียสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบขึ้นกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ อาทิ มีการศึกษาลักษณะของทางเดินอาหารของพลาณาเรียโดยใช้ตัวบดผสมสีคาร์มีน (Carmine) เพื่อทำให้มองเห็นโครงสร้างดังกล่าวชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่ออาหารเข้าไปอยู่ในทางเดินอาหาร จากนั้นนำพลาณาเรียไปทำสไลด์ถาวรโดยใช้ Dawar's fixative (ศิวาพร ลงยันต์ และ ไพศาล สติธิกรกุล, 2555) ขณะที่

Forsthoefel, Park & Newmark (2011) ได้ทำการศึกษาการเจริญของโครงสร้างทางเดินอาหารของปลานาเรียโดยใช้สีย้อมฟลูออเรสเซนต์ Alexa 546 ผสมกับตับวัวบด เด็กซ์แทรน (Dextran) และผงวุ้นอากาโรส นำไปขึ้นรูปแล้วใช้เป็นอาหารของปลานาเรีย เมื่อปลานาเรียกินอาหารดังกล่าวเข้าไป สีย้อมจะเข้าไปติดกับเซลล์ภายในทางเดินอาหารที่กำลังแบ่งตัวทำให้นักวิทยาศาสตร์ทราบการเจริญของทางเดินอาหารของปลานาเรียได้

1.5 ระบบย่อยอาหารของปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการศึกษากระบวนการทางเดินอาหารของปลา เพื่อที่จะจำแนกว่าปลาชนิดใดเป็นปลาที่บริโภคพืช (Herbivorous fish) และปลาชนิดใดเป็นปลาที่บริโภคสัตว์ (Carnivorous fish) ผู้วิจัยมีความต้องการที่จะให้นักเรียนที่เรียนวิชาชีววิทยาได้ใช้เทคนิคเดียวกันนี้ในการศึกษาระบบย่อยอาหารของปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์ จึงได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสรุปเป็นประเด็นสำคัญดังนี้

1.5.1 การย่อยอาหารของปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์

ปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์นั้นมีโครงสร้างในระบบทางเดินอาหารที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นกระบวนการย่อยอาหารจึงคล้ายกัน โดยเริ่มต้นที่ปาก (Mouth) โดยจะมีฟันที่คอยช่วยบดเคี้ยวอาหารและมีลิ้นที่สามารถใช้รับรสได้ จากนั้นอาหารจะถูกกลืนลงไปที่ย่อยและหลอดอาหาร (Esophagus) แล้วจึงเข้าสู่กระเพาะอาหาร (Stomach) กระเพาะอาหารของปลาทำหน้าที่ในการสร้างเอนไซม์เปปซิน (Pepsin) และกรดเกลือ (HCl) มาย่อยอาหารประเภทโปรตีน โดยปลาที่บริโภคสัตว์มักจะมีกระเพาะขนาดใหญ่ ในขณะที่ปลาที่บริโภคพืชบางชนิดอาจไม่มีกระเพาะอาหาร หลังจากผ่านกระเพาะอาหารแล้ว อาหารจะถูกส่งผ่านมายังลำไส้ตั้ง (Pyloric caeca) ที่ทำหน้าที่ในการสร้างเอนไซม์ที่ใช้ย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต และยังเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยอาหารอีกด้วย จากนั้นอาหารจะถูกส่งผ่านมายังลำไส้ (Intestine) โดยปลาที่บริโภคพืชมักมีลำไส้ที่ยาวกว่าปลาที่บริโภคสัตว์ ลำไส้ทำหน้าที่ในการย่อยอาหารและดูดซึมสารอาหารที่ผ่านการย่อยแล้วไปใช้ประโยชน์ ส่วนกากอาหารที่เหลือจะถูกขับออกทางทวารหนัก นอกจากนั้นปลายังมีอวัยวะพิเศษที่ช่วยในการย่อยอาหาร นั่นคือ ถุงน้ำดี (Gall bladder) และก๊น (Gizzard) โดยถุงน้ำดีจะทำหน้าที่ปล่อยน้ำดีที่สร้างมาจากตับมาช่วยในการย่อยอาหารประเภทไขมัน ขณะที่ก๊นจะช่วยบดอาหารให้มีขนาดเล็กและง่ายต่อการย่อย (Horn, 1989)

1.5.2 การศึกษาระบบย่อยอาหารของปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์

ระบบย่อยอาหารของปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจำแนกปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์

โดยใช้โครงสร้างของทางเดินอาหารหรืออาหารที่บริโภค ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วสรุปประเด็นสำคัญออกมาดังนี้

Kramer & Bryant (1995) ได้จำแนกประเภทของปลาที่อาศัยในลำธารน้ำจืดในประเทศปานามา โดยใช้สัดส่วนของความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัว ที่เรียกว่า (Relative intestine length) และร้อยละของอาหารที่ปลาบริโภคเป็นเกณฑ์ พบว่า ปลาในวงศ์ Loricariidae (สกุล *Ancistrus*, *Chaetostoma*, *Hypostoma* และ *Rineloricaria*) และวงศ์ Poeciliidae (สกุล *Poecilia*) เป็นปลาที่บริโภคพืช โดยสัดส่วนของความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวมีค่าระหว่าง 5.4-28.7 ซึ่งอาหารที่ปลา 5 สกุลนี้บริโภค ได้แก่ ซากพืช (Detritus) และสาหร่าย (Algae) คิดเป็นร้อยละ 87.5-100.0 ของอาหารที่บริโภค ส่วนปลาในวงศ์ Erythrinidae (สกุล *Hoplias*) วงศ์ Characidae (สกุล *Roeboides*) วงศ์ Trichomycteridae (สกุล *Trichomycterus*) และวงศ์ Eleotridae (สกุล *Gobiomorus*) เป็นปลาที่บริโภคสัตว์ สัดส่วนของความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวมีค่าระหว่าง 0.7-0.9 โดยอาหารที่ปลาทั้ง 4 สกุลนี้บริโภคเป็นอาหาร ได้แก่ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ทั้งบนบกและในน้ำ (Terrestrial and aquatic invertebrate) คิดเป็นร้อยละ 70.5-80.0 ของอาหารที่บริโภค นอกจากนั้นยังพบว่าปลาในวงศ์ Characidae (สกุล *Brycon*, *Bryconamericus*, *Hyphessobrycon* และ *Gephyrocharax*) วงศ์ Lebiasinidae (สกุล *Piabucina*) วงศ์ Pimelodidae (สกุล *Pimelodella* และ *Rhamdia*) วงศ์ Cichlidae (สกุล *Cichlasoma*, *Aequidens* และ *Geophagus*) และวงศ์ Poeciliidae (สกุล *Brachyrhaphis*) เป็นปลาที่บริโภคทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous fish) มีสัดส่วนของความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวระหว่าง 1.1-2.2 โดยอาหารที่ปลาทั้ง 12 สกุลนี้บริโภคเป็นอาหาร ได้แก่ ซากพืช สาหร่าย ใบไม้ ดอกไม้ ผลไม้ เมล็ดพืช สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ทั้งบนบกและในน้ำ และปลาขนาดเล็ก

1.5.3 เทคนิคปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาระบบย่อยอาหารของปลาที่บริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์

(1) การหาสัดส่วนของความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัว

การหาสัดส่วนของความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัว สามารถทำได้โดย 1) วัดความยาวของลำตัวปลา (Body length) ตั้งแต่ส่วนปลายสุดของหัวจนถึงส่วนปลายสุดของหาง และ 2) วัดความยาวของลำไส้ปลา (Intestinal length) โดยการผ่าตัดเออลำไส้ของปลาออกมาแล้วทำการคลายเกลียวของลำไส้ให้เหยียดตรง จากนั้นใช้เครื่องมือวัดความยาวมาวัดความยาวของลำไส้จากส่วนท้ายของไส้ติ่ง ไปจนถึงไส้ตรง (Rectum) นำค่าความยาวของ

ลำไส้ปาลาหารด้วยค่าความยาวของลำตัวปลา ก็จะได้สัดส่วนของความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัว (Kramer & Bryant, 1995)

(2) การศึกษาองค์ประกอบของอาหารในกระเพาะอาหาร

ในการศึกษาองค์ประกอบของอาหารในกระเพาะอาหาร สามารถทำได้โดยนำกระเพาะอาหารของปลามาผ่า แล้วเขี่ยเอาอาหารภายในกระเพาะอาหาร (Gastric content) ออกมาทั้งหมด แล้วนำตัวอย่างอาหารมาวิเคราะห์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ทั้งนี้ ธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์ และคณะ (2552) ได้จำแนกอาหารออกเป็น 14 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) กลุ่มปลา (พบในรูปของปลาขนาดเล็กทั้งตัว ก้าง หรือเกล็ด) 2) กลุ่มกุ้ง (พบในรูปของกั๊ว ระวังค์ ก้าม หรือตา) 3) กลุ่มไส้เดือนน้ำ (พบในรูปของเดือยหรือพบหนอนท่อ) 4) กลุ่มหอย (พบในรูปเปลือกหอย) 5) กลุ่มสัตว์หน้าดิน (พบในรูปของชิ้นส่วนของสัตว์หน้าดิน) 6) กลุ่มแมลงบก (พบในรูปชิ้นส่วนของแมลงบก) 7) กลุ่มตัวอ่อนแมลง (พบในรูปของชิ้นส่วนของตัวอ่อนแมลง) 8) กลุ่มฟองน้ำ (พบในรูปขวาก) 9) กลุ่มไบรโอซัว (พบในรูป Statoblast) 10) กลุ่มไฮดรา (พบในรูปของหนวดหรือเข็มพิษ) 11) กลุ่มสาหร่าย (พบในรูปชิ้นส่วนของสาหร่าย) 12) กลุ่มแพลงค์ตอนสัตว์ (พบในรูปของหนวดหรือฝัก) 13) กลุ่มโรติเฟอร์และโปรโตซัว (พบในรูปชิ้นส่วนโรติเฟอร์และโปรโตซัว) และ 14) กลุ่มแพลงค์ตอนพืช (พบในรูปของผนังเซลล์) โดยปลาที่บริโภคอาหารในกลุ่มที่ 11 และ 14 คือ ปลาที่บริโภคพืช ส่วนปลาที่บริโภคอาหารในกลุ่มที่ 1-10 และ 12-13 คือ ปลาที่บริโภคสัตว์ และปลาที่บริโภคอาหารทุกกลุ่ม คือ ปลาที่บริโภคทั้งพืชและสัตว์

1.6 ระบบย่อยอาหารของมนุษย์

ระบบย่อยอาหารของมนุษย์มีเนื้อหาที่ค่อนข้างมากและซับซ้อน ไม่ว่าจะเป็นเนื้อหาด้านโครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์ (ที่เน้นให้นักเรียนสามารถระบุชื่อ ลักษณะ และตำแหน่งของอวัยวะในระบบย่อยอาหารได้) หรือเนื้อหาด้านสรีรวิทยา (ที่เน้นให้นักเรียนสามารถอธิบายหน้าที่และการทำงานของอวัยวะในระบบย่อยอาหารได้) ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสรุปเป็นประเด็นสำคัญดังนี้

1.6.1 กระบวนการย่อยอาหารของมนุษย์

กระบวนการย่อยอาหารของมนุษย์นั้นเริ่มต้นที่ปาก ซึ่งการย่อยที่เกิดขึ้นภายในปากนั้นจะพบทั้งการย่อยเชิงกล (การใช้ลิ้นและฟันเพื่อคลุกเคล้าและบดเคี้ยวอาหารให้มีขนาดเล็ก) และการย่อยเชิงเคมี (การที่เอนไซม์อะไมเลสทำการย่อยแป้งให้ได้เดกซ์ทรีนหรือน้ำตาลมอลโทส) จากนั้นอาหารจะถูกกลืนลงคอหอย และหลอดอาหาร แล้วจึงเข้าสู่กระเพาะอาหาร (Stomach) ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยโปรตีน (โดยใช้เอนไซม์เปปซินย่อยโปรตีนให้เป็นพอลิเปปไทด์)

ขณะเดียวกันกระเพาะอาหารสามารถทำหน้าที่ในการย่อยอาหารเชิงกลผ่านการบีบตัวแบบ Tonic contraction จากนั้นอาหารจะถูกส่งมาที่ลำไส้เล็กส่วนต้นหรือดูโอดีนัม (Duodenum) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการย่อยอาหารครบทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นคาร์โบไฮเดรต (โดยใช้เอนไซม์อะไมเลสและไดแซคคาเรสย่อยคาร์โบไฮเดรตให้ได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว) โปรตีน (โดยใช้เอนไซม์ทริปซิน ไคโมทริปซินและคาร์บอกซิเปปติเดสย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน) และไขมัน (โดยใช้เอนไซม์ไลเปสและน้ำดีย่อยไขมันเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล) ซึ่งเอนไซม์และสารที่ช่วยในการย่อยอาหารดังกล่าว นอกจากจะสร้างจากเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กเองแล้ว ยังสร้างมาจากตับ (Liver) และตับอ่อน (Pancreas) อีกด้วย หลังจากที่มีการย่อยเสร็จสิ้น สารอาหารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่ได้จากการย่อยจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดและหลอดน้ำเหลืองผ่านทางวิลไล (Villi) บริเวณลำไส้เล็กตอนกลาง (Jejunum) และส่วนปลาย (Ilium) ก่อนจะถูกส่งไปที่ลำไส้ใหญ่ส่วนที่กัม (Cecum) โคลอน (Colon) และไส้ตรงตามลำดับ เพื่อทำการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ รวมถึงสังเคราะห์วิตามินบี 12 จากกากอาหารก่อนขับออกทางทวารหนัก (Anus) (Reece et al., 2014)

1.6.2 เทคนิคปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาระบบย่อยอาหารของมนุษย์

ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวงการแพทย์ อย่างไรก็ตามก็มีความลุ่มลึกของเนื้อหา รวมถึงเทคนิคปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษาดังกล่าวมีความซับซ้อนเกินกว่าที่นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจะเข้าใจได้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิบัติการการย่อยอาหารของมนุษย์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนชีววิทยาเท่านั้น

(1) ปฏิบัติการการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

ปฏิบัติการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่นิยมนำมาใช้ในห้องเรียน สามารถทำได้โดยการนำน้ำแป้งสุก ซึ่งทำจากแป้งสาลีเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลส (Amylose) มากและมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -1, 4-glycosidic linkage (Roels & van Beynum, 1985) มาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์อะไมเลสในน้ำลาย (Salivary amylase) ภายใต้อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เอนไซม์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ย่อยอะไมโลสให้ได้เป็นน้ำตาลมอลโทไตรโอส (Maltotriose) และน้ำตาลมอลโทส (Maltose) ซึ่งเมื่อนำน้ำตาลที่ได้ไปทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน (Lugal's iodine) จะพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีของสารละลายไอโอดีน เนื่องจากน้ำแป้งถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลไปแล้ว แต่หากนำมาทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์ จะพบว่าการเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีแดงอิฐ เนื่องจากสารละลายเบเนดิกต์ ประกอบด้วยคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) โซเดียมซิติเรต ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) และโซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3) ซึ่งสารละลายดังกล่าวจะแตกตัวให้คิวปริกไอออน

(Cu^{2+}) ซึ่งสามารถถูกรีดิวซ์โดยหมู่คีโตนหรืออัลดีไฮด์ได้คิวปรัสออกไซด์ (Cu_2O) ที่มีสีแดงอิฐ จึงมีการนำสารละลายดังกล่าวมาใช้ทดสอบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลคู่ ยกเว้นซูโครส (Dickey, 2003)

(2) ปฏิบัติการการย่อยอาหารประเภทโปรตีน

ปฏิบัติการย่อยอาหารประเภทโปรตีนที่นิยมนำมาใช้ในห้องเรียน สามารถทำได้โดยนำไข่ขาวซึ่งมีโปรตีนอัลบูมิน (Albumin) เป็นองค์ประกอบ มาทำให้สุกภายในหลอดคาปิลลารี โดยโปรตีนมีกรดอะมิโนเป็นโครงสร้างพื้นฐานเรียงต่อกันเป็นสายยาว ด้วยพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) นำไข่ขาวต้มสุกดังกล่าวมาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์เปปซิน (Pepsin) และกรดเกลือ (HCl) ภายใต้อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เอนไซม์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ย่อยโปรตีนให้ได้เป็นกรดอะมิโน ทำให้เราสามารถสังเกตเห็นว่าระดับของไข่ขาวต้มสุกในหลอดคาปิลลารีนั้นลดลง (Dickey, 2003)

(3) ปฏิบัติการการย่อยอาหารประเภทไขมัน

ปฏิบัติการย่อยอาหารประเภทไขมันที่นิยมนำมาใช้ในห้องเรียน สามารถทำได้โดยนำน้ำมัน (Oil) ซึ่งมีกรดไขมัน (Fatty acid) และกลีเซอรอล (Glycerol) ที่จับกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (Ester bond) เป็นโครงสร้างพื้นฐาน มาทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ไลเปส (Lipase) และน้ำใต้ภายใต้อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยน้ำดีมีเกลือโซเดียมไกลโคโคเลต ($\text{C}_{26}\text{H}_{42}\text{NNaO}_6$) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งทำหน้าที่เป็นอีมัลซิไฟอิงเอเจนต์ (Emulsifying agent) ช่วยให้ไขมันแตกตัวเป็นหยดไขมันขนาดเล็ก (Fat droplet) ก่อนที่เอนไซม์ไลเปสจะเข้าไปย่อยให้ได้กรดไขมันและกลีเซอรอล สำหรับการตรวจสอบการย่อยสามารถทำได้โดยใช้สารละลายฟีนอลเรด (Phenol red) ซึ่งเป็น pH indicator (โดยจะมีสีแดงที่ pH=7 มีสีชมพูที่ pH>7 และมีสีเหลืองที่ pH<7) เมื่อกระบวนการย่อยเสร็จสิ้น เราจะสังเกตได้ว่าสารละลายฟีนอลเรดจะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีเหลือง เนื่องจากการลดลงของ pH ซึ่งเป็นผลมาจากกรดไขมัน (Dickey, 2003)

2. การจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

การศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต มีประเด็นที่นำเสนอ 5 ประเด็น ได้แก่ 1) เป้าหมายการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ 2) ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต 3) แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต 4) รูปแบบการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต และ 5) แนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ซึ่งแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

2.1 เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เป้าหมายการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบันยังคงมุ่งเน้นที่จะจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literacy) ให้กับนักเรียน เพื่อให้นักเรียนทุกคนสามารถดำรงชีวิตในสังคมที่เต็มไปด้วยอิทธิพลของวิทยาศาสตร์ได้ ซึ่งการรู้วิทยาศาสตร์ไม่ได้หมายความว่านักเรียนจะต้องมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพียงอย่างเดียว แต่หมายถึงนักเรียนจะต้องมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skill) ทักษะปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Science practice) เจตคติทางวิทยาศาสตร์ (Attitude towards science) เข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Nature of science) ตลอดจนเป็นผู้ที่มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้วิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

2.2 ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวังในสาระชีววิทยา เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ได้ระบุไว้ว่านักเรียนจะต้องสามารถ 1) สืบค้นข้อมูล อธิบายและเปรียบเทียบโครงสร้างและกระบวนการย่อยอาหารของสัตว์ที่ไม่มีทางเดินอาหาร สัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์และสัตว์ที่มีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ 2) สังเกตและอธิบายการกินอาหารของไฮดราและปลาน้ำจืด 3) อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างหน้าที่และกระบวนการย่อยอาหารและการดูดซึมสารอาหารภายในระบบย่อยอาหารของมนุษย์ได้ ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนเข้าใจว่าเรามีการปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารนอกเซลล์ ส่วนอะมีบาและพารามีเซียมมีการย่อยอาหารในแวคิวโอลย่อยอาหารโดยเอนไซม์จากไลโซโซม ส่วนฟองน้ำที่ไม่มีทางเดินอาหารจะใช้เซลล์พิเศษทำหน้าที่จับอาหารเข้าสู่เซลล์และย่อยภายในเซลล์โดยเอนไซม์จากไลโซโซมเช่นเดียวกัน ขณะที่ไฮดราและปลาน้ำจืดมีระบบทางเดินอาหารแบบไม่สมบูรณ์ จะกินอาหารและขับกากอาหารออกทางเดียว ในขณะที่ไส้เดือนดิน แมลง สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังส่วนใหญ่และสัตว์มีกระดูกสันหลังจะมีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์ ในส่วนระบบย่อยอาหารของมนุษย์ ประกอบด้วยการย่อยเชิงกลโดยการทำให้ขนาดของอาหารเล็กลง ขณะที่การย่อยทางเคมีจะอาศัยเอนไซม์ในทางเดินอาหารทำให้โมเลกุลของอาหารมีขนาดเล็กจนเซลล์สามารถดูดซึมไปใช้ได้ อาหารที่ไม่ถูกย่อยหรือย่อยไม่ได้จะเคลื่อนต่อไปยังลำไส้ใหญ่ ลำไส้ใหญ่จะทำการดูดซึมน้ำ ธาตุอาหารและวิตามินที่เหลือเพื่อนำกลับไปใช้ ส่วนที่เหลือจะเป็นกากอาหาร กากอาหารจะถูกกำจัดออกทางทวารหนัก (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

2.3 แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

จากการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง ร่วมกับหนังสือเรียนชีววิทยา เล่ม 4 ตามผลการเรียนรู้ในสาระชีววิทยา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลาง

การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) พบว่า แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ที่นักเรียนจะต้องเรียน ประกอบด้วย 1) ความหมายของการย่อยอาหาร เพื่อให้นักเรียนทราบว่ากระบวนการย่อยอาหารมีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร นอกจากนั้นนักเรียนจะต้องทราบว่ากระบวนการย่อยอาหารแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน การกิน การย่อย และการขับถ่าย 2) การย่อยอาหารภายในเซลล์ และการย่อยอาหารภายนอกเซลล์ เพื่อให้นักเรียนเห็นถึงความแตกต่างระหว่างการย่อยทั้ง 2 ประเภทนี้ ครูมักใช้แบคทีเรียและเชื้อราเป็นโมเดลในการศึกษากระบวนการย่อยอาหารภายนอกเซลล์ และใช้พารามีเซียมเป็นโมเดลในการศึกษากระบวนการย่อยอาหารภายในเซลล์ 3) สิ่งมีชีวิตที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ (Complete digestive tract) และสิ่งมีชีวิตที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ (Incomplete digestive tract) ในการศึกษาถึงความแตกต่างของทางเดินอาหารทั้งสองแบบนี้มักใช้สัตว์ เช่น ไส้เดือนดิน หรือปลานก เป็นโมเดลในการศึกษาสัตว์ที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ และใช้ไส้เดือนดิน แมลงปลา นก หรือกระต่าย เป็นโมเดลในการศึกษาสัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ และ 4) ระบบการย่อยอาหารของมนุษย์ เพื่อศึกษาตั้งแต่โครงสร้าง หน้าที่ และการทำงานของอวัยวะภายในระบบ โดยภายในแนวคิดนี้ มีแนวคิดย่อยอีกมากมาย อาทิ การย่อยเชิงกลและการย่อยเชิงเคมี การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต การย่อยอาหารประเภทโปรตีน การย่อยอาหารประเภทไขมัน และการดูดซึมสารอาหารประเภทต่าง ๆ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560)

2.4 รูปแบบการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

หลังจากการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ที่คาดหวังและหนังสือเรียน ชีววิทยา เล่ม 4 ตามผลการเรียนรู้ในสาระชีววิทยา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) พบว่าเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต มีความคล้ายคลึงกันกับหลักสูตรเก่า เพียงแต่มีการปรับเนื้อหาบางส่วนให้มีความลุ่มลึกมากขึ้น

จากการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ครูและนักศึกษามากมายได้ทำการศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมแนวคิดหรือผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต อาทิ บุญธิดา โรจนคุณธรรม (2558) ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาแนวคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ระบบย่อยอาหารและการสลายสารอาหารระดับเซลล์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ที่เน้นให้นักเรียนได้ทำการสำรวจตรวจสอบและสืบค้นความรู้จากหนังสือหรือสื่อที่ครูได้จัดเตรียมให้ แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน โดยผลการวิจัยพบว่า หลังจาก

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทำให้นักเรียนมีแนวคิดเรื่อง ระบบย่อยอาหารและการสลายสารอาหารระดับเซลล์สูงขึ้นกว่าก่อนเรียน แต่ก็ยังพบว่าในบางแนวคิด เช่น ทางเดินอาหารของสัตว์ ก็ยังมีนักเรียนที่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนอยู่ ขณะที่ บุษกร วงษ์ปาน (2558) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาแนวคิด เรื่อง ระบบย่อยอาหาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ที่เน้นจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมเป็นฐาน เน้นให้นักเรียนทำใบกิจกรรม และศึกษาค้นคว้าองค์ความรู้วิทยาศาสตร์ผ่านการชมวีดิทัศน์และการอภิปรายในชั้นเรียน ซึ่งผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ในระดับที่สูงขึ้นหลังการจัดการเรียนรู้ แต่ยังมีบางแนวคิดที่ยังมีนักเรียนที่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน เช่น แนวคิดเรื่องหน้าที่และการทำงานของอวัยวะในระบบย่อยอาหาร และแนวคิดเรื่องผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยอาหาร นอกจากนั้น ณัฐชียา ธนานุสนธิ์ (2560) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงแนวคิดเรื่อง ระบบย่อยอาหารของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้ยุทธวิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดตามมุมมองญาณวิทยาและมุมมองเชิงความรู้สึก ที่เน้นการทำกิจกรรมกลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างผู้เรียน ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงแนวคิดไปในทิศทางที่สอดคล้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์มากขึ้น แต่ก็ยังมีนักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเช่นเดียวกัน นอกจากนั้นผู้วิจัยท่านนี้ยังพบแนวปฏิบัติที่ดีว่า การพัฒนาแนวคิดของนักเรียนให้เข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์มากขึ้นนั้น ครูจะต้องจัดประสบการณ์การเรียนรู้ให้นักเรียนได้สัมผัสกับสื่อการเรียนรู้ของจริง ผ่านการทำบทปฏิบัติการหรือการทดลองวิทยาศาสตร์ ดังจะเห็นในการศึกษาย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ภายใต้อิทธิพลของเอนไซม์สังเคราะห์ อาทิ ไดแอสเตส (Diastase) เปปซิน และไลเปส แล้วนำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ร่วมกับการใช้คอมพิวเตอร์ พบว่า ผู้เรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น และมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก (Sorgo et al., 2008)

2.5 แนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

จากการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบว่าแม้จะมีครูหรือนักการศึกษามากมายพยายามที่จะพัฒนาแนวคิด เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา แต่ก็พบว่ายังมีนักเรียนจำนวนหนึ่งที่ยังมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนไม่ตรงกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ โดยแนวคิดดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์ออกมา 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ความหมายของการย่อยอาหาร 2) การย่อยอาหารของจุลินทรีย์ 3) การย่อยอาหารของ

สัตว์ และ 4) การย่อยอาหารของมนุษย์ ประเด็นแรก เรื่อง ความหมายของการย่อยอาหาร ผู้วิจัยพบว่านักเรียนที่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจะเข้าใจว่าการย่อยอาหารหมายถึงการนำอาหารเข้าไปในร่างกายแล้วย่อย ซึ่งหากพิจารณาแล้วจะพบว่าการย่อยแม้ว่าจะเป็นการนำอาหารเข้าสู่ภายในร่างกาย แต่ไม่ได้บ่งบอกว่าเป็นการย่อยอาหารภายในเซลล์ หรือการย่อยไม่จำเป็นเสมอไปที่จะต้องนำอาหารเข้าไปย่อยอยู่ภายในเซลล์ ขณะที่ประเด็นที่ 2 การย่อยอาหารของจุลินทรีย์จะพบว่านักเรียนบางส่วนเข้าใจว่าจะมีบาซิลลัสที่หมักอาหารแล้วปล่อยเอนไซม์จากแควคิโอลย่อยอาหารมาย่อยอาหาร นอกจากนั้นยังเข้าใจว่าพารามีเซียมย่อยอาหารโดยการบีบตัวไปมาหรือเข้าใจว่าพารามีเซียมใช้เพียงไลโซโซมเท่านั้นในการย่อยอาหาร ประเด็นที่ 3 เรื่องการย่อยอาหารของสัตว์ พบว่านักเรียนเข้าใจว่าพองน้ำย่อยอาหารโดยการดูดซึมอาหารเข้าไปในเซลล์ ไฮดรามีแฟลกเจลลาโบกพัดอาหารเข้ามาในช่องว่างภายในลำตัว เข้าใจว่าพลาเนเรียปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารผ่านทางปากแล้วจึงค่อยดูดสารอาหารกลับไปในร่างกาย เข้าใจว่าไส้เดือนย่อยอาหารโดยใช้กระเพาะและลำไส้เล็ก เข้าใจว่าแมลงมีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์เนื่องจากแมลงมีขนาดตัวที่เล็กและเข้าใจว่าลำไส้เล็กของสัตว์เคี้ยวเอื้องมีหน้าที่ดูดซึมน้ำและแร่ธาตุ ส่วนลำไส้ใหญ่ทำหน้าที่ย่อยอาหาร ส่วนในประเด็นสุดท้าย การย่อยอาหารของมนุษย์มีนักเรียนยังไม่เข้าใจเรื่องการย่อยเชิงกลและการย่อยเชิงเคมี โดยนักเรียนกล่าวว่า การย่อยมี 2 ประเภท คือ การย่อยเบื้องต้น และการย่อยหลัก หรือ 3 ประเภท คือ การย่อยคาร์โบไฮเดรต การย่อยโปรตีน และการย่อยไขมัน นอกจากนั้น นักเรียนยังไม่เข้าใจถึงความหมายของการย่อยเชิงกล และการย่อยเชิงเคมี โดยมีนักเรียนเข้าใจว่า การย่อยเชิงกลคือการย่อยด้วยตัวเอง ส่วนการย่อยเชิงเคมีเป็นการสร้างสารใหม่ หรือเข้าใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อย ย่อยโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันคือพลังงาน

3. บทปฏิบัติการ

การศึกษาเกี่ยวกับบทปฏิบัติการ มีประเด็นที่น่าสนใจ 6 ประเด็น ได้แก่ 1) ความเป็นมาและความสำคัญของบทปฏิบัติการ 2) ความหมายของบทปฏิบัติการ 3) ลักษณะของบทปฏิบัติการ 4) การจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ 5) การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ และ 6) การประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ ซึ่งแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

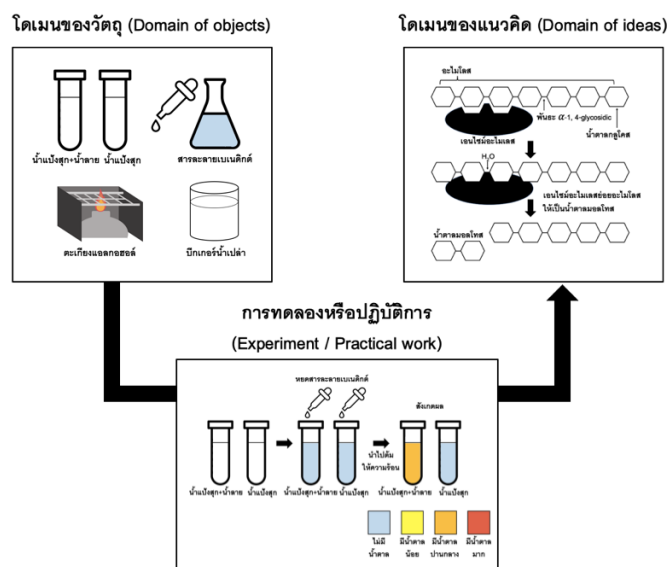
3.1 ความเป็นมาและความสำคัญของบทปฏิบัติการ

ปฏิเสธไม่ได้ว่าการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในอดีต ครูจะเน้นการบรรยายเนื้อหาเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้หรือคำอธิบายปรากฏการณ์ (ไม่ว่าจะเป็น กฎ ทฤษฎี หรือแนวคิด) ที่นักวิทยาศาสตร์ค้นพบ ให้นักเรียนท่องจำ โดยไม่คำนึงว่านักเรียนจะสามารถจินตนาการสิ่งที่ได้

เรียนรู้มาให้เห็นเป็นภาพปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติได้หรือไม่ ด้วยเหตุนี้จึงมีครูและนักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้เสนอว่าการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จำเป็นจะต้องให้นักเรียนได้สังเกตปรากฏการณ์จริงควบคู่ไปกับการเรียนแบบบรรยาย จึงเริ่มมีการนำการทดลองหรือปฏิบัติการเข้ามาใช้เป็นส่วนในการจัดการเรียนรู้ โดยครูจะเป็นผู้ดำเนินการนำชั้นเรียนเพื่อสาธิตการทดลองหรือปฏิบัติการดังกล่าว ให้นักเรียนเข้าใจและเห็นภาพมากขึ้น (Jenkins, 1998) ต่อมาในศตวรรษที่ 20 การทำการทดลองหรือปฏิบัติการได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น จากกระแสสังคมที่ต้องการให้เยาวชนคนรุ่นใหม่เป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literate citizen) และทำงานทางด้านวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้น (Osborne, 1998) ดังจะเห็นจากการที่หลายประเทศมีการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์ที่เน้นให้นักเรียนได้ทำการทดลองหรือทำปฏิบัติการมากขึ้น อีกทั้งรัฐบาลยังให้การสนับสนุนงบประมาณเพื่อสร้างห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนอีกด้วย ทำให้บทบาทของการใช้การทดลองหรือปฏิบัติการได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่เป็นเพียงการสาธิตหน้าชั้นมาเน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองมากขึ้น โดยการทดลองหรือปฏิบัติการนั้นนักเรียนจะมีหน้าที่ดำเนินการตามขั้นตอนที่ครูกำหนดให้อย่างละเอียด (Cookbook task) เพื่อให้ได้ผลตามที่ครูคาดหวังไว้ Clackson & Wright (1992) แต่ก็มีครูและนักวิทยาศาสตร์ศึกษาอีกกลุ่มที่พยายามโต้แย้งว่าการที่นักเรียนไม่ได้มีส่วนร่วมในการกำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐาน หรือออกแบบการทดลองหรือปฏิบัติการ ทำให้นักเรียนเห็นความสำคัญของความรู้ แต่ไม่เห็นความสำคัญของกระบวนการได้มาซึ่งองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงมีเจตคติที่ไม่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ (Bell & Linn, 2000) ซึ่งถือว่าการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ดังกล่าวยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะพัฒนานักเรียนให้มีคุณลักษณะตรงตามความต้องการกับนโยบายหรือตามที่หลักสูตรกำหนด ต่อมาจึงมีการพัฒนารูปแบบการทำการทดลองหรือปฏิบัติการโดยเน้นให้นักเรียนได้กำหนดปัญหา และออกแบบการทดลองหรือปฏิบัติการด้วยตนเอง ให้คล้ายกับการกระบวนการทำงานจริงของนักวิทยาศาสตร์มากขึ้น (Wellington, 1989)

ซึ่งจากที่กล่าวไปข้างต้น จะเห็นได้ว่าครูและนักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้ให้ความสำคัญกับการนำการทดลองหรือปฏิบัติการมาใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก โดย Wellington (1989) กล่าวว่า การทำการทดลองหรือปฏิบัติการนั้น ช่วยกระตุ้นความสนใจอีกทั้งยังเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้ทักษะและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มารวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผล แล้วนำมาสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง เช่นเดียวกับ Millar (2004) ที่เสนอว่าการนำการทดลองหรือบทปฏิบัติการ มาใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เป็นการแสดงให้เห็นการเกิดขึ้นจริงของปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้นักเรียนเข้าใจมากกว่าการ

อธิบายหรือบรรยายให้นักเรียนฟัง หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการสร้างบริบทของห้องเรียน วิทยาศาสตร์ให้คล้ายคลึงกับห้องทำงานของนักวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้อย่าง มีความหมายภายใต้บริบทที่เหมาะสม (Lunetta, Hofstein, & Clough, 2007) ไม่เพียงเท่านั้น Osborne (1998) ได้กล่าวถึงความสำคัญของการทำปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์อีกว่า เป็นวิธีที่จะ ช่วยให้นักเรียนเห็นภาพกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการศึกษาหาความรู้ ในขณะเดียวกัน ก็ช่วยฝึกให้นักเรียนมีทักษะหรือแนวปฏิบัติวิทยาศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็น การสังเกต การตีความ การวิเคราะห์ข้อมูล การให้เหตุผล และการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์อีกด้วย โดยกรอบแนวคิด เกี่ยวกับการนำทปฏิบัติการมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ ที่ครูและนักวิทยาศาสตร์ศึกษายึดถือ เป็นกรอบแนวคิดของ Tiberghien (2000) ที่อธิบายว่าการทำปฏิบัติการ จะช่วยเสริมสร้างโดเมน ของแนวคิด (Domain of ideas) ซึ่งหมายถึงองค์ความรู้ แนวคิดหรือทฤษฎี ให้กับนักเรียน โดยใช้ สสาร วัสดุหรือวัตถุที่สามารถสังเกตและจับต้องได้ หรือที่เรียกว่าโดเมนของวัตถุ (Domain of objectives) เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น ผู้วิจัยจะขอใช้แผนภาพและให้ยกตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 6 ที่มีการนำน้ำแข็งสุก น้ำลาย สารละลายเบเนดิกต์ ตะเกียงแอลกอฮอล์ และบีกเกอร์น้ำเปล่า (โดเมนของวัตถุ) มาทำการทดลองหรือปฏิบัติการเพื่อศึกษาการย่อยแป้ง ของเอนไซม์อะไมเลสในน้ำลาย โดยมีการตรวจสอบการเกิดขึ้นของน้ำตาลโดยใช้สารละลาย เบเนดิกต์ ซึ่งพบว่าน้ำตาลเกิดขึ้นในหลอดทดลองที่ใส่น้ำลายลงในน้ำแข็งสุก (เกิดตะกอนสีส้ม) ขณะที่หลอดทดลองที่ไม่ได้ใส่น้ำลายลงไปไม่มีการเปลี่ยนสี ปรากฏการณ์ที่นักเรียนได้สังเกตจาก การทดลองหรือปฏิบัติการนี้ จะช่วยให้สามารถสรุปได้ว่าในน้ำลายมีเอนไซม์อะไมเลสที่สามารถ ย่อยแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลได้ (โดเมนของแนวคิด) อีกนัยหนึ่งก็สามารถกล่าวได้ว่าการทำ ปฏิบัติการเปรียบเสมือนสะพานที่เชื่อมโยงระหว่างโดเมนของความรู้ทั้งสองโดเมนเข้าด้วยกัน (ภาพประกอบ 6)



ภาพประกอบ 6 กรอบแนวคิดเรื่องปฏิบัติการ

3.2 ความหมายของปฏิบัติการ

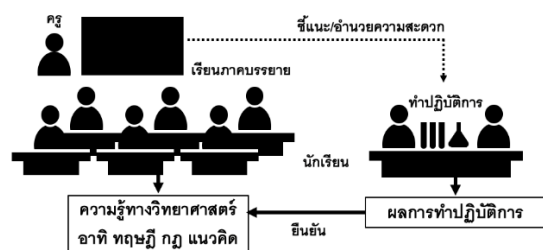
จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบว่า มีครูและนักวิทยาศาสตร์ศึกษาหลายท่านได้ใช้ชื่อเรียกปฏิบัติการอย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น Practical work, Practical task, Practical activity, Laboratory work, Laboratory task หรือ Laboratory activity ซึ่งชื่อเรียกเหล่านี้ Millar (2004) ระบุว่าสามารถใช้เรียกแทนทั้งการทำการทดลองและปฏิบัติการ เนื่องจากการเรียกกว้าง ๆ ของการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ที่บางครั้งอาจไม่มีการทดสอบสมมติฐาน หรือระบุและควบคุมตัวแปร (เช่น การศึกษาโครงสร้างท่อลำเลียงน้ำและอาหารของพืช) โดย Wellington (1989) ได้ให้ความหมายของปฏิบัติการไว้คล้ายคลึงกัน โดยกล่าวว่าเป็นภาระงาน (Task) ทางวิทยาศาสตร์ที่แยกจากการจัดการเรียนรู้ อย่างอิสระ ที่มีการใช้วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี หรือเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ในการดำเนินการเพื่อจำลองการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ให้นักเรียนได้สังเกตของจริง โดยภาระงานดังกล่าวอาจอยู่ในรูปแบบที่ครูเป็นผู้สาธิตให้นักเรียนดูหรือเป็นภาระงานที่ครูกำหนดแนวทางให้นักเรียนดำเนินการศึกษาด้วยตนเอง แต่ก็ยังคงคอยอำนวยความสะดวกหรือเป็นผู้นำการอภิปรายในชั้นเรียน เช่นเดียวกับ Jenkins (1998); Leach (1998) และ Millar (1998) ให้ความหมายปฏิบัติการว่าเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้ทักษะ กระบวนการ และแนวปฏิบัติวิทยาศาสตร์ในการสำรวจตรวจสอบ โดยเริ่มตั้งแต่การตั้งคำถามหรือกำหนดปัญหา ออกแบบการทดลองหรือปฏิบัติการ ดำเนินการรวบรวมข้อมูล แล้วจึงนำผลที่ได้ไปสรุปและอภิปรายผล เพื่อสร้างองค์

ความรู้ขึ้นมาด้วยตนเอง โดยบทบาทของครูก็เป็นเพียงผู้อำนวยความสะดวกหรือเป็นผู้นำการอภิปรายในชั้นเรียนเช่นเดียวกัน ซึ่งจากนิยามชี้ให้เห็นว่าบทบาทปฏิบัติการในยุคแรกนั้นเป็นภาระงานที่แยกจากการจัดการเรียนรู้อย่างอิสระ ขณะที่ปัจจุบันบทบาทปฏิบัติการถูกมองว่าเป็นภาระงานที่แทรกอยู่ในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry) ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ศึกษาจึงเรียกการจัดการเรียนรู้ที่มีการนำบทบาทปฏิบัติการไปใช้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้บทบาทปฏิบัติการบนฐานของการสืบเสาะ (Inquiry-based practical work) (Wolf & Fraser, 2008; Akuma, 2017) ซึ่งมีจุดเด่นที่แตกต่างจากการสืบเสาะโดยทั่วไปคือ การได้มาซึ่งข้อมูลหรือหลักฐานที่จะนำไปใช้สร้างองค์ความรู้จากการทดลองหรือปฏิบัติการ (Lechtanski, 2000)

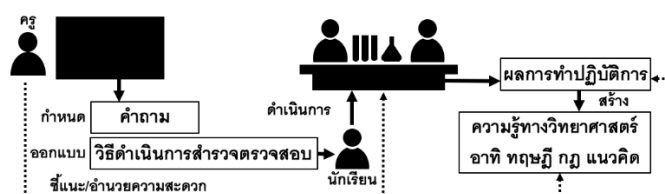
3.3 ลักษณะของบทบาทปฏิบัติการ

ลักษณะของบทบาทปฏิบัติการสามารถจำแนกได้หลายลักษณะตามเกณฑ์ที่นักวิทยาศาสตร์ศึกษาแต่ละท่านกำหนด โดย Schwab & Brandwein (1962) ได้จำแนกลักษณะของบทบาทปฏิบัติการออกเป็น 4 ลักษณะ ตามระดับของการสืบเสาะ คือ 1) บทบาทปฏิบัติการที่ทำการสืบเสาะเพื่อยืนยันความรู้ (Confirmatory practical work) เป็นบทบาทปฏิบัติการที่นักเรียนจะได้ดำเนินการเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หรือเปรียบเทียบว่าเป็นไปตาม กฎ ทฤษฎี หรือแนวคิดที่ได้เรียนไปก่อนหน้านั้นหรือไม่ (ภาพประกอบ 7 (ก)) 2) บทบาทปฏิบัติการที่ครูเป็นผู้กำหนดแนวทางการสืบเสาะ (Structured practical work) เป็นบทบาทปฏิบัติการที่ครูจะเป็นผู้กำหนดปัญหาและวิธีการสำรวจตรวจสอบให้กับนักเรียน เพื่อให้นักเรียนปฏิบัติตามแล้วนำผลมาสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (ภาพประกอบ 7 (ข)) 3) บทบาทปฏิบัติการที่นักเรียนและครูร่วมกันกำหนดแนวทางการสืบเสาะ (Guided practical work) เป็นบทบาทปฏิบัติการที่ครูจะทำหน้าที่เป็นผู้กำหนดปัญหา ในขณะที่นักเรียนจะเป็นผู้กำหนดวิธีการสำรวจตรวจสอบ แล้วจึงนำผลมาสร้างองค์ความรู้ (ภาพประกอบ 7 (ค)) และ 4) บทบาทปฏิบัติการที่นักเรียนเป็นผู้กำหนดแนวทางการสืบเสาะ (Opened practical work) เป็นบทบาทปฏิบัติการที่นักเรียนจะเป็นผู้กำหนดปัญหาและวิธีการสำรวจตรวจสอบด้วยตนเอง แล้วจึงนำผลมาสร้างองค์ความรู้ (ภาพประกอบ 7 (ง)) (Bybee, 2006)

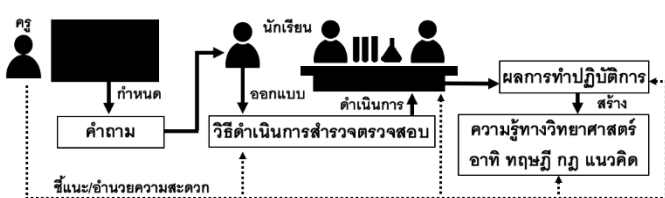
ส่วน Woolnough & Allsop (1985) ได้แบ่งลักษณะของบทบาทปฏิบัติการออกเป็น 4 กลุ่ม ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ คือ 1) บทบาทปฏิบัติการที่ใช้แสดงปรากฏการณ์ธรรมชาติ (Experience to feel phenomena) เป็นบทบาทปฏิบัติการที่เน้นให้นักเรียน (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นประถมศึกษา) ได้มีประสบการณ์ตรงกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น การใช้สเปรย์ฉีดน้ำให้เป็นละอองกลางแจ้ง เพื่อแสดงปรากฏการณ์รุ้งกินน้ำที่เกิดจากการหักเหของแสง โดยบทบาทปฏิบัติการ



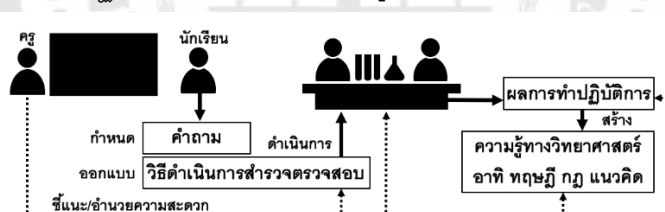
(ก) บทปฏิบัติการที่ทำการสืบเสาะเพื่อยืนยันความรู้



(ข) บทปฏิบัติการที่ครูเป็นผู้กำหนดแนวทางการสืบเสาะ



(ค) บทปฏิบัติการที่นักเรียนและครูร่วมกันกำหนดแนวทางการสืบเสาะ



(ง) บทปฏิบัติการที่นักเรียนเป็นผู้กำหนดแนวทางการสืบเสาะ

ภาพประกอบ 7 ลักษณะของบทปฏิบัติการที่จำแนกตามระดับของการสืบเสาะ

ลักษณะนี้จะเน้นให้นักเรียนเป็นผู้สังเกตปรากฏการณ์เป็นหลัก 2) บทปฏิบัติการที่ใช้อธิบายทฤษฎีและกฎ (Illustration of law and theory) เป็นบทปฏิบัติการที่เน้นให้นักเรียนได้ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่ากฎหรือทฤษฎีเป็นไปอย่างที่นักวิทยาศาสตร์กล่าวไว้หรือไม่ เช่น การทดลองที่นำน้ำมาต้มในหม้อความดันที่อุณหภูมิ 25, 50, 75, และ 100 องศาเซลเซียส โดยจดบันทึกค่าความดันทุกครั้งหลังจากเพิ่มอุณหภูมิไปแล้ว 10 นาที เพื่อแสดงให้นักเรียนเห็นและสามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความดันก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (กฎของเกย์-ลูสแซก) 3) บทปฏิบัติการที่ใช้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Exercise to practice skills and

procedure) เป็นบทปฏิบัติการที่เน้นการลงมือปฏิบัติตามขั้นตอนที่เป็นมาตรฐานของการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เช่น การฝึกใช้ปิเปตต์ในการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ และ 4) บทปฏิบัติการที่เน้นการทดลองหรือการสำรวจตรวจสอบ (Experiment/ investigation) เป็นบทปฏิบัติการที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง โดยจะให้นักเรียนได้คิด ตั้งคำถาม ออกแบบและดำเนินการสำรวจตรวจสอบ แล้วสร้างองค์ความรู้ขึ้นมาด้วยตนเอง ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นบทปฏิบัติการที่จำลองให้นักเรียนได้ทำงานอย่างนักวิทยาศาสตร์

3.4 การจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ

ในช่วงแรก (ปี 1818) บทปฏิบัติการมักมีลักษณะเป็นบทปฏิบัติการที่ทำการสืบเสาะเพื่อยืนยันความรู้ บทปฏิบัติการที่ใช้แสดงปรากฏการณ์ธรรมชาติ หรือบทปฏิบัติการที่ใช้อธิบายทฤษฎีและกฎ ดังนั้นการนำบทปฏิบัติการมาใช้จะนิยมจัดขึ้นหลังจากที่นักเรียนเรียนภาคบรรยายเสร็จสิ้นแล้ว (Jenkins, 1998) ดังนั้นบทบาทส่วนใหญ่ในชั้นเรียนจะอยู่ที่ครู ที่จะเป็นคนชี้ให้นักเรียนเห็นความสอดคล้องกันระหว่างทฤษฎีในหนังสือเรียนกับผลการทำปฏิบัติการท้ายคาบ ซึ่งเป็นการพัฒนาให้นักเรียนมีความรู้ในเนื้อหาเท่านั้น แต่ต่อมาจะเห็นได้ว่าบทปฏิบัติการจะถูกออกแบบมาให้เป็นภาระงานที่อยู่ภายใต้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

โดย Romey (1968) ที่ได้แบ่งชั้นการจัดการเรียนรู้ออกเป็น 3 ชั้น คือ 1) ชั้นอธิบายก่อนการทดลอง (Pre-lab experiment) เป็นชั้นที่ครูจะต้องชี้แจงวัตถุประสงค์ของการทำปฏิบัติการ รวมถึงคำถามที่สงสัยและวิธีการสำรวจตรวจสอบเพื่อตอบคำถามดังกล่าว (กรณีเป็นบทปฏิบัติการที่ครูเป็นผู้กำหนดแนวทางการสืบเสาะ) หรืออาจเป็นชั้นที่ครูจะต้องใช้คำถามเพื่อสร้างความสนใจของผู้เรียน หรือกระตุ้นให้ผู้เรียนตั้งคำถามที่เกี่ยวกับประเด็นที่กำลังศึกษา เพื่อนำไปสู่การออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบ (กรณีเป็นบทปฏิบัติการที่นักเรียนและครูร่วมกันกำหนดแนวทางการสืบเสาะ) 2) ชั้นทำการทดลอง (Lab activity) เป็นชั้นที่นักเรียนจะได้ลงมือทำการทดลองหรือปฏิบัติตามขั้นตอนที่ระบุไว้อย่างละเอียด (กรณีเป็นบทปฏิบัติการที่ครูเป็นผู้กำหนดแนวทางการสืบเสาะ) หรือลงมือทำการทดลองหรือปฏิบัติตามที่นักเรียนได้ออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบ (กรณีเป็นบทปฏิบัติการที่ครูเป็นผู้กำหนดแนวทางการสืบเสาะ) ส่วนครูก็จะทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก ชี้แนะและให้คำปรึกษากับนักเรียน และ 3) ชั้นอภิปรายหลังการทดลอง (Post-lab discussion) เป็นชั้นที่นักเรียนและครูจะนำผลที่ได้จากการทดลองหรือปฏิบัติตามมาอภิปรายและลงข้อสรุป เพื่อสร้างองค์ความรู้ขึ้นมาด้วยตนเอง

ขณะที่ Kuslan & Stone (1968) ได้แบ่งชั้นการจัดการเรียนรู้ออกเป็น 5 ชั้น คือ 1) ชี้นำเข้าสู่บทเรียน 2) ชั้นอธิบายก่อนการทดลอง 3) ชั้นทำการทดลอง 4) ชั้นอภิปรายหลังการ

ทดลอง และ 5) ขั้นขยายความรู้ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกับขั้นการจัดการเรียนรู้ของ Romey (1968) แต่จะมีการเพิ่มขั้นนำเข้าสู่บทเรียนที่แทรกมาก่อนขั้นอธิบายก่อนการทดลอง โดยในขั้นนี้ครูจะกระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำถามเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน ก่อนที่จะออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบเพื่อตอบคำถามดังกล่าวในขั้นอธิบายก่อนการทดลอง โดยหากวิธีการสำรวจตรวจสอบนั้นเป็นการทดลอง นักเรียนก็จะได้ฝึกตั้งสมมติฐาน กำหนดและควบคุมตัวแปรอีกด้วย ต่อมานักเรียนก็จะดำเนินการสำรวจตรวจสอบในขั้นทำการทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาอภิปรายและสร้างองค์ความรู้ขึ้นมาในขั้นอภิปรายหลังการทดลอง และปิดท้ายด้วยขั้นขยายความรู้ ที่นักเรียนจะได้นำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์อื่น ๆ ที่ใกล้เคียงกัน

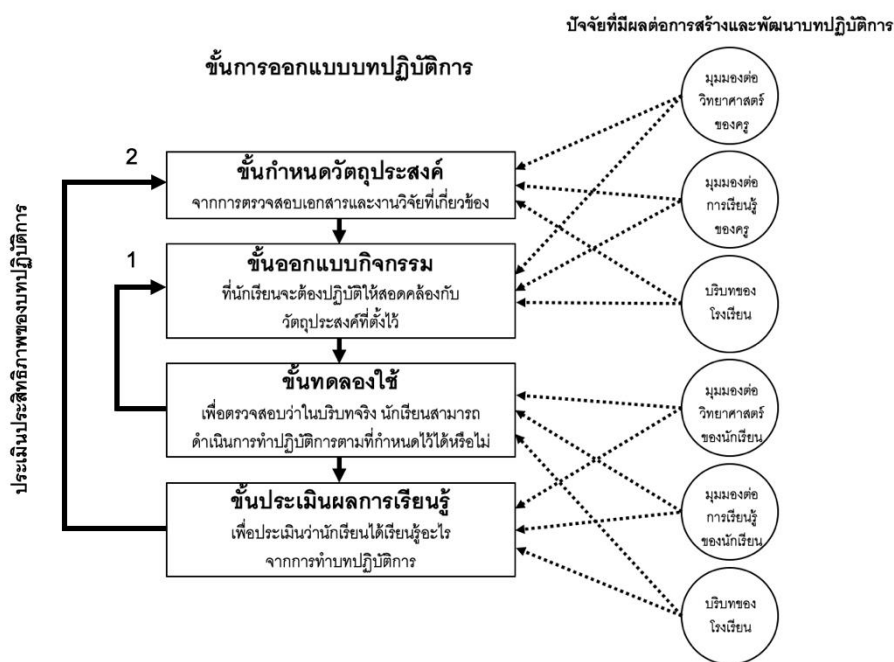
ต่อมา Bybee et al. (2006) ได้เสนอว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่มี 5 ขั้น คือ 1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นขั้นที่ครูจะต้องกระตุ้นให้นักเรียนสนใจเรื่องที่ กำลังจะเรียน แล้วให้นักเรียนตั้งคำถามที่ตนเองสงสัยขึ้นเกี่ยวกับประเด็นดังกล่าว 2) ขั้นสำรวจและ ค้นหา (Exploration) เป็นขั้นที่นักเรียนและครูจะร่วมกันนำประเด็นหรือคำถามที่สงสัยในขั้นแรก มาหาคำตอบด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การทำการทดลองหรือการทำปฏิบัติการ 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้นำผลการทดลองหรือปฏิบัติการ จากขั้นก่อนหน้า มาตีความและลงข้อสรุป เพื่อสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นมาเพื่อตอบ คำถามที่สงสัย 4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้นำความรู้ที่ได้ไปอธิบาย สถานการณ์หรือปรากฏการณ์ที่แปลกใหม่ และ 5) ขั้นประเมิน (Evaluation) เป็นขั้นที่ครู จะประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนตามจุดประสงค์ที่ได้วางไว้ว่าการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ ประสบความสำเร็จหรือไม่ โดยขั้นนี้ไม่จำเป็นต้องอยู่ขั้นสุดท้ายในวงจรการเรียนรู้เสมอไป การประเมินดังกล่าวสามารถแทรกเข้าไปอยู่ได้ในทุก ๆ ขั้น สำหรับตรวจสอบว่านักเรียนยังติดขัด ในขั้นอื่น ๆ หรือไม่ เพื่อที่ครูจะได้ปรับแก้ได้ตรงจุดและทันทั่วถึง

ซึ่งหากพิจารณารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เสนอมาททั้งหมดนี้ จะเห็นถึงการลดลง ของบทบาทของครู แล้วมาเพิ่มให้กับนักเรียนมากขึ้น เพื่อให้นักเรียนได้คิด ลงมือปฏิบัติ และซึมซับ ความเป็นนักวิทยาศาสตร์จากกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการศึกษาโลกธรรมชาตินี้ โดยการเพิ่มขึ้นของขั้นการจัดการเรียนรู้นี้จะช่วยทำให้นักเรียนเห็นภาพกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น

3.5 การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนา บทปฏิบัติการ ผู้วิจัยพบว่า Millar, Tiberghien, & Marechal (2002) ได้สร้างกรอบแนวคิดของการ

สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ โดยเริ่มจาก 1) กำหนดวัตถุประสงค์ (Objectives) ว่าต้องการจะให้นักเรียนได้เรียนรู้อะไร จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น หลักสูตรวิทยาศาสตร์หรือหนังสือเรียน 2) ออกแบบกิจกรรมที่นักเรียนจะต้องปฏิบัติให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ (Activity specification) ทั้งนี้ องค์ประกอบทั้งสองจะออกมาลักษณะใดนั้น ขึ้นอยู่กับมุมมองต่อวิทยาศาสตร์ (View of science) มุมมองต่อการเรียนรู้ (View of learning) ของครูและบริบทของโรงเรียน (Institutional context) ขึ้นต่อมา คือ 3) นำไปทดลองใช้ (Classroom events) เพื่อตรวจสอบว่าในบริบทจริง นักเรียนสามารถดำเนินการทำปฏิบัติการตามที่กำหนดไว้ได้หรือไม่ และ 4) ประเมินผลการเรียนรู้ (Learning outcomes) ว่านักเรียนได้เรียนรู้อะไรจากการทำบทปฏิบัติการ ซึ่งทั้งสององค์ประกอบนี้จะออกมาลักษณะใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับมุมมองต่อวิทยาศาสตร์ มุมมองต่อการเรียนรู้ ของนักเรียนและบริบทของโรงเรียนเช่นเดียวกัน ดังภาพประกอบ 8

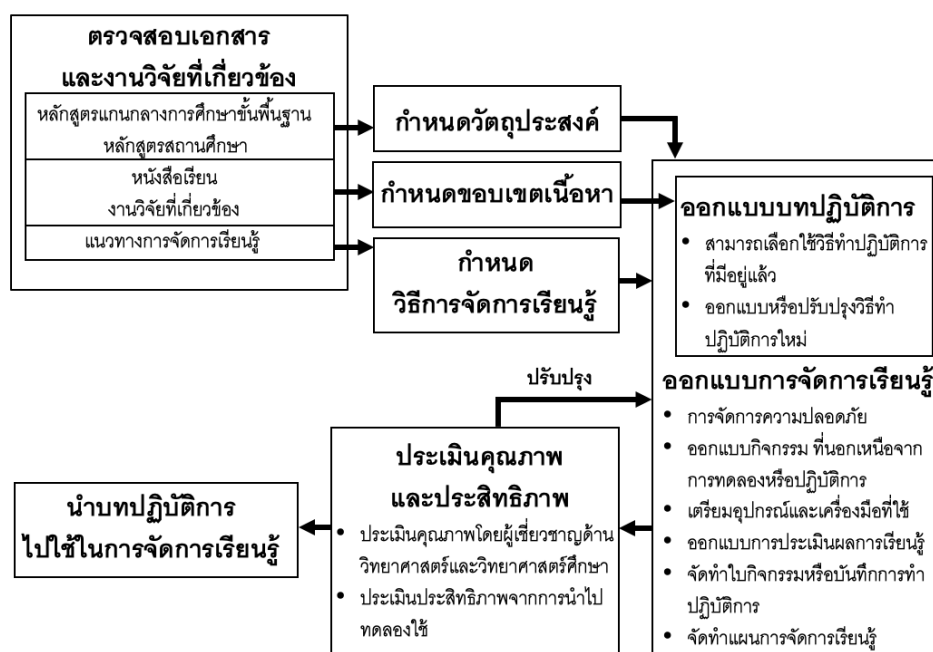


ภาพประกอบ 8 กรอบแนวคิดการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการของ

Millar, Tiberghien, & Marechal (2002)

ที่มา: Millar, R., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. F. (2002). Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. In Psillos, D. & Niederer, H. (Eds), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (Chapter 3, p. 9-20). Dordrecht: Springer.

อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยได้นำกรอบแนวคิดข้างต้นมาปรับให้เข้ากับบริบทของตนมากขึ้น โดยจะเริ่มต้นจากการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน หรือหลักสูตรสถานศึกษา เพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุประสงค์การจัดการเรียนรู้ที่ครอบคลุมมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด หรือผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง จากนั้นวิเคราะห์เนื้อหาสาระจากหนังสือเรียนและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ให้ได้เนื้อหาสาระที่ถูกต้องและเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาบทปฏิบัติการ อีกทั้งยังต้องศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ ให้ได้มาซึ่งวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสม แล้วจึงนำมาออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่แทรกภาระงานการทำปฏิบัติการไว้ใน ภายใน โดยบทปฏิบัติการที่จะนำมาใช้นั้นสามารถใช้บทปฏิบัติการที่มีอยู่แล้วในหนังสือหรือในงานวิจัย หรือครูสามารถนำวิธีปฏิบัติการดังกล่าวมาปรับปรุงหรือพัฒนาให้เหมาะกับบริบทของโรงเรียนได้เช่นเดียวกัน จากนั้นจึงนำบทปฏิบัติการไปประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งทางด้าน วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา จากนั้นนำไปทดลองใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อประเมิน ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ หากพบว่ามีข้อผิดพลาดก็จะต้องนำไปปรับปรุงแก้ไขก่อนที่จะนำไปใช้จริง (ภาพประกอบ 9)



ภาพประกอบ 9 กรอบแนวคิดการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

3.6 การประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

เนื่องจากบทปฏิบัติการค่อนข้างได้รับความนิยมในการนำไปใช้จัดการเรียนรู้ ในฐานะครูวิทยาศาสตร์ที่อาจจะเป็นผู้พัฒนาหรือเลือกใช้บทปฏิบัติการที่มีอยู่เดิมมาใช้ เราจะทราบได้อย่างไรว่าบทปฏิบัติการที่เราสร้างขึ้นหรือเลือกใช้นั้นมีคุณภาพและประสิทธิภาพ ทั้งนี้ Millar (2010) ได้นำกรอบแนวคิดในการสร้างบทปฏิบัติการของ Millar, Tiberghien, & Marechal (2002) (ภาพประกอบ 8) มาใช้ในการสร้างเครื่องมือประเมินคุณภาพและ ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ คือ แบบประเมินบทปฏิบัติการ (Practical activity analysis inventory: PAAI) ซึ่งประกอบด้วย การประเมิน 2 ส่วน คือ การประเมินคุณภาพ และ การประเมิน ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

สำหรับการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัตินั้น จะให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมิน โดยเน้นการประเมิน 3 ด้าน ได้แก่ 1) การประเมินด้านวัตถุประสงค์ 2) การประเมินด้านการออกแบบ และ 3) การประเมินด้านการนำไปใช้ ซึ่งองค์ประกอบย่อยของแต่ละด้าน ผู้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการสามารถกำหนดขึ้นเองได้ ยกตัวอย่างเช่น การประเมินด้านวัตถุประสงค์ จะประเมินเพื่อให้ทราบถึงเป้าหมายว่าท้ายที่สุดหลังจากนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ไปแล้ว นักเรียนจะต้องมีคุณลักษณะอย่างไร และคุณลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับที่หลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐานหรือหลักสูตรสถานศึกษากำหนดไว้หรือไม่ ส่วนการประเมินด้านการ ออกแบบ จะประเมินว่าโครงสร้าง องค์ประกอบ และเนื้อหาของบทปฏิบัติการถูกต้องและครบถ้วนหรือไม่ ส่วนการประเมินด้านการนำไปใช้ เป็นการประเมินเพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ว่าบท ปฏิบัติการที่ออกแบบมานี้ สามารถพัฒนานักเรียนได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่ (ภาพประกอบ 10)

ส่วนการประเมินประสิทธิภาพนั้น จะทำการประเมิน 2 ด้าน คือ 1) ประสิทธิภาพ ด้านที่ 1 เป็นการประเมินว่านักเรียนสามารถดำเนินการตามที่ระบุไว้ได้ หรือภาระงานที่ให้นั้นยากเกินไปหรือไม่ เช่น หากผู้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการกำหนดให้นักเรียนต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูการกินอาหารของพารามีเซียม แต่พบว่าเมื่อนำบทปฏิบัติการไปทดลองใช้ กลับไม่มีนักเรียน คนใดที่สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูพารามีเซียมได้เลย เนื่องจากนักเรียนยังไม่มี ความชำนาญในการใช้กล้องจุลทรรศน์และพารามีเซียมว่ายน้ำค่อนข้างเร็ว แสดงให้เห็นว่าบทปฏิบัติการยังไม่มี ประสิทธิภาพด้านที่ 1 และ 2) ประสิทธิภาพด้านที่ 2 เป็นการประเมินว่านักเรียนได้เรียนรู้ตามที่ วัตถุประสงค์ได้กำหนดไว้หรือไม่ โดยสามารถใช้แบบวัดหรือแบบทดสอบมาเป็นเครื่องมือที่จะช่วย บ่งชี้ประสิทธิภาพด้านดังกล่าว โดยการนำผลสอบไปเทียบเกณฑ์ เช่น หากมีนักเรียนมากกว่า

ร้อยละ 50 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับสูง แสดงว่าบทปฏิบัติการนี้มีประสิทธิภาพ
 ด้านที่ 2 ในระดับสูง (ภาพประกอบ 11)

เกณฑ์ในการพิจารณา

- ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง +1 เมื่อท่านเห็นด้วยว่าบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีสอดคล้องกับตัวชี้วัดคุณภาพของบทปฏิบัติการที่กำหนดไว้ และเหมาะสมต่อการนำไปใช้
- ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง 0 เมื่อท่านไม่แน่ใจว่าบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นสอดคล้องกับตัวชี้วัดคุณภาพของบทปฏิบัติการที่กำหนดไว้ และเหมาะสมต่อการนำไปใช้หรือไม่
- ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่อง -1 เมื่อท่านไม่เห็นด้วยว่าบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับตัวชี้วัดคุณภาพของบทปฏิบัติการที่กำหนดไว้ และเหมาะสมต่อการนำไปใช้

บทปฏิบัติการที่.....

คุณภาพบทปฏิบัติการเพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต	เห็นด้วย (+1)	ไม่แน่ใจ (0)	ไม่เห็นด้วย (-1)	ข้อเสนอแนะ
ด้านที่ 1 การกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้				
1. จุดประสงค์การเรียนรู้ของบทปฏิบัติการสอดคล้องกับผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ในสาระชีววิทยา (เรื่อง ระบบย่อยอาหาร) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)				
ด้านที่ 2 การสร้างและออกแบบบทปฏิบัติการ				
1. ความรู้หรือเนื้อหาที่นำมาสร้างบทปฏิบัติการมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และมีความเหมาะสมกับกลุ่มนักเรียน				
2. ทักษะหรือการปฏิบัติที่นำมาสร้างบทปฏิบัติการมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และมีความเหมาะสมกับกลุ่มนักเรียน				
3. โครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการครบถ้วนสมบูรณ์				

ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างแบบประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ

ประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต	ระดับสูง (3)	ระดับปานกลาง (2)	ระดับต่ำ (1)
ประสิทธิภาพด้านที่ 1			
นักเรียนสามารถออกแบบวิธีการทำปฏิบัติการได้			
หลังจากพิจารณาแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง			
นักเรียนสามารถใช้เครื่องมือ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ และสารเคมีได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย			
นักเรียนสามารถปฏิบัติตามวิธีทำปฏิบัติการได้			
นักเรียนได้ผลการทำปฏิบัติการที่ถูกต้องและสอดคล้องกับทฤษฎี			
นักเรียนใช้เวลาในการทำปฏิบัติการตามที่กำหนด			
นักเรียนสามารถสรุปผลการทดลองได้			
ประสิทธิภาพด้านที่ 1 โดยภาพรวม			
ประสิทธิภาพด้านที่ 2	ระดับประสิทธิภาพ		
นักเรียนมากกว่าร้อยละ 50 มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี	☐ ระดับสูง		
นักเรียนน้อยกว่าร้อยละ 50 มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี	☐ ระดับปานกลาง		
ไม่มีนักเรียนคนใดมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี	☐ ระดับต่ำ		

ภาพประกอบ 11 แบบประเมินประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ

4. การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ มีประเด็นที่นำเสนอ 6 ประเด็นได้แก่ 1) ความสำคัญของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 2) ความหมายของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 3) ธรรมชาติของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 4) องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 5) การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ 6) การวัดและประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ความสำคัญของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ในการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ ผลผลิตขั้นสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการสืบเสาะคือการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบมาวิเคราะห์แล้วสรุปผล สร้างเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ได้ศึกษาว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร มีหลักฐานใดมาสนับสนุนสิ่งที่กล่าวอ้าง รวมถึงให้เหตุผลได้สอดคล้องกับหลักฐานที่มีหรือเป็นไปตามกฎทฤษฎี หรือหลักการทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นผ่านกระบวนการสืบเสาะจึงเป็นคำอธิบายที่ได้รับการยอมรับในสังคมนักวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุนี้การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงถูกมองว่าเป็นแนวปฏิบัติที่สำคัญในกระบวนการสืบเสาะ (National Research Council, 1996) นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจึงได้นำกระบวนการสืบเสาะมาใช้จัดประสบการณ์การเรียนรู้ให้กับนักเรียน โดยหวังว่าจะช่วยพัฒนาให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เนื่องจากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ช่วยให้นักเรียนมีความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่ดีขึ้น ในขณะเดียวกันยังช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนมุมมองจากที่มองวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่ท่องจำไปเป็นวิชาที่ใช้สร้างองค์ความรู้ (Bell & Linn, 2000; Zohar & Nemet, 2002)

การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ถูกให้ความสำคัญโดยครู นักวิทยาศาสตร์ศึกษาและหน่วยงานด้านการศึกษาในหลายประเทศ อาทิ มาตรฐานการรู้วิทยาศาสตร์ของสหรัฐอเมริกาที่ระบุใน Benchmarks for Scientific Literacy ว่าการสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ คือกระบวนการที่ใช้ความรู้ ทักษะ และวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการทดลองหรือปฏิบัติการเพื่อรวบรวมเอาหลักฐานที่ได้ มาสรุปเพื่อสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับหลักฐานที่มี ดังนั้นการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงเป็นหนึ่งในสมรรถนะที่นักเรียนต้องมี (American Association for the Advancement of Science, 1991) ในขณะที่มาตรฐานและตัวชี้วัดวิชาวิทยาศาสตร์ของสหรัฐอเมริกาได้กล่าวถึงการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ใน National Science Education Standards (NSES) ในมิติที่กว้างกว่ามาตรฐานการรู้วิทยาศาสตร์

โดยกล่าวว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จะถูกต้องและน่าเชื่อถือนั้น จะต้องผ่านการตรวจสอบและประเมินคำอธิบายดังกล่าวจากนักวิทยาศาสตร์ท่านอื่นในสังคมนักวิทยาศาสตร์ โดยการตรวจสอบ ประเมิน และเปรียบเทียบหลักฐาน หรือการให้เหตุผล หากพบข้อผิดพลาด จะต้องปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง ซึ่งหมายความว่านักเรียนจะต้องใช้กระบวนการเดียวกันกับนักวิทยาศาสตร์ ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (National Research Council, 1996) และแม้ว่ากระแสการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 จะทำให้ภาคการศึกษาหันมาให้ความสำคัญกับเรื่องทักษะหรือสมรรถนะในศตวรรษที่ 21 เพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่ได้ลดความสำคัญของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ลงแต่อย่างใด โดยจะเห็นได้จากมาตรฐานและตัวชี้วัดวิชาวิทยาศาสตร์ใหม่ของสหรัฐอเมริกา นั่นคือ Next Generation Science Standards (NGSS) ซึ่งมีการบรรจุแนวปฏิบัติที่สำคัญในการเรียนวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 นั่นคือ แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม (Science and Engineering Practice) ซึ่งหนึ่งในแนวปฏิบัติเหล่านั้นก็ยังคงมีการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (National Research Council, 2013) เช่นเดียวกับองค์กรเพื่อความร่วมมือและพัฒนาทางเศรษฐกิจได้ใช้การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นกรอบในการประเมินการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน (OECD, 2009)

4.2 ความหมายของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบว่ามีหน่วยงาน นักวิชาการและ นักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้ให้ความหมายของคำว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ไว้หลายลักษณะ อาทิ สภาการวิจัยแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council) ได้ให้ความหมายของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ว่าเป็นคำอธิบายที่ถูกต้อง สะท้อนผลการสังเกต และการทดลองในเชิงประจักษ์ คำอธิบายนั้น จะต้องมาจากการให้เหตุผลเชิงตรรกะที่สอดคล้องกับหลักฐานที่ได้มาจากการค้นคว้า (National Research Council, 1996) ในขณะที่ Bybee (2006) กล่าวว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นการอธิบายที่เกิดจากการให้เหตุผลในเชิงตรรกะ (Logical reasoning) กับชุดข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบที่นำไปสู่การสร้างข้อกล่าวอ้างที่น่าเชื่อถือ ส่วน McNeill & Krajcik (2007) กล่าวว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นการตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ เพื่อรายงานผลการศึกษาปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ ที่นักเรียนใช้หลักฐาน เหตุผล และความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อสนับสนุนคำอธิบายดังกล่าว นอกจากนี้ Beyer & Davis (2008) กล่าวว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นการเชื่อมโยง ระหว่างข้อมูลกับข้อกล่าวอ้าง และ เชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์กับผลการสังเกตทาง วิทยาศาสตร์ ตามลำดับ

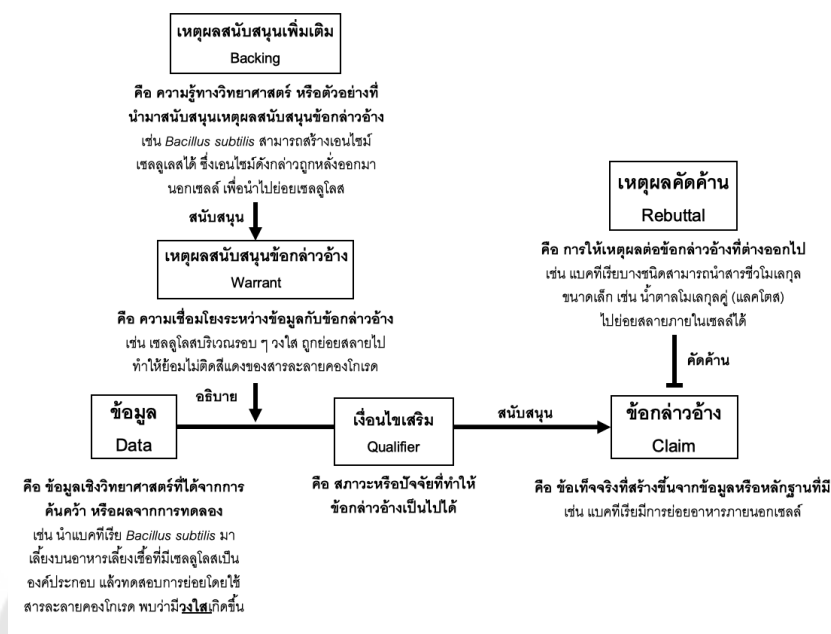
4.3 ธรรมชาติของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ธรรมชาติของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะ ขึ้นกับเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนก โดยจากที่ผู้วิจัยได้สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า Driver, Newton & Osborne (2000) ได้เสนอธรรมชาติของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ตามรูปแบบการให้เหตุผล ประกอบด้วย 1) คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มาจาก การให้เหตุผลโดยใช้ปรากฏการณ์เป็นฐาน (Phenomenon-based reasoning) เป็นคำอธิบายที่เน้นบรรยายปรากฏการณ์ที่ได้สังเกต 2) คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มาจาก การให้เหตุผลโดยมองความเชื่อมโยงสัมพันธ์เป็นฐาน (Relation-based reasoning) เป็นคำอธิบายที่แสดงให้เห็นความเชื่อมโยงเชิงสาเหตุหรือความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ที่สังเกตกับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และ 3) คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มาจาก การให้เหตุผลโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based reasoning) เป็นคำอธิบายที่ไม่ได้สร้างจากหลักฐานที่ได้จากการสังเกตเพียงอย่างเดียว แต่มีการเชื่อมโยงไปถึงทฤษฎีหรือแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ก่อน เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือให้กับคำอธิบายมากขึ้น ในขณะที่ Veal (1997) ได้เสนอลักษณะของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไว้ 6 ลักษณะ คือ 1) คำอธิบายแสดงลำดับเหตุการณ์ (Sequential explanation) เป็นคำอธิบายเพื่อบ่งบอกลำดับเหตุการณ์ของปรากฏการณ์ 2) คำอธิบายความเชื่อมโยงเชิงสาเหตุ (Causal explanation) เป็นคำอธิบายที่แสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์นั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร 3) คำอธิบายกระบวนการ (Factorial explanation) เป็นคำอธิบายกลไกหรือกระบวนการ 4) คำอธิบายผลกระทบ (Consequential explanation) เป็นคำอธิบายผลกระทบหรือผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหนึ่ง ๆ 5) คำอธิบายทฤษฎี (Theoretical explanation) เป็นคำอธิบายที่เน้นบรรยายทฤษฎีหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่อยู่เบื้องหลังการเกิดปรากฏการณ์หนึ่ง ๆ และ 6) คำอธิบายการค้นพบ (Exploration explanation) เป็นคำอธิบายที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการของการอธิบาย เมื่อมีคำอธิบายมากกว่าหนึ่ง คำอธิบายสามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์เดียวกันได้

4.4 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

นักวิทยาศาสตร์สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกระบวนการโต้แย้ง ที่ใช้ข้อมูล (Data) ที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบ มาสร้างข้อกล่าวอ้าง (Claim) แล้วจึงให้เหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง (Warrant) ซึ่งหากยังไม่มีน้ำหนักมากพอต้องให้เหตุผลสนับสนุนเพิ่มเติม (Backing) พร้อมระบุเงื่อนไขเสริม (Qualifier) เพื่อบ่งบอกเงื่อนไขในการลงข้อสรุปไปสร้างข้อกล่าวอ้าง อีกทั้งหาเหตุผลคัดค้าน (Rebuttal) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อกล่าวอ้าง

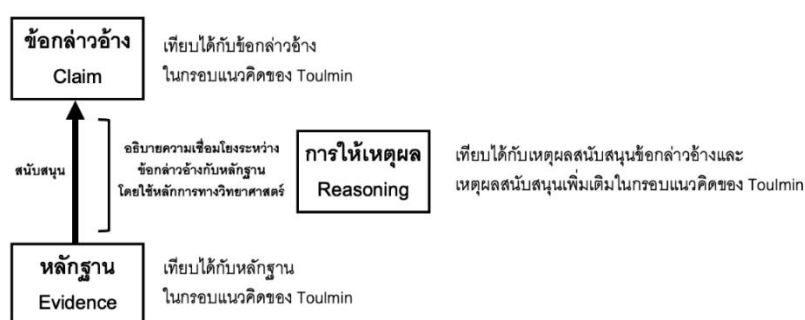
ที่สร้างขึ้น ซึ่งท้ายที่สุดของกระบวนการนี้ จะได้มาซึ่งคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องสมบูรณ์
ดังภาพประกอบ 12



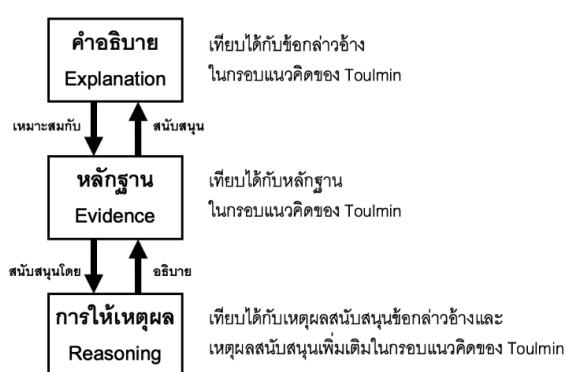
ภาพประกอบ 12 องค์ประกอบของการโต้แย้งของ Toulmin

แต่หากพิจารณาถึงองค์ประกอบภายในกระบวนการดังกล่าว จะเห็นได้ว่ามีความซับซ้อนเกินกว่าที่จะนำมาใช้ในห้องเรียน นักวิทยาศาสตร์ศึกษาจึงได้ลดองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ลงให้เหมาะสมกับบริบทของห้องเรียนมากขึ้น โดย Toulmin (2003) ได้แบ่งองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ออกเป็น 3 องค์ประกอบ คือ 1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) คือ ข้อเท็จจริงที่สร้างขึ้นจากข้อมูลหรือหลักฐานที่มีอยู่ 2) ข้อสนับสนุน (Support) คือ การแสดงความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลที่มีกับข้อกล่าวอ้าง และ 3) ส่วนขยาย (Qualifier) คือส่วนที่แสดงให้เห็นว่าข้อกล่าวอ้างและข้อสนับสนุนสอดคล้องกันอย่างไร ต่อมา McNeill & Krajcik (2006) ได้อธิบายองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยปรับปรุงจากรูปแบบการโต้แย้ง (Toulmin's argumentation pattern) ของ Toulmin (2003) โดยแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) เป็นคำตอบ ข้อยืนยัน หรือข้อสรุปเบื้องต้นของคำถามที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่นักเรียนต้องการค้นคว้าหาคำตอบ 2) หลักฐาน (Evidence) ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ได้มาจากการสำรวจ ตรวจสอบ การทดลอง การสังเกต หรือการศึกษา ค้นคว้าจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ นักเรียนจะต้อง คัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือเพื่อ

สนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตน 3) การให้เหตุผล (Reasoning) เป็นข้อความที่แสดงถึงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ (ภาพประกอบ 13) ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของ Sampson & Clark (2009) แต่จะเรียกข้อกล่าวอ้างว่าคำอธิบาย (Explanation) โดยรายละเอียดขององค์ประกอบนั้นคล้ายคลึงกัน (ภาพประกอบ 14)



ภาพประกอบ 13 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของ McNeill & Krajcik (2006)



ภาพประกอบ 14 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของ Sampson & Clark (2009)

4.5 การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีอยู่หลากหลายรูปแบบด้วยกัน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปลักษณะการจัดการเรียนรู้ รวมไปถึงข้อดี และข้อเสียแสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 วิธีการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

นักวิจัย	วิธีการจัดการเรียนรู้	ลักษณะการจัดการเรียนรู้
สันติชัย อนุวรชัย (2553)	การจัดการเรียนรู้แบบ สืบเสาะร่วมกับกลวิธีการ โต้แย้ง (Argument-driven inquiry approach)	เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ไม่เพียงแต่เน้นให้นักเรียนได้รวบรวมข้อมูลหรือหลักฐานจากการทดลอง ปฏิบัติการ หรือการค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล มาใช้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ แต่ยังเน้นให้นักเรียนได้ดำเนินการโต้แย้งเพื่อประเมินว่าหลักฐานที่นำมาใช้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีความน่าเชื่อถือหรือไม่ เพื่อที่จะได้ข้อสรุปที่น่าเชื่อถือร่วมกัน ข้อดี: นักเรียนได้ใช้การโต้แย้งเพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของหลักฐาน ข้อเสีย: หากนักเรียนไม่กล้าแสดงความคิดเห็น ก็อาจทำให้เกิดความล่าช้าในการประเมินหลักฐานก่อนที่จะนำไปสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
Peker & Wallace (2011)	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ บทปฏิบัติการบนฐานของ การสืบเสาะ (Inquiry-based practical work)	เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำการสำรวจตรวจสอบ โดยการทดลองหรือปฏิบัติการ แล้วนำผลการสำรวจตรวจสอบมาสรุปและอภิปรายผล แล้วจึงสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อดี: นักเรียนได้ใช้หลักฐานปฐมภูมิที่ได้จากการทดลองหรือปฏิบัติการมาใช้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อเสีย: หากผลการสำรวจตรวจสอบผิดพลาด จากการที่วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องมือไม่ได้คุณภาพ หรือวิธีการทดลองที่ไม่ถูกต้อง จะทำให้คำอธิบายเชิง

ตาราง 2 (ต่อ)

นักวิจัย	วิธีการจัดการเรียนรู้	ลักษณะการจัดการเรียนรู้
		วิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นจากความ น่าเชื่อถือ
Yang & Wang (2014)	การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการ เขียนเชิงวิทยาศาสตร์ผนวก การทำแผนผังความคิด (Descriptive explanation writing activity, Concept mapping, and Interpretive explanation writing activity; DCI)	เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ไม่ได้เน้นให้ นักเรียนได้ลงมือสำรวจตรวจสอบโดยการ ทดลองหรือปฏิบัติการ แต่จะเน้นการนำ ข้อมูลทฤษฎีที่ได้จากการสืบค้นมาใช้ใน การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดย นักเรียนจะต้องช่วยกันนำข้อมูลที่สืบค้น มาสร้างเป็นแผนผังความคิด เพื่อจำแนก ว่าข้อมูลใดจัดเป็นข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และเหตุผลสนับสนุนตามลำดับ แล้วจึง เรียบเรียงออกมาเป็นคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ ข้อดี: การเขียนผังความคิด ช่วยให้ นักเรียนเรียบเรียงความคิดได้ดี ก่อนนำไป สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อเสีย: การใช้ข้อมูลทฤษฎีที่ได้จากการ สืบค้นต้องมาจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ จึงจะทำให้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ น่าเชื่อถือ
พัฒน์ดา มีลา และ ร่วมเกล้า อาจเดช (2560)	การจัดการเรียนรู้ แบบสืบเสาะโดยใช้ แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based inquiry learning)	เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนจะได้ ดำเนินการสำรวจตรวจสอบ ไม่ว่าจะเป็น การทดลองหรือปฏิบัติการ การสืบค้น ข้อมูลจากแหล่งข้อมูล แล้วนำมาสร้าง แบบจำลองสำหรับใช้อธิบาย ปรากฏการณ์ที่ศึกษา

ตาราง 2 (ต่อ)

นักวิจัย	วิธีการจัดการเรียนรู้	ลักษณะการจัดการเรียนรู้
		ข้อดี: การสร้างแบบจำลองจะช่วยเพิ่มความเข้าใจของนักเรียนต่อปรากฏการณ์ที่แบบจำลองนั้น ๆ สามารถอธิบายได้ ข้อเสีย: ธรรมชาติของเนื้อหาบางเรื่อง อาจไม่เหมาะที่จะนำแบบจำลองมาใช้ในการอธิบาย
กรรณก เลิศเดชาภัทร และ ปริญดา ลิมนานนท์ (2561)	การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ แบบร่วมมือ รวมพลัง (Collaborative inquiry)	เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ รูปแบบหนึ่ง ที่เน้นให้นักเรียนได้ช่วยกัน ดำเนินการสำรวจตรวจสอบ เป็นกลุ่ม ข้อดี: นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการสำรวจ ตรวจสอบ เนื่องจากมีกระบวนการที่ให้นักเรียน ได้สืบเสาะด้วยตนเองก่อนที่จะนำข้อมูลไป นำเสนอให้กับกลุ่ม เพื่อประเมินและคัดเลือก ข้อมูลที่น่าสนใจได้ไปสืบค้นมา ไปใช้เป็น หลักฐานในการสร้างคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ ข้อเสีย: เนื่องจากกิจกรรมเน้นที่ร่วมมือกัน สืบเสาะให้ได้หลักฐานที่น่าเชื่อถือ แต่ไม่ได้เน้น การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาให้เหตุผล จึง ทำให้องค์ประกอบดังกล่าวยังพัฒนาได้ไม่ดี เท่าที่ควร
เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ เอกภูมิ จันท- ขันตี	การจัดการเรียนรู้แบบ สืบเสาะ 5 ขั้น (5 Es instructional model)	เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้ ดำเนินการสำรวจตรวจสอบ ไม่ว่าจะเป็นการ ทดลองหรือปฏิบัติการ การสืบค้นข้อมูลจาก แหล่งข้อมูล แล้วนำมาอภิปราย

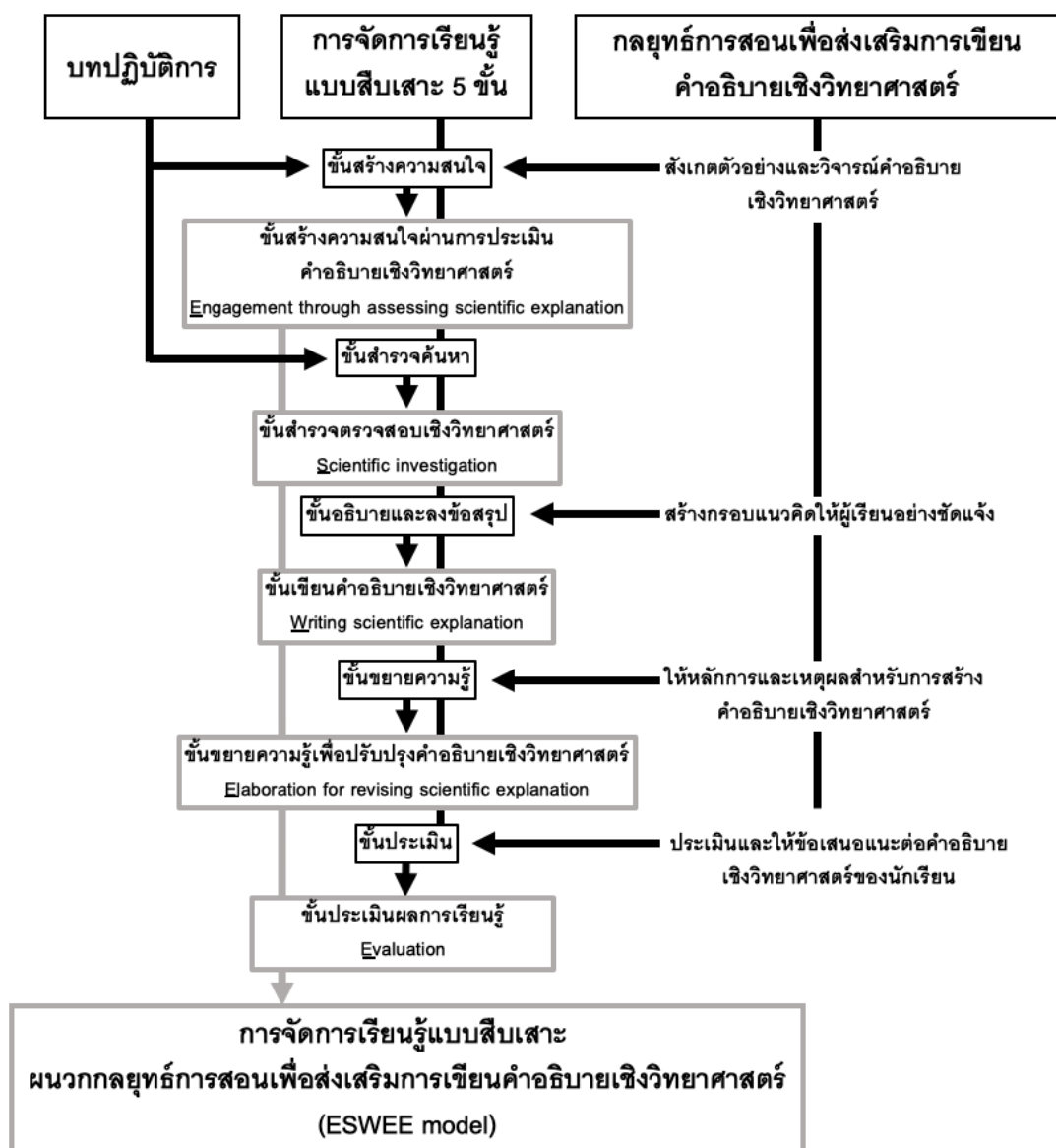
ตาราง 2 (ต่อ)

นักวิจัย	วิธีการจัดการเรียนรู้	ลักษณะการจัดการเรียนรู้
และสุรศักดิ์ เชียงกา (2561)		ร่วมกันเพื่อตรวจสอบและประเมิน หลักฐานก่อนจะนำมาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้นักเรียนยังมีโอกาสได้นำคำอธิบายที่สร้างขึ้นไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ในบริบทที่ต่างออกไป เพื่อเป็นการขยายความรู้อีกด้วย ข้อดี: นักเรียนจะเห็นกระบวนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน ตั้งแต่การกำหนดปัญหาในชั้นสร้างความสนใจ การสำรวจตรวจสอบในชั้นสำรวจค้นหา และสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในชั้นอธิบายและลงข้อสรุปเป็นต้น ข้อเสีย: การใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากการทดลองหรือปฏิบัติการ และการใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือก็จะทำให้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไม่น่าเชื่อถือเช่นกัน

แม้ว่าจะมีรูปแบบการจัดการเรียนรู้หลากหลายรูปแบบที่สามารถพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ แต่รูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมุ่งเน้นที่การสืบเสาะเพื่อหาหลักฐานมาใช้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากกว่าการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาให้เหตุผลเชื่อมโยงไปสู่ข้อกล่าวอ้าง ทำให้นักเรียนยังมีความยากลำบากในการให้เหตุผลอยู่ McNeill & Krajcik (2008) จึงได้เสนอกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ที่จะช่วยพัฒนานักเรียนในทุกองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ คือ 1) สร้างกรอบแนวคิดให้กับผู้เรียนอย่างชัดเจน (Making the framework explicit) กล่าวคือ ครูจะต้องอธิบายให้นักเรียนเข้าใจองค์ประกอบทั้ง 3 ของคำอธิบายเชิง

วิทยาศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นด้านข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล อย่างชัดเจน 2) สังเกตตัวอย่างและวิจารณ์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Modeling and critiquing explanation) ครูจะต้องนำคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีและไม่ดีมาให้นักเรียนร่วมกันวิจารณ์ในชั้นเรียนเพื่อที่เขาจะได้รู้ว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีนั้นมีลักษณะอย่างไร 3) ให้หลักการและเหตุผลสำหรับการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Providing a rationale for creating explanation) โดยครูต้องทำให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 4) เชื่อมโยงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์กับการอธิบายในชีวิตประจำวัน (Connecting to everyday explanation) และ 5) ประเมินและให้ข้อเสนอแนะต่อคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (Assessing and providing feedback to students) ครูต้องประเมินและให้ข้อเสนอแนะต่อคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้น ให้เขาทราบถึงข้อดีและข้อผิดพลาดของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของตนเอง เพื่อที่จะได้นำข้อบกพร่องดังกล่าวไปปรับปรุงให้ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยเล็งเห็นความเป็นไปได้ที่จะนำบทปฏิบัติการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น และกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ มาพัฒนาเป็นจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ESWEE model) (ภาพประกอบ 15) ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 5 ขั้น คือ 1) ขั้นสร้างความสนใจผ่านการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Engagement through assessing scientific explanation) 2) ขั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific investigation) 3) ขั้นเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Writing scientific explanation) 4) ขั้นขยายความรู้เพื่อปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Elaboration for revising scientific explanation) และ 5) ขั้นประเมินผลการเรียนรู้ (Evaluation) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น แต่ผู้วิจัยได้นำเอาบทปฏิบัติการและกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แต่ละข้อ มาผนวกเข้ากับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่มีเป้าประสงค์คล้ายกัน อาทิ ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป มีเป้าประสงค์เพื่อให้นักเรียนนำหลักฐานที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบในขั้นก่อนหน้ามาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้น ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าการที่นักเรียนจะเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ จำเป็นจะต้องรู้กรอบแนวคิดของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงหยิบยกกลยุทธ์ที่ครูจะต้องสร้างกรอบแนวคิดให้ผู้เรียนอย่างชัดเจน มาใช้ขั้นนี้



ภาพประกอบ 15 ที่มาของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปเป้าประสงค์ในแต่ละขั้นของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ รวมถึงบทบาทของครูและ
นักเรียน แสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 เป้าประสงค์ บทบาทของครู และนักเรียนในแต่ละชั้นของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ชั้นการจัดการเรียนรู้	เป้าประสงค์	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
ขั้นสร้างความสนใจผ่านการประเมิน	นักเรียนต้องเข้าใจกรอบแนวคิดของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ผ่านการพิจารณาและประเมินตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ครูให้มา อีกทั้งยังต้องเข้าใจปัญหาหรือคำถามที่กำลังจะดำเนินการสำรวจตรวจสอบและสามารถออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบใหม่ที่จะได้มาซึ่งหลักฐานที่จะนำไปใช้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ	นำการทดลองหรือปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่กำลังจะเรียนมาให้ให้นักเรียนพิจารณาพร้อมกับคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่อธิบายเกี่ยวกับการทดลองหรือปฏิบัติการนั้น ๆ แล้วให้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนแสดงความคิดเห็น เพื่อประเมินตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ดังกล่าวว่าสมเหตุสมผลหรือไม่อย่างไร พร้อมทั้งค่อย ๆ สร้างกรอบแนวคิดของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากการอภิปรายในชั้นเรียน และเนื่องจากบททดลองหรือบทปฏิบัติการที่ครูให้มา ช่างต้น มักมีข้อบกพร่องอยู่ ทำให้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้ยังไม่ถูกต้อง ดังนั้นครู	ให้ความสนใจและแสดงความคิดเห็นของตนเองออกมาเพื่อให้เกิดการอภิปรายในชั้นเรียน ซึ่งจะทำให้เห็นภาพของกรอบแนวคิดของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ชัดเจนขึ้น อีกทั้งต้องพิจารณาการทดลองหรือปฏิบัติการที่ครูให้มาว่ามีข้อบกพร่องประการใดจึงทำให้ได้มาซึ่งคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ไม่ถูกต้อง แล้วร่วมกันอภิปรายเพื่อออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบใหม่ให้ได้มาซึ่งหลักฐานที่จะนำไปใช้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ

ตาราง 3 (ต่อ)

ชั้นการจัดการเรียนรู้	เป้าประสงค์	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
		จะต้องกระตุ้นให้นักเรียน ออกแบบวิธีการสำรวจ ตรวจสอบใหม่ ที่จะได้มาซึ่ง หลักฐานที่จะนำไปใช้สร้าง คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ ถูกต้องและน่าเชื่อถือ	
ชั้นสำรวจ ตรวจสอบเชิง วิทยาศาสตร์	นักเรียนสามารถ ดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบโดยใช้ การทดลองหรือ ปฏิบัติการให้ ได้มาซึ่งหลักฐาน ที่น่าเชื่อถือ	กำกับดูแลความปลอดภัยใน การทำการทดลองหรือ ปฏิบัติการของนักเรียน อีกทั้งคอยตรวจสอบขั้นตอน การทำการทดลองหรือ ปฏิบัติการให้ถูกต้องเพื่อให้ ได้ผลการศึกษาที่น่าเชื่อถือ	ดำเนินการทดลองหรือ ปฏิบัติการตามขั้นตอน โดยละเอียด เพื่อให้ ได้ผลที่ถูกต้องและ น่าเชื่อถือ อีกทั้งยังต้อง บันทึกผลไว้อย่าง ละเอียดไม่ว่าจะเป็น การจดบันทึก ถ่ายภาพ หรือบันทึกวีดิทัศน์
ชั้นเขียน คำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์	นักเรียนจะต้อง สามารถนำ หลักฐานที่ รวบรวมได้จากชั้น สำรวจตรวจสอบ เชิงวิทยาศาสตร์ มาสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	สร้างกรอบแนวคิดในการ เขียนคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน แล้ว เปิดโอกาสให้นักเรียนลอง เขียนคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ด้วยตนเองก่อน ในช่วงแรก แล้วหากพบว่า นักเรียนมีความยากลำบากใน การเขียน	ทำความเข้าใจกรอบ แนวคิดในการเขียน คำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ แล้วนำมาใช้สร้าง คำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์จาก หลักฐานที่ได้มาจาก ชั้นก่อนหน้า

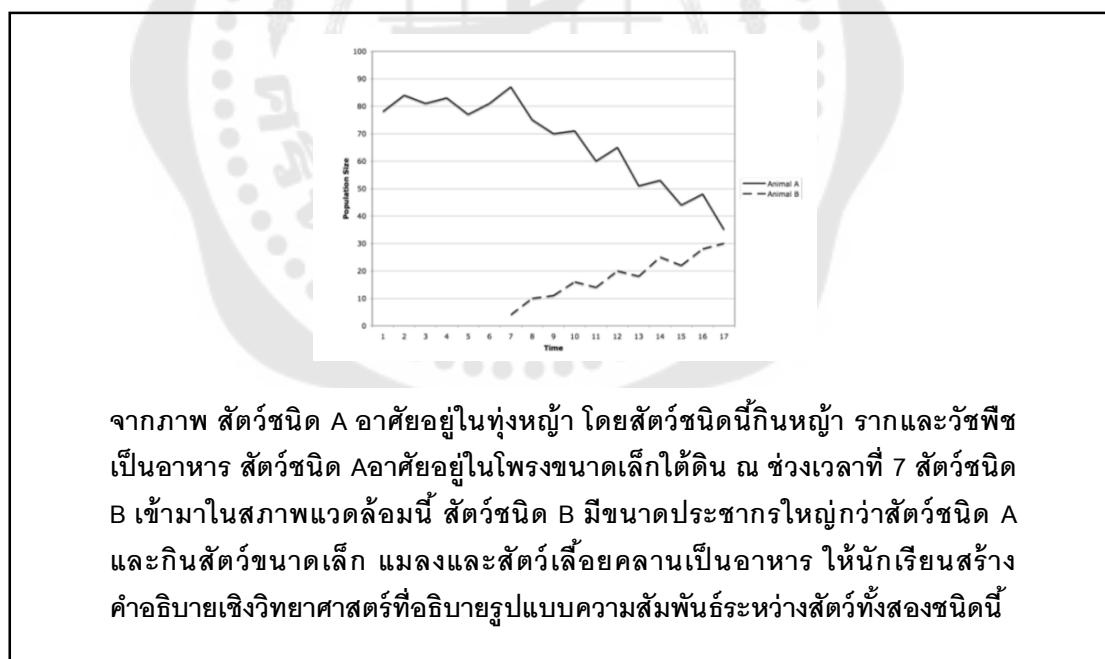
ตาราง 3 (ต่อ)

ชั้นการจัดการเรียนรู้	เป้าประสงค์	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
		ประเด็นใด จึงค่อยนำมาอภิปรายในชั้นเรียน	
ชั้นขยายความรู้	นักเรียนจะต้อง	ช่วยอธิบายผลการวิจัยทาง	ทำความเข้าใจผล
เพื่อปรับปรุง	พิจารณางานวิจัย	วิทยาศาสตร์ให้นักเรียน	จากการวิจัยทาง
คำอธิบายเชิง	ทางวิทยาศาสตร์ที่	เข้าใจ แล้วเปิดโอกาสให้	วิทยาศาสตร์ที่ครูให้มา
วิทยาศาสตร์	เกี่ยวข้องกับ	นักเรียนได้ประเมิน	เพื่อที่จะได้นำมาใช้เป็น
	เนื้อหาที่เรียน แล้ว	คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	ข้อมูลในการประเมิน
	นำมาประเมินและ	ที่ได้สร้างขึ้นว่าถูกต้อง	และปรับปรุงคำอธิบาย
	ปรับปรุงคำอธิบาย	สมบูรณ์แล้วหรือไม่ โดยครู	เชิงวิทยาศาสตร์ให้ดีขึ้น
	เชิงวิทยาศาสตร์ที่	จะต้องช่วยเหลือนักเรียน	
	ได้สร้างขึ้น พร้อม	ในการปรับปรุงคำอธิบาย	
	ทั้งตระหนักรู้ถึง	ดังกล่าวให้ถูกต้องสมบูรณ์	
	ความสำคัญของ	พร้อมทั้งสร้างความ	
	การสร้างคำ	ตระหนักรู้ถึงความสำคัญ	
	อธิบายเชิง	ของการสร้างคำอธิบายเชิง	
	วิทยาศาสตร์	วิทยาศาสตร์	
ชั้นประเมินผล	เพื่อประเมิน	ประเมินความรู้เนื้อหาและ	ให้ความร่วมมือในการ
การเรียนรู้	ความรู้เนื้อหาและ	ความเข้าใจในการเขียน	ประเมิน เช่น การทำ
	ความเข้าใจในการ	คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	แบบวัด แบบฝึกหัดหรือ
	เขียนคำอธิบาย	ของนักเรียน พร้อมทั้งให้	การตอบคำถาม และ
	เชิงวิทยาศาสตร์	ข้อเสนอแนะในประเด็นที่	เปิดใจรับฟัง
	ของนักเรียน	นักเรียนมีปัญหา	ข้อเสนอแนะจากครู

4.6 การวัดและประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีลักษณะเป็นการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติงาน (Learning performance) ดังนั้นการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

สามารถทำได้โดยพิจารณาจากผลงาน (Product) หรือกระบวนการ (Process) ที่นักเรียนใช้ในการสร้างผลงาน ประกอบกับการใช้เกณฑ์การให้คะแนน (Scoring rubrics) จากการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น การใช้แบบทดสอบความเรียง (Essay test) หรือการใช้ข้อคำถามแบบปลายเปิด (Open-ended explanation items) (McNeill & Krajcik, 2008; Sampson & Clark, 2009) ซึ่งมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ 1) แบบทดสอบ และ 2) เกณฑ์การให้คะแนน โดยในส่วนของแบบทดสอบ (Test) จะประกอบด้วย 1) สถานการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนสร้างคำอธิบาย 2) ข้อมูลประกอบ สถานการณ์ อาจอยู่ในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ภาพ การทดลอง เป็นต้น ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่นักเรียนจะสามารถนำไปใช้เป็นหลักฐานในการสร้างคำอธิบาย และ 3) คำสั่งหรือคำถามที่ระบุว่าต้องการให้นักเรียนสร้างคำอธิบายในเรื่องใดหรือเกี่ยวกับอะไร ซึ่งจำนวนข้อสอบและเวลาที่ใช้จะขึ้นอยู่กับผู้สอน (สันติชัย อนุวรชัย, 2553) ซึ่งแบบทดสอบที่นักการศึกษาได้สร้างขึ้น ดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างข้อสอบ เรื่อง ผู้ล่ากับเหยื่อ

ที่มา: McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 53-78.

Sampson & Clark (2009) พบว่า แบบทดสอบที่ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยไม่ได้ระบุให้นักเรียนเขียนแยกองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ออกมาให้ชัดเจน ทำให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ไม่ครบตามองค์ประกอบที่ตั้งไว้ เขาจึงได้สร้างแบบทดสอบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ที่ระบุให้นักเรียนเขียนคำอธิบายแยกในแต่ละองค์ประกอบอย่างชัดเจน ดังภาพประกอบ 17

ให้นักเรียนพิจารณาตารางต่อไปนี้

วัตถุ	มวล (g)	ความหนาแน่น (g/mL)	อุณหภูมิ (°C)	ความรู้สึกเมื่อสัมผัส	ความสามารถในการนำความร้อน	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงหลังจากให้ความร้อน (°C)
ชิ้นโลหะ	48	7.4	23.0	เย็นมาก	สูง	+26
ดินสอ	20	0.7	23.1	อุ่น	ต่ำ	+17
แก้ว	64	2.6	23.0	เย็น	ปานกลาง	+21
ถ้วยโฟม	34	0.01	23.0	อุ่น	ต่ำ	+14
เหรียญ	5	8.9	22.9	เย็นมาก	สูง	+34

ใช้ข้อมูลที่ให้มาข้างต้นในการตอบคำถามต่อไปนี้: เพราะเหตุใดเมื่อสัมผัสวัตถุต่างชนิดกันจึงรู้สึกร้อนหรือเย็นต่างกัน แม้ว่าวัตถุเหล่านั้นถูกวางไว้ในที่ ๆ มีอุณหภูมิเท่ากัน

1. ข้อกล่าวอ้างของนักเรียนคืออะไร
2. นักเรียนทราบได้อย่างไร ให้ระบุหลักฐานที่เหมาะสม และให้เหตุผลประกอบ

ภาพประกอบ 17 ตัวอย่างข้อสอบ เรื่อง สมบัติของสาร

ที่มา: McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 53-78.

ในส่วนของการให้คะแนน ในการวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผู้วิจัยพบว่า มีเกณฑ์การให้คะแนนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) รูปวิธาน (Keys) (Sampson & Clark, 2009) และ 2) ใช้มาตราประมาณค่า (Rubrics) (Harris, McNeill, Lizotte, Marx, & Krajcik, 2006; McNeill & Krajcik, 2006) ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนมีลักษณะเป็นคะแนนที่มีลักษณะแตกต่างกันตามเนื้อหาและภาระงาน

การประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ คือ 1) ข้อกล่าวอ้าง 2) หลักฐาน และ 3) การให้เหตุผล (McNeill & Krajcik, 2006) โดยแต่ละองค์ประกอบจะมีระดับ คะแนนแตกต่างกัน มีรูปแบบเป็นการประเมินแบบแยกประเด็น เรียกว่า “Base explanation rubrics” แสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 เกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบทั่วไป

องค์ประกอบของ คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
ข้อกล่าวอ้าง (Claim) ข้อยืนยันหรือคำตอบ ของคำถาม	ไม่สร้างข้อกล่าวอ้าง หรือสร้างข้อกล่าวอ้าง ไม่ถูกต้อง	สร้างข้อกล่าวอ้าง ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์	สร้างข้อกล่าวอ้าง ถูกต้องและสมบูรณ์
หลักฐาน (Evidence) ข้อมูลทาง วิทยาศาสตร์ที่ สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ซึ่งต้องเหมาะสมและ เพียงพอที่จะสนับสนุน ข้อกล่าวอ้าง	ไม่แสดงหลักฐาน สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง หรือใช้หลักฐานไม่ เหมาะสมต่อการ สนับสนุน ข้อกล่าวอ้าง	ใช้หลักฐานในการ สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ได้เหมาะสม แต่ไม่เพียงพอ	ใช้หลักฐานได้อย่าง เหมาะสมและ เพียงพอต่อการ สนับสนุน ข้อกล่าวอ้าง
การให้เหตุผล (Reasoning) ข้อความแสดงความ เชื่อมโยงระหว่าง	ไม่มีการให้เหตุผลหรือ เหตุผลที่ใช้ ไม่แสดงความ เชื่อมโยงระหว่าง	มีการให้เหตุผลแสดง การเชื่อมโยงระหว่าง หลักฐานและ ข้อกล่าวอ้าง อาจมี	ให้เหตุผลถูกต้องและ สมบูรณ์แสดงการ เชื่อมโยงระหว่าง

ตาราง 4 (ต่อ)

องค์ประกอบของ คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
ข้อกล่าวอ้างกับ หลักฐาน	หลักฐานและ ข้อกล่าวอ้าง	การอ้างอิง หลักการทาง วิทยาศาสตร์แต่ไม่ เพียงพอ	หลักฐานและข้อกล่าวอ้าง โดยมีการอ้างอิงหลักการ ทางวิทยาศาสตร์ที่ เหมาะสมและเพียงพอ

ที่มา: McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 53-78.

นอกจากรูปแบบการวัดและประเมินข้างต้นแล้ว McNeill และ Krajcik (2008) ได้เสนอว่าควรมีเกณฑ์การให้คะแนนแบบจำเพาะต่อภาระงาน (Specific rubric) ที่ต้องการประเมิน จึงได้เสนอแนวทางการสร้างภาระงานเพื่อวัดและประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่างการสร้างภาระงานเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ชีวภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ในเนื้อหาความสัมพันธ์แบบผู้ล่ากับเหยื่อ

ตาราง 5 เกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบจำเพาะเรื่อง ความสัมพันธ์แบบผู้ล่ากับเหยื่อ

องค์ประกอบของ คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
ข้อกล่าวอ้าง (Claim) ข้อยืนยัน หรือคำตอบของ คำถาม	ไม่สร้างข้อกล่าวอ้าง หรือสร้างข้อกล่าวอ้าง ไม่ถูกต้อง เช่น ระบุว่า เป็นความสัมพันธ์ แบบปรสิตร	สร้างข้อกล่าวอ้าง ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ เช่น สัตว์ชนิด B เป็น สาเหตุให้ประชากร สัตว์ชนิด A ลดลง	สร้างข้อกล่าวอ้าง ถูกต้องและสมบูรณ์ เช่น สัตว์ชนิด A และ B มีความสัมพันธ์ แบบผู้ล่ากับเหยื่อ

ตาราง 5 (ต่อ)

องค์ประกอบของ คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
หลักฐาน (Evidence) ข้อมูล ทางวิทยาศาสตร์ที่ สนับสนุนข้อกล่าว อ้างซึ่งต้อง เหมาะสมและเพียงพอที่จะสนับสนุนข้อ กล่าวอ้าง	ไม่แสดงหลักฐาน สนับสนุนข้อกล่าว อ้างหรือใช้ หลักฐานไม่ เหมาะสมต่อการ สนับสนุนข้อกล่าว อ้าง เช่น เส้นกราฟ ของสัตว์ทั้งสอง ชนิดขึ้นและลง อย่างมาก หรือ เขียนว่ากราฟนี้คือ หลักฐาน	ใช้หลักฐานในการ สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอ เช่น ใช้หลักฐาน 1 ถึง 2 ประเด็นจากหลักฐาน ดังต่อไปนี้ 1) เมื่อสัตว์ ชนิด B เข้าไปอยู่ใน สภาพแวดล้อมนี้ ขนาด ประชากรของสัตว์ชนิด A จะลดลง 2) สัตว์ทั้งสอง ชนิดบริโภคอาหาร ต่างกัน ดังนั้นจะไม่มี การแข่งขันการบริโภคอาหาร 3) สัตว์ชนิด B บริโภค อาหารที่มีลักษณะ เช่นเดียวกับสัตว์ชนิด A ดังนั้นสัตว์ชนิด B สามารถบริโภคสัตว์ ชนิด A ได้	ใช้หลักฐานได้อย่าง เหมาะสมและ เพียงพอต่อการ สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง เช่น 1) เมื่อสัตว์ชนิด B เข้าไปอยู่ใน สภาพแวดล้อมนี้ ขนาดประชากรของ สัตว์ชนิด A จะลดลง 2) สัตว์ทั้งสองชนิด บริโภคอาหารต่างกัน ดังนั้นจะไม่มี การแข่งขันการบริโภค อาหาร 3) สัตว์ชนิด B บริโภคอาหารที่มี ลักษณะเช่นเดียวกับ สัตว์ชนิด A ดังนั้น สัตว์ชนิด B สามารถ บริโภคสัตว์ชนิด A ได้
การให้เหตุผล (Reasoning) ข้อความแสดงความ เชื่อมโยงระหว่างข้อ กล่าวอ้างกับหลักฐาน	ไม่มีการให้เหตุผล หรือเหตุผลที่ใช้ไม่ แสดงความ เชื่อมโยงระหว่าง หลักฐานและข้อ กล่าวอ้าง เช่น	มีการให้เหตุผลแสดงการ เชื่อมโยงระหว่าง หลักฐานและข้อกล่าว อ้าง อาจมีการอ้างถึง หลักการทางวิทยาศาสตร์ แต่ไม่เพียงพอ เช่น ผู้ล่า	ให้เหตุผลถูกต้องและ สมบูรณ์แสดงการ เชื่อมโยงระหว่าง หลักฐานและข้อกล่าว อ้างโดยมีการอ้างถึง หลักการทาง

ตาราง 5 (ต่อ)

องค์ประกอบของ คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
	สัตว์เหล่านั้นเป็นสัตว์ ที่แตกต่างกัน	บริเวณสัตว์ชนิดอื่น ๆ	วิทยาศาสตร์ที่ เหมาะสมและเพียงพอ เช่น ผู้ล่าบริเวณเหยื่อ และเมื่อผู้ล่าเข้าไปใน สภาพแวดล้อมใหม่ จะทำให้ประชากร เหยื่อลดลงอย่าง ฉับพลัน

ที่มา: McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 53-78.

ในเวลาต่อมา มีการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบ คือ 1) ความเพียงพอของคำอธิบาย 2) คุณภาพของคำอธิบาย 3) คุณภาพของหลักฐาน 4) ความเพียงพอของการให้เหตุผล โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนที่มีช่วงคะแนนตั้งแต่ 0-4 ดังตัวอย่างเกณฑ์การประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ด้านความเพียงพอของคำอธิบายโดยใช้ รูปวิธาน (Sampson & Clark, 2009) แสดงดังภาพประกอบ 18

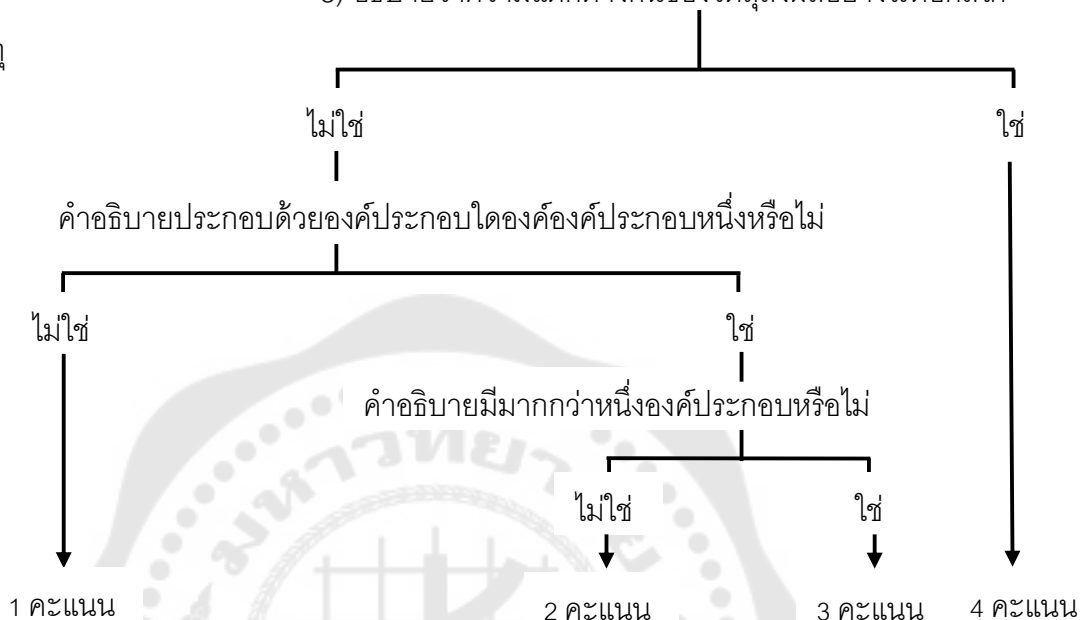
คำอธิบาย

1) แสดงกลไกสาเหตุ

2) เชื่อมโยงว่าแต่ละวัตถุแตกต่างกันอย่างไร

3) อธิบายว่าความแตกต่างกันของวัตถุส่งผลอย่างไรต่อกกลไก

สาเหตุ



ภาพประกอบ 18 ตัวอย่างการประเมินเกี่ยวกับคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง สมบัติของสาร

ที่ ม า : Sampson, V., & Clark, D. (2009). The impact of collaboration on the outcomes of scientific argumentation. *Science Education*, 93(3), 448-484.

กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งในงานวิจัยนี้การสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ จะใช้กรอบแนวคิดที่ผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นจากกรอบแนวคิดของ Millar, Tiberghien, & Marechal (2002) ดังภาพประกอบ 9 ทั้งนี้ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับการใช้ข้อมูลและองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องมาสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ ดังจะเห็นได้จากที่ผู้วิจัยจะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ รวมถึงสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัย ให้ได้มาซึ่งวิธีปฏิบัติการที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ จากนั้นนำวิธีปฏิบัติการดังกล่าว มาใช้ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ ภายใต้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผวนกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบาย

เชิงวิทยาศาสตร์ แล้วนำไปทดลองใช้ เพื่อประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพโดยใช้แบบประเมิน บทปฏิบัติการ ก่อนที่จะนำไปใช้จัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ คือ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ตามกรอบแนวคิดของ McNeill & Krajcik (2006) สำหรับการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จะใช้แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อคำถามปลายเปิด โดยระบุให้นักเรียนเขียนอธิบายแยกรายองค์ประกอบ (Sampson & Clark, 2009) ส่วนการสกัดหาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้จะใช้การวิเคราะห์แก่นสาระจากบันทึกวีดิทัศน์การสอน อนุทินสะท้อนคิดของครูและนักเรียน แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และบันทึกการทำปฏิบัติการ (ภาพประกอบ 19)



ภาพประกอบ 19 กรอบแนวคิดการวิจัยและการดำเนินการวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาทบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยแบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ระยะ คือ 1) สำรวจปัญหาในชั้นเรียนชีววิทยา 2) การสร้างและพัฒนาทบทปฏิบัติการ แผนการจัดการเรียนรู้ และแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ 3) นำทบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการจัดการเรียนรู้และทำวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน

1. สำรวจปัญหาในชั้นเรียนชีววิทยา

ในการเริ่มต้นการวิจัย ผู้วิจัยจะต้องทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นภายในชั้นเรียนชีววิทยา เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงสาเหตุที่ทำให้การจัดการเรียนรู้ชีววิทยายังไม่เป็นไปตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจปัญหาในชั้นเรียนชีววิทยาตามขั้นตอนดังนี้

1.1 เลือกโรงเรียนที่จะไปสำรวจปัญหาในชั้นเรียนชีววิทยา ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกไว้ทั้งสิ้น 3 โรงเรียน ซึ่งแต่ละโรงเรียนเป็นโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษาเขต 1 และ เขต 2 กรุงเทพมหานคร ที่มีบริบทของโรงเรียน สภาพชั้นเรียน ลักษณะของครูผู้สอน และลักษณะของนักเรียนที่ต่างกัน

1.2 เลือกชั้นเรียนที่จะเข้าไปสำรวจปัญหาในชั้นเรียนชีววิทยา ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกไว้ทั้งสิ้น 3 ห้อง ซึ่งแต่ละห้อง ผู้วิจัยจะเข้าไปสำรวจปัญหาในวิชาชีววิทยาเพิ่มเติม

1.3 สร้างเครื่องมือสำรวจปัญหาในชั้นเรียนชีววิทยา (เพื่อเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ) โดยมีลักษณะเป็นแบบบันทึกประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างจัดการเรียนรู้ เพื่อนำประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุ และแนวทางในการแก้ไขหรือพัฒนาผ่านกระบวนการวิจัยร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

1.4 ดำเนินการสำรวจปัญหาในชั้นเรียนชีววิทยา โดยใช้วิธีสังเกตการณ์แบบไม่มีส่วนร่วม (Non-participatory observation) โดยใช้เวลา 2 คาบต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 1 เดือน

1.5 นำประเด็นปัญหาที่บันทึกไว้มาทำการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis) เพื่อให้ได้มาซึ่งประเด็นปัญหาสำคัญที่ทำให้การจัดการเรียนรู้ชีววิทยาไม่ประสบผลสำเร็จ

1.6 สร้างเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ อาทิ แบบวัดหรือแบบทดสอบไปวัดและประเมินนักเรียนในประเด็นปัญหาที่ได้จากข้อ 1.5 เพื่อใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนเพิ่มเติม

1.7 หลังจากนั้นผู้วิจัยได้หาแนวทางในการแก้ไขหรือพัฒนาประเด็นปัญหาดังกล่าวผ่านกระบวนการวิจัย ร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาต่อถึงขั้นตอนนี้ต่อไป

2. สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ แผนการจัดการเรียนรู้ และแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากการสำรวจปัญหา ตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในเนื้อหาเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตมักจะจัดการเรียนรู้ผ่านการบรรยายเนื้อหา อย่างไรก็ตามครูหรือนักการศึกษาบางส่วนที่พยายามนำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะมาใช้เนื้อหาดังกล่าว แต่หากศึกษาโดยละเอียดถึงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้จะเห็นว่าการให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตหรือวิดิทัศน์แล้วนำข้อมูลที่ได้มาอภิปรายในชั้นเรียน ยังไม่สามารถสะท้อนกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ออกมาได้ วิธีการดังกล่าวจึงไม่อาจพัฒนานักเรียนไปสู่เป้าหมายของหลักสูตรได้ ผู้วิจัยจึงต้องการที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อพัฒนาศักยภาพของนักเรียนให้ตรงตามที่หลักสูตรต้องการ โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เริ่มต้นการสร้างบทปฏิบัติการ ผู้วิจัยจะต้องทราบก่อนว่าหลักสูตรต้องการให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหา ทักษะกระบวนการ หรือแนวปฏิบัติวิทยาศาสตร์ใดบ้าง รวมถึงศึกษาเนื้อหาจากหนังสือเรียนหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดและความยากง่ายของเนื้อหา ก่อนที่จะนำไปสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการให้สอดคล้องกัน โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

2.1.1 ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เพื่อให้ทราบถึงเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ มาตรฐานการเรียนรู้ และผลการเรียนรู้ในสาระชีววิทยา เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

2.1.2 วิเคราะห์เนื้อหาจากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ชีววิทยา เล่ม 4 เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดและความยากง่ายเนื้อหาที่นักเรียนระดับชั้น

มัธยมศึกษาตอนปลายจะต้องเรียน แล้วนำไปตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหากับหนังสือชีววิทยา Campbell Biology (Reece et al., 2014) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้เชี่ยวชาญ หรืออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท จากนั้นจัดทำตารางวิเคราะห์เนื้อหาจากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 4

ตาราง 6 การวิเคราะห์เนื้อหาจากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 4

แนวคิดหลัก	แนวคิดย่อย
การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์ (Intracellular and extracellular digestion)	การสลายอาหารของแบคทีเรีย (Bacterial digestion)
	การย่อยอาหารของพารามีเซียม (Paramecium digestion)
สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ (Complete and incomplete digestive tract)	ระบบย่อยอาหารของไฮดรา (Hydra digestion)
	ระบบย่อยอาหารของพลานาเรีย (Planarian digestion)
ระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่กินพืชและสัตว์กินเนื้อ (Herbivorous and carnivorous digestive system)	ระบบย่อยอาหารของปลาตะเพียน (Java barb digestive system)
	ระบบย่อยอาหารของปลาดุก (Catfish digestive system)
ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ (Human digestive system)	การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (Digestion of carbohydrate)
	การย่อยอาหารประเภทโปรตีน (Digestion of protein)
	การย่อยอาหารประเภทไขมัน (Digestion of lipid)

หลังจากวิเคราะห์เนื้อหาแล้ว ผู้วิจัยวางแผนที่จะสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการทั้งหมด 6 เรื่อง คือ 1) บทปฏิบัติการ เรื่อง การสลายอาหารของแบคทีเรีย 2) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม 3) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของไฮดรา 4) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อย

อาหารของพลาณาเรีย 5) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ และ 6) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์

2.1.3 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต เพื่อให้ทราบถึงเทคนิคปฏิบัติการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อที่จะนำไปปรับใช้ในห้องเรียนและห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เช่น การสร้างบทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม ผู้วิจัยได้นำเทคนิคปฏิบัติการของ Fok et al. (1982) มาใช้ในการตรวจสอบการย่อยอาหารภายในแควิโอลย่อยอาหาร เพื่อให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดเรื่องการย่อยอาหารภายในเซลล์

2.1.4 หลังจากทำการวิเคราะห์เนื้อหา ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบข้อจำกัดที่จะนำเทคนิคปฏิบัติการของนักวิทยาศาสตร์มาใช้ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการในห้องเรียนและห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จึงได้เลือกบทปฏิบัติการมา 3 บทปฏิบัติการ คือ 1) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม 2) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของไฮดรา 3) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของพลาณาเรีย มาทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อหาเทคนิคปฏิบัติการรูปแบบใหม่ที่เหมาะสมกับบริบทของห้องเรียนและห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมากยิ่งขึ้น ส่วนบทปฏิบัติการที่เหลือ ผู้วิจัยได้นำเทคนิคปฏิบัติการจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้เลย เนื่องจากสามารถทำได้ในง่ายในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.2 ศึกษาอัตราการติดสีของยีสต์ โดยการย้อมด้วยสีย้อมคองโกเรดที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างกัน

จากการศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียมของ Fok et al. (1982) ได้นำยีสต์มาย้อมด้วยสีย้อมคองโกเรดแล้วนำไปให้พารามีเซียมกินเพื่อติดตามการย่อยอาหารจากการเปลี่ยนสีของยีสต์ภายในแควิโอลย่อยอาหารนั่นเอง แต่หากนำเทคนิคปฏิบัติการดังกล่าวมาใช้ในการห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจะมีข้อจำกัดอยู่ คือ วิธีการย้อมยีสต์นั้นใช้เวลาเกินกว่า 1 ชั่วโมง สีย้อมที่ใช้มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง นอกจากนั้นยังใช้เครื่องมือที่หาได้ยากในโรงเรียน ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาหาเทคนิคปฏิบัติการในการย้อมยีสต์ใหม่ตามขั้นตอนดังนี้

2.2.1 การเพาะเลี้ยงยีสต์

(1) เตรียมอาหารฐานชนิด YM (YM agar) แล้วนำไปเพาะเลี้ยงยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) จากนั้นแยกเชื้อยีสต์ให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีการ Streak-plate technique

(2) เตรียมอาหารเหลวชนิด YM (YM broth) นำเชื้อยีสต์บริสุทธิ์ที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้ามาเลี้ยงในอาหารดังกล่าว ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า (Shaker) ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

(3) ตรวจนับจำนวนเชื้อยีสต์ด้วย Hemocytometer จากนั้นเจือจางยีสต์ให้มีความหนาแน่นที่ 10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

2.2.2 การย้อมสียีสต์ด้วยสีย้อมคองโกเรดที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างกัน

(1) ใช้ไมโครปิเปต (Micropipette) ดูดยีสต์ที่เจือจางแล้วมา 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ (Microcentrifuge tube)

(2) นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วใช้ไมโครปิเปตดูดเอาของเหลวส่วนใส (Supernatant) ออกจนหมด

(3) เตรียมสีย้อมคองโกเรด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.025, 0.05 และ 0.1 (โดยมวลต่อปริมาตร) แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

(4) ใช้ไมโครปิเปตดูดสีย้อมมา 1000 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซนตริฟิวจ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 แล้วทำให้เข้ากัน (Resuspension) โดยใช้เครื่องเขย่าสาร (Vortex) ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

(5) นำยีสต์ที่ถูกย้อมสีมานับจำนวนเซลล์ที่ย้อมติดสีแดงของสีย้อมคองโกเรด (พิจารณาเฉพาะเซลล์ที่ย้อมติดสีแดงที่ผนังเซลล์และไซโตพลาสซึม) และจำนวนเซลล์ทั้งหมดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400X โดยใน 1 สไลด์ จะทำการนับทั้งหมด 5 สนามภาพ จากนั้นหาค่าเฉลี่ยจำนวนเซลล์ที่ย้อมติดสีแดงและจำนวนเซลล์ทั้งหมด แล้วนำไปหาร้อยละการติดสีของยีสต์

(6) ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1-5 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็น 80 90 และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

(7) ทำการทดลองทรีตเมนต์ละ 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำทำ 3 ซ้าย่อย และทำทั้งหมด 3 ชุดทดลอง ที่เลี้ยงยีสต์ไม่พร้อมกัน (ปริมาณยีสต์เริ่มต้นทั้ง 3 ชุดทดลอง ต้องเท่ากัน) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแผนการทดลองที่ใช้จะเป็นแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)

(8) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละการติดสีเฉลี่ยของเชื้อยีสต์ $\pm$ S.E. และวิเคราะห์ทางสถิติว่าที่อุณหภูมิและความเข้มข้นใดที่ให้ผลดีที่สุด โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

2.3 ศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ตราขับกากอาหารออกมาหลังจากกินอาหาร

จากการศึกษาระบบย่อยอาหารของไฮดรา Lenhoff & Brown (1970) นำไฮดรา มาศึกษาพฤติกรรมการกินอาหาร (Feeding behavior) เพื่อให้ทราบว่าไฮดราแสดงพฤติกรรมดังกล่าวออกมาได้อย่างไร สัมพันธ์อย่างไรกับสารคัดหลั่งที่หลั่งออกมาจากเหยื่อ แต่หากนำเทคนิคปฏิบัติการดังกล่าวมาใช้ในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจะมีข้อจำกัดอยู่ คือ สิ่งที่ศึกษานั้นมีความลึกของเนื้อหามากเกินไป นอกจากนั้นยังใช้เครื่องมือที่หาได้ยากในโรงเรียน อย่างไรก็ตาม Bossert & Galliot (2012) ได้แนะนำเทคนิคปฏิบัติการที่ใช้ศึกษาระบบย่อยอาหารของไฮดราสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา คือ ศึกษาการกินอาหารของไฮดราโดยใช้ตัวอ่อนไรทะเล (*Artemia* sp.) แต่ผู้วิจัยเห็นว่าการให้นักเรียนศึกษาเพียงพฤติกรรมขณะที่ไฮดรากินอาหารเพียงอย่างเดียวอาจทำให้นักเรียนมีแนวคิดไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการศึกษาดังกล่าวจะทำให้ให้นักเรียนเข้าใจเพียงกระบวนการกิน (Ingestion) เท่านั้น ซึ่งนักเรียนอาจเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกระบวนการขับถ่าย (Egestion) ของไฮดรา ซึ่งเป็นประเด็นที่ครูมักไม่สนใจ เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นหลังจากการกินอาหารผ่านไปแล้วเกิน 6-8 ชั่วโมง จึงทำให้การศึกษาในคาบเรียนไม่เพียงพอ ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ไฮดราขับถ่ายกากอาหารออกมาหลังจากกินอาหาร โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

2.3.1 การเพาะเลี้ยงไฮดรา

(1) เพาะเลี้ยงไฮดราในตู้ปลาตามเทคนิคปฏิบัติการของ ทับ รุ่งเรือง (2560) โดยไฮดราที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงนั้นเป็นไฮดราสีเขียว (*Hydra viridissima*)

(2) ใช้ตัวอ่อนไรทะเล (*Artemia* sp.) เป็นอาหารเลี้ยงไฮดรา โดยทำการให้อาหารสัปดาห์ละ 2-3 ครั้ง

2.3.2 ศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ไฮดรา (*H. viridissima*) ขับกากอาหารออกมาหลังจากกินอาหาร

(1) คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างของไฮดรา โดยพิจารณาที่ความยาวของลำตัวและคะแนนทางสัณฐาน (Morphological score) อยู่ในระดับ 10 (Wilby, 1988) เพื่อให้ได้ไฮดราที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีสุขภาพดีมาทั้งหมด 15 ตัว

(2) นำกลุ่มตัวอย่างไฮดรามาเลี้ยงไว้ในจานเพาะเชื้อ จานละ 1 ตัว แล้วทำการอดอาหารกลุ่มตัวอย่างไฮดราเป็นเวลา 1 วัน

(3) ใช้หลอดหยดดูดไฮดราลงบนสไลด์หลุม สไลด์ละ 1 ตัว แล้วนำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X

(4) นำตัวอ่อนไรทะเล (*Artemia* sp.) มาให้ไฮดรากิน สไลด์ละ 1 ตัว บันทึกเวลาเริ่มต้นเมื่อไฮดรากินตัวอ่อนไรทะเลลงไปในช่องว่างภายในลำตัวทั้งหมด แล้วถ่ายไฮดรากลับลงไปในจานเพาะเชื้อเดิม

(5) สังเกตการขับถ่ายกากอาหารทุก 1 ชั่วโมง พร้อมจดบันทึกเวลา

(6) บันทึกผลการศึกษาโดยหาความถี่ของไฮดราที่ขับถ่ายกากอาหารออกมาในแต่ละช่วงเวลา

2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายทางเดินอาหารของปลานาเรีย โดยใช้ อาหารวุ้นที่ความเข้มข้นของวุ้นและสีย้อมต่างกัน

จากการศึกษาระบบย่อยอาหารของปลานาเรียโดยทำการศึกษาควควบคุมพฤติกรรมการกินอาหารของปลานาเรีย (*Dugesia tigrina*) โดยการนำปลานาเรียมาตัดคอหอยและปมประสาทออก แล้วสังเกตพฤติกรรมที่ปลานาเรียแสดงออกต่ออาหาร (Sheiman, Zubina, & Kreshchenko, 2002) อาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เนื่องจากสิ่งที่ศึกษานั้นมีความลึกของเนื้อหาเกินไปไม่สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ที่คาดหวังในสาระชีววิทยา เรื่อง ระบบย่อยอาหาร ที่ต้องการให้นักเรียนมีแนวคิดเรื่องสัตว์ที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ได้มีศึกษาลักษณะทางเดินอาหารของปลานาเรียโดยใช้ดัดบดผสมกับสีคาร์มีน (Carmine) เพื่อทำให้มองเห็นโครงสร้างดังกล่าวชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่ออาหารเข้าไปอยู่ในทางเดินอาหาร (ศิวาพร ลงยันต์ & ไพศาล สิทธิกรกุล, 2555) อย่างไรก็ตามสีคาร์มีนมีราคาค่อนข้างสูงและปลานาเรียมักใช้เวลาานานกว่าจะกินอาหารที่ผสมสีย้อมดังกล่าว เนื่องจากสีคาร์มีนมีความเป็นพิษต่อเซลล์ ผู้วิจัยจึงต้องการใช้สีย้อมอาหารแทนการใช้สีคาร์มีน เนื่องจากได้ศึกษาแล้วว่ามีความเป็นพิษต่ำและยังมีราคาถูกอีกด้วย อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาเบื้องต้นโดยใช้สีย้อมอาหารผสมกับดัดบดแล้วนำมาให้ปลานาเรียกิน ซึ่งพบว่าสีย้อมอาหารแพร่ออกมาจากตับจนหมดทำให้ปลานาเรียพยายามว่ายน้ำหนีไปบริเวณที่น้ำใส ผู้วิจัยจึงได้แก้ปัญหาดังกล่าวโดยปรับวิธีการของ Forsthoefel et al. (2011) โดยใช้ดัดบด ผสมกับสีย้อมอาหารและผงวุ้นเพื่อให้วุ้นช่วยดูดซับสีไว้ ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปลานาเรียไม่แสดงพฤติกรรมที่เคลื่อนที่หนีอาหาร อีกทั้งยังกินอาหารวุ้นดังกล่าวอีกด้วย และเมื่อนำปลานาเรียไปศึกษาใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่าทางเดินอาหารของปลานาเรียถูกเติมเต็มด้วยอาหารที่มีสีย้อมอาหารทำให้สามารถสังเกตเห็นทางเดินอาหารชัดเจนมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยต้องการที่จะทราบว่าต้องใช้วุ้นและสีย้อมอาหารที่ความเข้มข้นเท่าใดในการเตรียมอาหารวุ้น จึงจะ

สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างทางเดินอาหารของพลานาเรีย (*Dugesia* sp.) ได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษาดังนี้

2.4.1 เพาะเลี้ยงพลานาเรีย

(1) ผู้วิจัยทำการเพาะเลี้ยงพลานาเรีย โดยเพาะเลี้ยงในน้ำกรองพร้อมกับเปิดเครื่องเติมอากาศให้ตลอดเวลา เพื่อรักษาระดับออกซิเจนให้เพียงพอ

(2) อาหารที่ใช้เลี้ยงคือตับวัวแช่แข็ง (Frozen bovine liver) โดยจะให้กินครั้งละ 2 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง อย่างไรก็ตาม การให้ตับวัวแช่แข็งอาจทำให้น้ำเน่าเสียได้เร็ว ดังนั้นควรดูแลสภาพน้ำให้สะอาดอยู่เสมอ

2.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายทางเดินอาหารของพลานาเรียโดยใช้อาหารวุ้นที่ความเข้มข้นของวุ้นและสีย้อมต่างกัน

(1) ศึกษาการตอบสนองต่ออาหาร โดยนำพลานาเรีย 5 ตัว ใส่ลงในจานเพาะเชื้อขนาด 60 x 15 มิลลิเมตร แล้วนำตับวัวบด 100 ไมโครลิตร ย้อมด้วยสีย้อมอาหาร (สีย้อมแดง) และสีย้อมคาร์มิน อย่างละ 1 มิลลิกรัม ไปให้พลานาเรียในจานเพาะเชื้อดังกล่าวกินเป็นเวลา 5 นาที ทำการทดลองทั้งหมด 9 ซ้ำ สังเกตว่ามีพลานาเรียมากินอาหารกี่ตัว แล้วนำไปคำนวณหาค่าร้อยละการตอบสนองต่ออาหารเฉลี่ย $\pm$ S.E. พร้อมเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

(2) ศึกษาว่าวุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละเท่าใดที่ทำให้พลานาเรียสามารถกินอาหารวุ้นเหล่านั้นเข้ามาในทางเดินอาหารได้ดีที่สุด โดยนำตับวัวบดผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:2 มา 830 ไมโครลิตร ผสมกับวุ้นทำขนม 150 ไมโครลิตร ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นป้ายอาหารวุ้นลงบนสไลด์หุ้ม 20 ไมโครลิตร ปล่อยให้พลานาเรียกิน 10 นาที แล้วนำไปศึกษาใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอาหารวุ้น โดยทำการทดลองทั้งหมด 45 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าความถี่ของพลานาเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพ ในแต่ละทรีตเมนต์ โดยมีเกณฑ์ประเมินดังนี้

ระดับ 5 เห็น Primary branches และ Secondary branches ทั้งหมด

อาจเห็น Tertiary branches ทั้งหมดหรือบางส่วน

ระดับ 4 เห็น Primary branches ทั้งหมด อาจเห็น Secondary branches ทั้งหมดหรือบางส่วน อาจเห็น Tertiary branches บางส่วนหรือไม่เห็น

ระดับ 3 เห็น Primary branches ทั้งหมด อาจเห็น Secondary branches บางส่วนหรือไม่เห็น และไม่เห็น Tertiary branches

ระดับ 2 เห็น Primary branches และ Secondary branches บางส่วน อาจเห็น Tertiary branches บางส่วนหรือไม่เห็น

ระดับ 1 อาจเห็น Primary branches บางส่วนหรือไม่เห็น

(3) ศึกษาว่าอาหารวุ้นที่ความเข้มข้นของสเต็มอาหารที่ร้อยละเท่าใดที่มีประสิทธิภาพในการมองเห็นทางเดินอาหารของปลานาเรียดีที่สุด โดยการนำตัววัดผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:2 มา 830 ไมโครลิตร ผสมกับสเต็มอาหารสีส้มแดง ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 5 และ 10 (โดยมวลต่อปริมาตร) 20 ไมโครลิตร และวุ้นทำขนมที่ความเข้มข้นที่ให้ผลดีที่สุดในการทดลองก่อนหน้า 150 ไมโครลิตร จากนั้นป้ายอาหารวุ้นย้อมสีลงบนสไลด์หลุม 20 ไมโครลิตร ปล่อยให้พลาสมาเรียบ 10 นาที แล้วนำไปศึกษาใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอาหารวุ้น โดยทำการทดลองทั้งหมด 45 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าความถี่ของพลาสมาเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพ ในแต่ละทริตเมนต์ โดยมีเกณฑ์ประเมินดังนี้

ระดับ 3 ทางเดินอาหารมีสีส้มเข้ม

ระดับ 2 ทางเดินอาหารมีสีส้มอ่อน

ระดับ 1 ไม่มีสีส้มในทางเดินอาหาร

2.5 สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ

หลังจากที่ได้ผลการศึกษาจากหัวข้อที่ 2.2 2.3 และ 2.4 แล้ว ผู้วิจัยได้นำมาออกแบบบทปฏิบัติการเพื่อให้ให้นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการสืบเสาะเช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยยังต้องการจะพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียนด้วย ดังนั้นจึงได้ทำการพัฒนาบทปฏิบัติการที่ส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนดังนี้

2.5.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ทราบความสำคัญ ความหมาย ธรรมชาติ องค์ประกอบ การวัดประเมิน รวมไปถึงการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบบทปฏิบัติการให้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาความสามารถดังกล่าว

2.5.2 กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้และวิธีการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ พร้อมออกแบบและดำเนินการสร้างบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

2.5.3 นำบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประกอบด้วยอาจารย์จากคณะวิทยาศาสตร์ 3 ท่าน และครูชีววิทยาระดับมัธยมศึกษา 2 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 หมายถึง สอดคล้อง

ระดับ 0 หมายถึง ไม่แน่ใจ

ระดับ -1 หมายถึง ไม่สอดคล้อง

2.5.4 นำบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา เพื่อประเมินประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ และเพื่อปรับปรุงและพัฒนาบทปฏิบัติการให้ดีขึ้น

2.6 สร้างแผนการจัดการเรียนรู้

หลังจากผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ผู้วิจัยได้ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ร่วมกับบทปฏิบัติการ โดยวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ใช้คือการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ESWEE) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ดังนี้ 1) ขั้นสร้างความสนใจผ่านการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Engagement through assessing scientific explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อสร้างความสนใจของนักเรียนพร้อมทั้งแนะนำให้นักเรียนได้เข้าใจองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยผู้วิจัยได้ใช้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามรูปแบบของ McNeill & Krajcik (2006) 2) สืบตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific investigation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้ลงมือทำการปฏิบัติการหรือการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้หรือข้อมูลที่จะนำไปใช้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในขั้นตอนต่อไป 3) เขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Writing scientific explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนได้นำความรู้หรือข้อมูลจากขั้นก่อนหน้ามาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 4) ขยายความรู้เพื่อปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Elaboration for revising scientific explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้อ่านงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เพื่อสังเคราะห์ความรู้หรือข้อมูลเพิ่มเติมมาใช้ในการปรับปรุงหรือแก้ไขคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้น และ 5) ประเมินผลการเรียนรู้ (Evaluation) เป็นขั้นที่นักเรียนและครูร่วมกันประเมินผลการเรียนรู้ ไม่ว่าจะเป็นด้านความรู้ ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรือด้านจิตวิทยาศาสตร์ ผ่านการทำแบบฝึกหัด สังเกตการณ์ หรือสัมภาษณ์นักเรียน โดยขั้นตอนการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้มีดังนี้

2.6.1 ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เพื่อให้ทราบถึงเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ มาตรฐานการเรียนรู้ และผลการเรียนรู้ในสาระชีววิทยา เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

2.6.2 วิเคราะห์เนื้อหาจากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 4 เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดและความยากง่ายเนื้อหาที่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจะต้องเรียน แล้วนำไปตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาหนังสือชีววิทยา Campbell Biology (Reece et al., 2014) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้เชี่ยวชาญ หรืออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

2.6.3 จัดทำตารางแจกแจงแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อแสดงว่าในเนื้อหาที่จะใช้ในการจัดการเรียนรู้ (แนวคิดหลัก) ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมดกี่แผน และแต่ละแผนใช้ระยะเวลาในการจัดกิจกรรมกี่คาบเรียน ดังตาราง 7

ตาราง 7 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

เนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้	แผนการจัดการเรียนรู้	จำนวนคาบเรียน
การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์ (Intracellular and extracellular digestion)	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การสลายอาหารของแบคทีเรีย	1 คาบ
	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม	2 คาบ
สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ (Complete and incomplete digestive tract)	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง ระบบย่อยอาหารของไฮดรา	1 คาบ
	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง ระบบย่อยอาหารของปลาน้ำจืด	1 คาบ
ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ (Herbivore and carnivore digestive system)	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 ระบบย่อยอาหารของปลาดุกและปลาดุก	2 คาบ
ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ (Human digestive system)	การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน	3 คาบ

2.6.4 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ทราบความสำคัญ ความหมาย ธรรมชาติ องค์ประกอบ การวัดประเมิน รวมไปถึงการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

2.6.5 ศึกษาบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นแล้วนำมาสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกัน

2.6.6 นำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน (ผู้เชี่ยวชาญท่านเดียวกับการหาคุณภาพของบทปฏิบัติการ) เพื่อประเมินคุณภาพโดยพิจารณาว่าแผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวสอดคล้องกับบทปฏิบัติการหรือไม่

2.6.7 นำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญแล้วไปทดลองสอนกับนักเรียนกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา เพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้ดีขึ้น

2.7 สร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

หลังจากได้สร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แล้ว ผู้วิจัยได้สร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต เพื่อประเมินผลการจัดการเรียนรู้ โดยได้ดำเนินการดังนี้

2.7.1 ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เพื่อให้ทราบถึงเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ มาตรฐานการเรียนรู้ และผลการเรียนรู้ในสาระชีววิทยา เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

2.7.2 วิเคราะห์เนื้อหาจากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม 4 เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียดและความยากง่ายเนื้อหาที่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจะต้องเรียน แล้วนำไปตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาหนังสือชีววิทยา Campbell Biology (Reece et al., 2014) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้เชี่ยวชาญ หรืออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อที่จะนำมาออกแบบแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากนั้นจัดทำตารางแจกแจงข้อสอบ (ตาราง 8)

2.7.3 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ทราบความสำคัญ ความหมาย ธรรมชาติ องค์ประกอบ การวัดประเมิน รวมไปถึงการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

2.7.4 ศึกษาบทบาทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นแล้วนำมาสร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ตาราง 8 การแจกแจงแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

แนวคิดหลัก	แนวคิดย่อย	พบใน
การย่อยอาหารภายในและ ภายนอกเซลล์ (Intracellular and extracellular digestion)	การสลายอาหารของแบคทีเรีย (Bacterial digestion) การย่อยอาหารของพารามีเซียม (Paramecium digestion)	แบบวัดข้อที่ 1
สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์ (Complete and incomplete digestive tract)	การย่อยอาหารของไฮดรา (Hydra digestion) การย่อยอาหารของพลานาเรีย (Planarian digestion)	แบบวัดข้อที่ 2
ระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่กิน พืชและสัตว์กินเนื้อ (Herbivore and carnivore digestive system)	ระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่กินพืช (Herbivorous digestive system) ระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่กินสัตว์ (Carnivorous digestive system)	แบบวัดข้อที่ 3
ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ (Human digestive system)	การย่อยอาหารประเภท คาร์โบไฮเดรต (Digestion of carbohydrate)	แบบวัดข้อที่ 4
	การย่อยอาหารประเภทโปรตีน (Digestion of protein)	แบบวัดข้อที่ 5
	การย่อยอาหารประเภทไขมัน (Digestion of lipid)	แบบวัดข้อที่ 6

2.7.5 นำแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตไปให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน (ผู้เชี่ยวชาญท่านเดียวกับการหาคุณภาพของบทปฏิบัติการ) เพื่อประเมิน 1) ความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง 2) ความเที่ยงตรงเชิงเหตุผล

3) ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา 4) ความเหมาะสมของภาษาและรูปภาพที่ใช้ และ 5) ความถูกต้องเหมาะสมของเกณฑ์การประเมิน โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินคุณภาพของแบบวัดเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 หมายถึง สอดคล้อง

ระดับ 0 หมายถึง ไม่แน่ใจ

ระดับ -1 หมายถึง ไม่สอดคล้อง

2.7.6 นำแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำไปทดลองใช้จริงกับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา เพื่อวิเคราะห์หาความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบวัดรายข้อ รวมไปถึงนำไปวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของแบบวัด

3. นวัตกรรมปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นใช้ในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

หลังจากที่ผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการ แผนการจัดการเรียนรู้ และแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตแล้ว ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือดังกล่าวมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ให้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อ 1) พัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ 2) ศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1 กำหนดกลุ่มที่ศึกษา ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูล และเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 กลุ่มที่ศึกษา

การวิจัยนี้ดำเนินการกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษาเขต 2 กรุงเทพมหานคร จำนวน 1 ห้อง มีนักเรียน 45 คน

3.1.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาการวิจัยไว้ทั้งสิ้น 1 ปีการศึกษา (กรกฎาคม 2562 – กรกฎาคม 2563) โดยเริ่มจากศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและจัดทำ

เค้าโครงปริญญานิพนธ์ จากนั้นจัดทำเครื่องมือพร้อมตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มที่ศึกษา ผู้วิจัยใช้เวลาทั้งสิ้น 4 สัปดาห์ (10 คาบเรียน) ในรายวิชาชีววิทยา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

3.1.3 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้พัฒนาบทปฏิบัติการได้ยึดตามแนวทางของหนังสือเรียนชีววิทยา เล่ม 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) โดยมีเนื้อหาย่อยดังตาราง 4

3.2 แบบแผนที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom action research) (Kemmis & McTaggart, 1988) ซึ่งเป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ โดยผู้วิจัยมีความต้องการพัฒนาการสอนของตนเองเพื่อให้นักเรียนมีการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้บทปฏิบัติการร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมผสานการสนทนาเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยดังนี้

3.2.1 ขั้นวางแผน (Plan) คือ ขั้นที่ผู้วิจัยศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับกรอบแนวคิดเรื่องการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ รวมถึงศึกษาวิธีการพัฒนาและประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศเพื่อออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้

3.2.2 ขั้นปฏิบัติการ (Act) คือ ขั้นที่ผู้วิจัยดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 10 คาบ

3.2.3 ขั้นสังเกตการณ์ (Observe) คือ ขั้นที่ผู้วิจัยทำการสังเกตและเก็บข้อมูลหลักฐานสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ตามที่คุณวิจัยได้ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ โดยบันทึกข้อมูลในรูปแบบบันทึกหลังสอน บันทึกหลังการนิเทศของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และครูพี่เลี้ยง แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งทางการและการประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในบทปฏิบัติการ เพื่อนำไปสู่การสะท้อนผลการปฏิบัติงานในครั้งต่อไป

3.2.4 ขั้นสะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect) คือ ขั้นที่ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกตมาวิเคราะห์เพื่อค้นหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่มีความบกพร่องและนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้วงจรต่อไป

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ขึ้น พร้อมนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพ รวมถึงนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องมือดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย

3.3.1 บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

3.3.2 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

3.3.3 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

3.3.4 บันทึกวีดิทัศน์การสอน

3.3.5 อนุทินสะท้อนคิดของครูผู้สอน

3.3.6 อนุทินสะท้อนคิดของนักเรียน

3.3.7 แบบสัมภาษณ์เชิงโครงสร้างเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เมื่อนำเครื่องมือที่สร้างและพัฒนาขึ้นไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

3.4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

3.4.2 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ โดยใช้บทปฏิบัติการ ผนวกกลยุทธ์การสอน เพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ

(1) ขั้นสร้างความสนใจผ่านการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Engagement through assessing scientific explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้ศึกษาการทดลองเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต แล้วประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ครูกำหนดให้ว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด พร้อมเสนอแนวทางการสำรวจตรวจสอบใหม่

(2) สำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific investigation) เป็นขั้นที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการหรือทำการทดลองให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำไปใช้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต่อไป

(3) เขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Writing scientific explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้นำข้อมูลที่ได้จากปฏิบัติการหรือการทดลองมาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

(4) ขยายความรู้เพื่อปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Elaboration for revising scientific explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตแล้วนำความรู้ที่ได้มาปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้สมบูรณ์

(5) ประเมินผลการเรียนรู้ (Evaluation) เป็นขั้นที่นักเรียนและครูทำการประเมินผลการเรียนรู้ โดยการทำแบบฝึกหัดท้ายบทและทบทวนเกี่ยวกับการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

(6) โดยระหว่างการจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 4 ผู้วิจัยจะเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เพื่อนำไปหาว่าในแผนการจัดการเรียนรู้ต่อไป นักเรียนมีพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นหรือไม่ ส่วนข้อมูลอื่น ๆ นั้นเก็บรวบรวมจากการวัดทัศนคติการสอน อนุทินสะท้อนคิดของครูผู้สอน อนุทินสะท้อนคิดของนักเรียน และการสัมภาษณ์นักเรียน

3.4.3 ดำเนินการตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2-6 และทำการเก็บข้อมูลตามหัวข้อที่ 3.4.2 เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ผลระหว่างการจัดการเรียนรู้

3.4.4 เก็บรวบรวมข้อมูลหลังการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

3.4.5 เตรียมข้อมูลจากการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นการถอดเทปจากการวัดทัศนคติที่อัดไว้ หรือการลงรหัสข้อมูลจากอนุทินสะท้อนคิดของครูผู้สอน อนุทินสะท้อนคิดของนักเรียน และการสัมภาษณ์นักเรียน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อผู้วิจัยเตรียมข้อมูลจาก 1) แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต 2) บทปฏิบัติการเรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต 3) การถอดเทปจากการวัดทัศนคติการสอนที่อัดไว้ 4) อนุทินสะท้อนคิดของครูผู้สอน 5) อนุทินสะท้อนคิดของนักเรียน และ 6) การสัมภาษณ์นักเรียน เสร็จสิ้นแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

(1) จัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนตามเกณฑ์ที่ปรับจาก McNeill & Krajcik (2006) ที่มีการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ซึ่งมี 3 องค์ประกอบ คือ 1) ข้อกล่าวอ้าง 2) หลักฐาน และ 3) การให้เหตุผล ซึ่งจำแนกระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบาย

เชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับดี (2 คะแนน) ระดับพอใช้ (1 คะแนน) และระดับปรับปรุง (0 คะแนน) ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ (หากพบว่านักเรียนไม่ตอบคำถามหรือตอบคำถามไม่ชัดเจน ผู้วิจัยจะทำการสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด)

(2) หาความถี่และร้อยละของนักเรียนที่ถูกจัดอยู่ในแต่ละระดับของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในแต่ละข้อของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้

(3) วิเคราะห์พัฒนาการ (Average normalized gain) ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (Hake, 1998)

3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต จากบทปฏิบัติการ

(1) จัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนตามเกณฑ์ที่ปรับจาก McNeill & Krajcik (2006) ที่มีการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ซึ่งมี 3 องค์ประกอบ คือ 1) ข้อกล่าวอ้าง 2) หลักฐาน และ 3) การให้เหตุผล ซึ่งจำแนกระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับดี (2 คะแนน) ระดับพอใช้ (1 คะแนน) และระดับปรับปรุง (0 คะแนน) ในแต่ละบทปฏิบัติการ (หากพบว่านักเรียนไม่ตอบคำถามหรือตอบคำถามไม่ชัดเจน ผู้วิจัยจะทำการสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด)

(2) หาความถี่และร้อยละของนักเรียนที่ถูกจัดอยู่ในแต่ละระดับของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในแต่ละข้อของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในแต่ละบทปฏิบัติการ

3.5.3 วิเคราะห์หาแนวปฏิบัติที่ดีหลังจากใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

(1) ตรวจสอบผลที่ได้จากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้ รวมถึงผลการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในบทปฏิบัติการเพื่อบ่งชี้ว่าในการสอนคาบเรียนที่ผ่านมานั้นประสบความสำเร็จหรือไม่ มีองค์ประกอบใดของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนยังไม่สามารถพัฒนาได้

(2) กำหนดหน่วยการวิเคราะห์ (Unit of analysis) เพื่อให้ทราบขอบเขตการมองข้อมูล จากนั้นวิเคราะห์และตีความข้อมูลจากการถอดวีดิทัศน์การสอน อนุทินสะท้อนคิด

ของครูผู้สอน อนุทินสะท้อนคิดของนักเรียน และการสัมภาษณ์นักเรียน เพื่อให้ได้ข้อมูลมาตรวจสอบร่วมกัน โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากหลายเครื่องมือนี้ เรียกว่า การตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า (Triangulation) ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งในการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับงานวิจัยเชิงคุณภาพ เพื่อบ่งชี้สิ่งที่ประสบความสำเร็จ ปัญหาอุปสรรค และแนวทางแก้ไข

(3) สร้างสมมติฐานชั่วคราว (Working hypothesis) เกี่ยวกับแนวปฏิบัติที่ดีในการสอนที่ได้จากข้อมูลหลายแหล่งดังกล่าวข้างต้นและนำสมมติฐานชั่วคราวที่สร้างขึ้นย้อนกลับไปตรวจสอบกับแหล่งข้อมูลทั้งหมดเพื่อหาข้อมูลที่ขัดแย้งหรือไม่เป็นไปตามสมมติฐานชั่วคราว เรียกเทคนิคนี้ว่าการตรวจสอบความขัดแย้งของข้อมูล (Negative cases) หากมีข้อมูลที่ขัดแย้งมาก สมมติฐานชั่วคราวที่ตั้งขึ้นจะถูกลบทิ้งไป ส่วนสมมติฐานชั่วคราวที่สอดคล้องกับข้อมูลจะถูกสร้างเป็นแนวปฏิบัติที่ดีต่อไป

(4) นำแนวปฏิบัติที่ดีที่ได้พร้อมหลักฐานเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการตีความหมายข้อมูล โดยเรียกเทคนิคนี้ว่าการตรวจสอบกับผู้เชี่ยวชาญ (Peer review)

(5) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลใหม่ในแนวปฏิบัติที่อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ท้วงติง เนื่องจากไม่ปรากฏข้อมูลหลักฐานที่เพียงพอ หรือผู้วิจัยมีการตีความหมายข้อมูลผิดพลาด

(6) ทำเช่นเดียวกันนี้ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้ จากนั้นวิเคราะห์หาความเชื่อมโยงของทั้ง 6 แผนการจัดการเรียนรู้เพื่อบ่งชี้แนวปฏิบัติที่ดี (Patton, 2005)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อ 1) พัฒนابทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 2) พัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ 3) เพื่อศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

1. ผลการพัฒนามบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ที่ผู้วิจัยจะพัฒนาขึ้น ประกอบด้วย 1) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย 2) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม 3) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของไฮดรา 4) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพลาเนเรีย 5) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ และ 6) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ โดยบทปฏิบัติการที่ 1 5 และ 6 ผู้วิจัยได้นำเทคนิคปฏิบัติการจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้เลย ขณะที่บทปฏิบัติการที่ 2 3 และ 4 ผู้วิจัยได้นำเทคนิคปฏิบัติการจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาพัฒนาใหม่ให้เหมาะสมกับห้องเรียนและห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมากขึ้น ดังนี้

1.1 ผลการศึกษาร้อยละการติดสีของยีสต์ โดยการย้อมด้วยสีคองโกเรดที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างกัน

การศึกษาร้อยละการติดสีของยีสต์นั้นทำได้โดยนำยีสต์ในอาหารเหลว YM มา 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที เพื่อแยกเอาของเหลวส่วนใสออก แล้วนำไปย้อมสีด้วยสีย้อมคองโกเรดที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างกัน คือ 90/0.10, 90/0.05, 90/0.025, 90/0, 80/0.10, 80/0.05,

80/0.025, 80/0, 70/0.10, 70/0.05, 70/0.025, 70/0, 25/0.10, 25/0.05, 25/0.025 และ 25/0 ตามลำดับ โดยใช้เวลาย้อมทั้งสิ้น 15 นาที ทำการทดลองทั้งหมด 45 ชั่วโมง จากนั้นนำมาศึกษาและนับจำนวนเซลล์ทั้งที่ย้อมติดสีและย้อมไม่ติดสี โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ แล้วคำนวณค่าร้อยละการติดสี โดยการนำจำนวนเซลล์ที่ย้อมติดสีคูณด้วยหนึ่งร้อยและหารด้วยจำนวนเซลล์ทั้งหมด ได้ผลดังตาราง 9

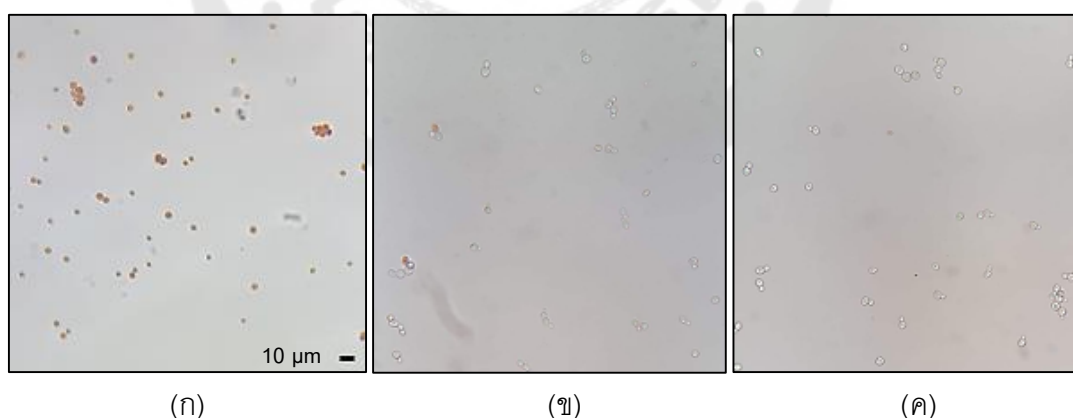
ตาราง 9 การเปรียบเทียบร้อยละการติดสีเฉลี่ยของยีสต์ที่สภาวะการย้อมสีต่างกัน

สภาวะการย้อมสี (°C)/(%w/v)	N	ร้อยละการติดสีเฉลี่ย $\pm$ S.E.	F	Sig.
90/0.10	45	90.85 $\pm$ 0.97	4307.10	.000
90/0.05	45	8.79 $\pm$ 0.60		
90/0.025	45	3.23 $\pm$ 0.56		
90/0.00	45	0.00 $\pm$ 0.00		
80/0.10	43	3.56 $\pm$ 0.27		
80/0.05	45	2.16 $\pm$ 0.25		
80/0.025	44	1.35 $\pm$ 0.29		
80/0.00	45	0.00 $\pm$ 0.00		
70/0.10	43	2.03 $\pm$ 0.20		
70/0.05	45	0.52 $\pm$ 0.07		
70/0.025	45	0.36 $\pm$ 0.05		
70/0.00	45	0.00 $\pm$ 0.00		
25/0.10	45	0.00 $\pm$ 0.00		
25/0.05	45	0.00 $\pm$ 0.00		
25/0.025	45	0.00 $\pm$ 0.00		
25/0.00	45	0.00 $\pm$ 0.00		

จากตาราง 9 การย้อมสียีสต์ด้วยสีของโกเรดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 0.05 และ 0.025 (โดยมวลต่อปริมาตร) จะให้ค่าร้อยละการติดสีเฉลี่ยอยู่ที่ 90.85 $\pm$ 0.97, 8.79 $\pm$ 0.60 และ 3.23 $\pm$ 0.56 ตามลำดับ ขณะที่การย้อมสีความเข้มข้นเดียวกันนี้

ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะพบว่าร้อยละการติดสีเฉลี่ยนั้นลดลง โดยมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 3.56 ± 0.27 , 2.16 ± 0.25 และ 1.35 ± 0.29 ตามลำดับ และเมื่อลดอุณหภูมิของสีย้อมไปที่ 70 องศาเซลเซียส ก็จะทำให้ค่าร้อยละการติดสีเฉลี่ยที่น้อยลงเช่นเดียวกัน โดยจะมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 2.03 ± 0.20 , 0.52 ± 0.07 และ 0.36 ± 0.05 ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมจะให้ค่าร้อยละการติดสีเฉลี่ยอยู่ที่ 0.00 ± 0.00

เมื่อนำร้อยละการติดสีเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการย้อมสีมาเปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติเอฟ (F-test) พบว่า การย้อมสียีสต์ด้วยสีย้อมคองโกเรดที่สภาวะต่างกัน (อุณหภูมิและความเข้มข้น) จะให้ร้อยละการติดสีเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($F = 4307.10$ และ $p < .05$) (ตาราง 9) และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการติดสีรายทรีตเมนต์โดยใช้วิธีของ Dunnett's T3 จะพบว่า การย้อมยีสต์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สีย้อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.10 (โดยมวลต่อปริมาตร) จะให้ค่าร้อยละการติดสีของยีสต์ที่มากที่สุด (ภาพประกอบ 20 (ก)) รองลงมาจะเป็นการย้อมยีสต์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สีย้อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.05 (โดยมวลต่อปริมาตร) และการย้อมยีสต์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้สีย้อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.10 (โดยมวลต่อปริมาตร) ตามลำดับ (ภาพประกอบ 20 (ข)) ขณะที่การย้อมยีสต์ที่สภาวะควบคุมนั้น ไม่สามารถย้อมให้ยีสต์ติดสีได้ (ภาพประกอบ 20 (ค))



ภาพประกอบ 20 ยีสต์ที่ถูกย้อมสีที่สภาวะต่างกัน

- (ก) ที่ 90 องศาเซลเซียส และใช้สีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 (โดยมวลต่อปริมาตร)
- (ข) ที่ 80 องศาเซลเซียส และใช้สีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 (โดยมวลต่อปริมาตร)
- (ค) ที่สภาวะควบคุม

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้นำยีสต์ที่ถูกย้อมสีในสภาวะที่ให้ผลดีที่สุดมาทดลองใช้ โดยนำยีสต์ดังกล่าวไปให้พารามีเซียมกิน ซึ่งผลปรากฏว่าเมื่อยีสต์สีแดงเข้าไปอยู่ในแวคิวโอลย่อยอาหารของพารามีเซียม ยีสต์เหล่านั้นสามารถเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินได้อย่างชัดเจน (ภาพประกอบ 21) ดังนั้นการย้อมสียีสต์ที่สภาวะดังกล่าวจึงถูกนำไปใช้ในการทำปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม แทนเทคนิคปฏิบัติการของ Fok, Lee, & Allen (1982)



ภาพประกอบ 21 การเปลี่ยนสีของยีสต์ภายในแวคิวโอลย่อยอาหารของพารามีเซียม

1.2 ผลการศึกษาช่วงเวลาที่ไฮดราขับกากอาหารออกมาหลังจากกินอาหาร

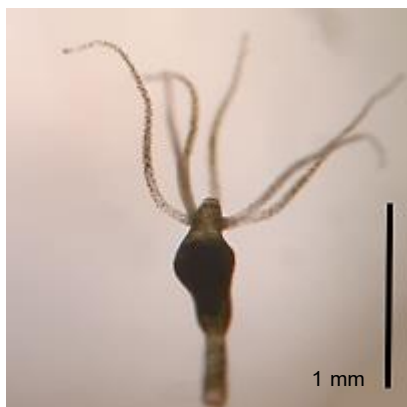
การศึกษาช่วงเวลาที่ไฮดราขับกากอาหารออกมาหลังจากกินอาหาร ผู้วิจัยคัดเลือกไฮดราที่มีความยาวลำตัวประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร และมีคะแนนทางสัณฐานอยู่ในระดับ 10 มาให้อาหารด้วยไรทะเล โดยไฮดรา 1 ตัว จะได้กินไรทะเล 1 ตัว จากนั้นสังเกตทุก ๆ ชั่วโมง ว่าไฮดราขับกากอาหารออกมาช่วงเวลาใด ซึ่งผู้วิจัยจะรายงานผลในรูปแบบของความถี่ของจำนวนไฮดรา ในแต่ละช่วงเวลาที่ขับกากอาหาร ซึ่งได้ผลดังตาราง 10

ตาราง 10 จำนวน (ร้อยละ) ของไฮดราที่ขับถ่ายกากอาหารออกมาในแต่ละช่วงเวลา

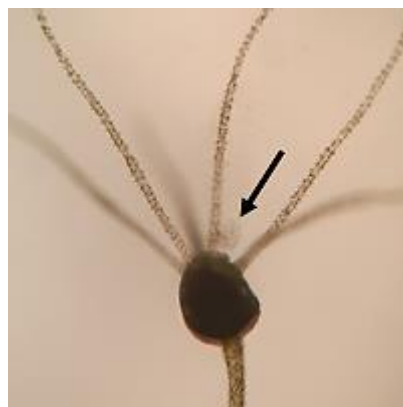
N = 75

ช่วงเวลาที่ไฮดราขับถ่ายกากอาหารหลังจากกินอาหาร	จำนวน (ร้อยละ) ของไฮดรา
0-1 ชั่วโมง	1 (1.33)
1-2 ชั่วโมง	1 (1.33)
2-3 ชั่วโมง	2 (2.67)
3-4 ชั่วโมง	2 (2.67)
4-5 ชั่วโมง	1 (1.33)
5-6 ชั่วโมง	19 (25.33)
6-7 ชั่วโมง	41 (54.67)
7-8 ชั่วโมง	5 (6.67)
8-9 ชั่วโมง	2 (2.67)
9-10 ชั่วโมง	1 (1.33)

จากตาราง 10 จะเห็นได้ว่าไฮดราส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 54.67 และ 25.33 จะขับถ่ายกากอาหารออกมาหลังจากที่กินไปแล้วนาน 7 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยลักษณะที่สังเกตได้ก่อนที่ไฮดราจะขับถ่ายกากอาหารนั้นจะเริ่มต้นจากการที่กากอาหารจะเคลื่อนที่จากบริเวณตอนกลางของลำตัวไปอยู่บริเวณลำตัวส่วนบนใกล้กับปาก (ภาพประกอบ 22 (ก)) จากนั้นจะสังเกตเห็นว่าปากจะเริ่มเปิดออกเป็นช่องว่างเล็ก ๆ จนกระทั่งมีกากอาหารบางส่วนค่อย ๆ ทะลักออกมา (ภาพประกอบ 22 (ข)) จนท้ายที่สุดไฮดราจะหดตัวอย่างรุนแรงเพื่อบีบไล่กากอาหารทั้งหมดออกมาจากช่องว่างภายในลำตัว (ภาพประกอบ 22 (ค)) ดังนั้น ในการที่จะให้นักเรียนศึกษาการขับกากอาหารของไฮดรา จึงควรให้อาหารไฮดราไว้ล่วงหน้าประมาณ 6-7 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพประกอบ 22 พฤติกรรมการขับถ่ายของไฮดรา

1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายทางเดินอาหารของพลาเนเรีย โดยใช้อาหารวันย่อยด้วยสียผสมอาหารที่มีความเข้มข้นต่างกัน

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายทางเดินอาหารของพลาเนเรีย โดยใช้อาหารวันย่อยด้วยสียผสมอาหารที่มีความเข้มข้นต่างกัน เริ่มต้นจากการหำร้อยละการตอบสนองต่ออาหาร (ตบกด) ที่ย่อยด้วยสียคาร์มีน สียผสมอาหารสีส้มแดง และที่ไม่ย่อยสีย (ชุดควบคุม) เพื่อศึกษาว่าพลาเนเรียมีการตอบสนองต่ออาหารย่อยสียทั้ง 2 ชนิด อย่างไร โดยผู้วิจัยนำตบกด 100 ไมโครลิตร และตบกด 100 ไมโครลิตร ที่ผสมกับสียคาร์มีนและสียผสมอาหาร อย่างละ 1 มิลลิกรัม บำปลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อขนาด 60 x 15 มิลลิเมตร จากนั้นเติมน้ำเลี้ยงพลาเนเรียลงไปจนเต็ม แล้วนำพลาเนเรีย 5 ตัว ใส่ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าว จากนั้นสังเกตว่าในระยะเวลา 5 นาที มีพลาเนเรียที่เข้ามากินอาหารกี่ตัว โดยทำการทดลองทั้งหมด 9 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าร้อยละการตอบสนองต่ออาหารของพลาเนเรีย แสดงผลดังตาราง 11

ตาราง 11 ร้อยละการตอบสนองต่ออาหารเฉลี่ยของอาหารแต่ละชนิด

ชนิดของอาหาร	N	ร้อยละการตอบสนองต่ออาหารเฉลี่ย $\pm$ S.E.	F	Sig.
ตับบด	9	100 $\pm$ 0.00	20.95	.000
ตับดัดย้อมด้วย สีผสมอาหาร	9	84.44 $\pm$ 19.44		
ตับดัดย้อมด้วย สีคาร์มีน	9	55.56 $\pm$ 16.67		

จากตาราง 11 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการตอบสนองต่ออาหารที่ไม่ย้อมสีมีค่า 100 $\pm$ 0.00 ขณะที่การตอบสนองต่ออาหารที่ย้อมสีด้วยสีผสมอาหารและสีคาร์มีนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 84.44 $\pm$ 19.44 และ 55.56 $\pm$ 16.67 ตามลำดับ ซึ่งหากนำค่าเฉลี่ยของร้อยละการตอบสนองต่ออาหารของปลานาเรียมาเปรียบเทียบกับรายทรีตเมนต์โดยใช้วิธีของ Dunnett's T3 จะพบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละการตอบสนองต่ออาหารที่ย้อมด้วยสีผสมอาหารนั้นมีความมากกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการตอบสนองต่ออาหารที่ย้อมด้วยสีคาร์มีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละการตอบสนองต่ออาหารที่ย้อมด้วยสีผสมอาหารและค่าเฉลี่ยร้อยละการตอบสนองต่ออาหารที่ไม่ย้อมสี ไม่แตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ ไม่ว่าจะเป็นอาหารที่ไม่ย้อมสีหรืออาหารที่ย้อมด้วยสีผสมอาหาร ปลานาเรียก็จะตอบสนองต่ออาหารดังกล่าวได้ดีเช่นกัน ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้สีผสมอาหารดังกล่าวมาใช้ย้อมสีอาหารของปลานาเรีย เพื่อทำให้มองเห็นทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวง่ายขึ้น

อย่างไรก็ดี การนำสีผสมอาหารมาย้อมตับบดนั้น อาจมีการฟุ้งกระจายของสีออกมาอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับน้ำ ซึ่งสีที่ฟุ้งออกมานี้ทำให้ปลานาเรียเคลื่อนที่หนีจากอาหาร ผู้วิจัยจึงได้ตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขและพบว่ามีรายงานการใช้วุ้นอาคาโรสที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 (โดยมวลต่อปริมาตร) เป็นตัวประสานสีย้อมกับอาหารของปลานาเรีย (ตับบด) (Forsthoefel et al., 2011) แต่ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะใช้วุ้นทำขนมแทนการใช้วุ้นอาคาโรส ทำให้เกิดคำถามขึ้นว่าจะต้องใช้วุ้นที่ความเข้มข้นเท่าใด จึงจะทำให้ปลานาเรียสามารถกินอาหารเข้าไปในช่องว่างภายในลำตัวให้เต็มได้ ผู้วิจัยจึงได้นำตับบดผสมกับน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1:2 มา 830 ไมโครลิตร ผสมกับวุ้นทำขนม 150 ไมโครลิตร (ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 และ 3 (โดยมวลต่อปริมาตร) ตามลำดับ) ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ จากนั้นนำไปป้ายลงบนสไลด์หลุม 20 ไมโครลิตร รอให้อาหารแข็งตัวจึงนำปลานาเรียที่อดอาหาร 2-3 วัน มากินอาหาร

ดังกล่าวเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปศึกษาใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอาหารรุ้น โดยทำการทดลองทั้งหมด 45 ซ้ำ ซึ่งผู้วิจัยได้รายงานผลการศึกษาดังตาราง 12

ตาราง 12 จำนวน (ร้อยละ) ของพลาณาเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพของอาหารรุ้น ที่ความเข้มข้นของรุ้นที่ต่างกัน

ร้อยละความเข้มข้น ของรุ้น (%w/v) ที่ผสมลงในอาหาร	N	จำนวน (ร้อยละ) ของพลาณาเรียในแต่ละระดับ ประสิทธิภาพของอาหารรุ้น				
		ระดับ 5	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 2	ระดับ 1
0 (Positive control)	45	45 (100.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
1	45	24 (53.33)	5 (11.11)	3 (6.67)	8 (17.78)	5 (11.11)
2	45	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	25 (55.56)	20 (44.44)
3	45	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	5 (11.11)	40 (88.89)
พลาณาเรียที่อดอาหาร (Negative control)	45	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	45 (100.00)

จากตาราง 12 พบว่า พลาณาเรียที่กินอาหารผสมรุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร) กว่าร้อยละ 53.33 มีประสิทธิภาพการมองเห็นทางเดินอาหารอยู่ในระดับ 5 คือ สามารถมองเห็นอาหารอยู่ในแขนงปฐมภูมิ (ทุกแขนง) แขนงทุติยภูมิ (ทุกแขนง) และแขนงตติยภูมิ (ทุกแขนงหรือบางแขนง) ดังภาพประกอบ 23 (ก) ขณะที่พลาณาเรียที่กินอาหารผสมรุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 (โดยมวลต่อปริมาตร) ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 55.56) มีประสิทธิภาพการมองเห็นทางเดินอาหารอยู่ในระดับ 2 คือ สามารถมองเห็นอาหารอยู่ในแขนงปฐมภูมิ (บางแขนง) แขนงทุติยภูมิ (บางแขนง) และแขนงตติยภูมิ (บางแขนงหรือไม่เห็นเลย) ดังภาพประกอบ 23 (ข) ส่วนพลาณาเรียที่กินอาหารผสมรุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 (โดยมวลต่อปริมาตร) ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 88.89) มีประสิทธิภาพการมองเห็นทางเดินอาหารอยู่ในระดับ 1 คือ สามารถมองเห็น

อาหารอยู่ในเฉพาะแขนงปล้องภูมิ (บางแขนง) ดังภาพประกอบ 23 (ค) หรือไม่สามารถมองเห็นอาหารอยู่ในแขนงดังกล่าวได้เลย ดังภาพประกอบ 23 (ง)



ภาพประกอบ 23 ลักษณะของพลาเนเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพของอาหารวุ้น
ที่ความเข้มข้นของวุ้นต่างกัน

(ก) ระดับ 5 (ข) ระดับ 2 (ค)-(ง) ระดับ 1

ผู้วิจัยจึงได้เลือกความเข้มข้นของวุ้นทำขนมที่ร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร) มาใช้ในการเตรียมอาหารวุ้น ซึ่งการศึกษาถัดไป จะเป็นการศึกษาว่าสัณผสมอาหารที่จะใช้ย้อมอาหารวุ้น ต้องมีความเข้มข้นเท่าใด จึงจะทำให้เห็นทางเดินอาหารของพลาเนเรียมีสีที่เข้มที่สุด โดยผู้วิจัยได้นำดัดบดผสมกับน้ำกลั่นที่อัตราส่วน 1:2 มา 830 ไมโครลิตร ผสมกับวุ้นทำขนม 150 ไมโครลิตร (ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร)) และสัณผสมอาหาร 20 ไมโครลิตร (ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 1 5 และ 10 (โดยมวลต่อปริมาตร)) ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ แล้วนำไปป้ายลงบนสไลด์หลุม 20 ไมโครลิตร รอให้อาหารแข็งตัวจึงนำพลาเนเรียที่อดอาหาร 2-3 วัน มากินอาหารดังกล่าวเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปศึกษาใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอาหารวุ้น (ทำการทดลองทั้งหมด 45 ซ้ำ) ซึ่งผู้วิจัยได้รายงานผลการศึกษาดังตาราง 13

ตาราง 13 จำนวน (ร้อยละ) ของพลาณาเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพของอาหารรุ้นที่ความเข้มข้นของสีผสมอาหารที่ต่างกัน

ร้อยละความเข้มข้น ของสีผสมอาหาร (%w/v)	N	จำนวน (ร้อยละ) พลาณาเรียในแต่ละระดับ ประสิทธิภาพของอาหารรุ้น		
		ระดับ 3	ระดับ 2	ระดับ 1
0	45	0	0	45
(Negative control)		(0.00)	(0.00)	(100.00)
1	45	0	15	30
		(0.00)	(33.33)	(66.67)
5	45	0	33	12
		(0.00)	(73.33)	(26.67)
10	45	39	3	3
		(86.66)	(6.67)	(6.67)

จากตาราง 13 พลาณาเรียที่กินอาหารรุ้นที่ความเข้มข้นของสีย้อมร้อยละ 10 (โดยมวลต่อปริมาตร) กว่าร้อยละ 86.66 มีประสิทธิภาพการมองเห็นสีในทางเดินอาหารอยู่ที่ระดับ 3 คือ มองเห็นทางเดินอาหารเป็นสีส้มเข้ม ดังภาพประกอบ 24 (ก) ขณะที่พลาณาเรียที่กินอาหารรุ้นที่ความเข้มข้นของสีย้อมร้อยละ 5 (โดยมวลต่อปริมาตร) ส่วนใหญ่ (ร้อยละ 73.33) จะมีประสิทธิภาพการมองเห็นสีในทางเดินอาหารอยู่ที่ระดับ 2 คือ มองเห็นทางเดินอาหารเป็นสีส้มอ่อน ดังภาพประกอบ 24 (ข) ส่วนพลาณาเรียที่กินอาหารรุ้นที่ความเข้มข้นของสีย้อมร้อยละ 4 (โดยมวลต่อปริมาตร) และที่ไม่ย้อมสี กว่าร้อยละ 66.67 และร้อยละ 100 (ตามลำดับ) จะมีประสิทธิภาพการมองเห็นสีในทางเดินอาหารอยู่ที่ระดับ 1 เท่านั้น คือ มองเห็นทางเดินอาหารเป็นสีน้ำตาล (สีของตับ) ดังภาพประกอบ 24 (ค-ง)



ภาพประกอบ 24 ลักษณะของพลาเนเรียในแต่ละระดับประสิทธิภาพของอาหารรุ่น
ที่ความเข้มข้นของสัผสมอาหารที่ต่างกัน

(ก) ระดับ 3 (ข) ระดับ 2 (ค)-(ง) ระดับ 1

ผู้วิจัยจึงได้เลือกอาหารรุ่นที่มีความเข้มข้นของรุ่นร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร) และความเข้มข้นของสัผสมอาหารที่ร้อยละ 10 (โดยมวลต่อปริมาตร) มาให้พลาเนเรียกินเพื่อที่จะได้มองเห็นทางเดินอาหารอย่างชัดเจนในการทำปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพลาเนเรีย

1.4 ผลการสร้างและพัฒนาระบบปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

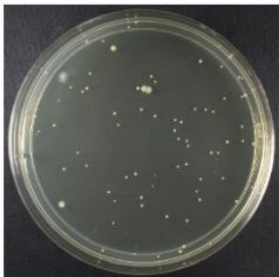
ผู้วิจัยได้นำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 1.1-1.3 การตรวจสอบเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาออกแบบบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต จำนวน 6 บทปฏิบัติการ คือ 1) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย 2) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม 3) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของไฮดรา 4) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพลาเนเรีย 5) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ และ 6) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ โดยแต่ละบทปฏิบัติการจะถูกสร้างขึ้นพร้อมกับแผนการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกัน ซึ่งรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ คือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมความสามารถใน

การเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่างบทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย

บทปฏิบัติการนี้ จะเริ่มต้นด้วยขั้นประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยครูจะให้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับการย่อยอาหารของแบคทีเรียดังภาพประกอบ จากนั้นนักเรียนจะได้ร่วมกันอภิปรายในกลุ่มและประเมินว่าคำอธิบายที่ให้มานี้ สมบูรณ์หรือไม่อย่างไร เพื่อเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนได้รู้จักว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีรูปแบบและองค์ประกอบอย่างไร ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 25

กิจกรรมที่ 1 ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาการสลายอาหารของแบคทีเรีย โดยการนำแบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลสได้มาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลสซึ่งได้ผลดังภาพ จากนั้นพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ตอบคำถามว่า “แบคทีเรียสามารถย่อยสลายอาหารได้อย่างไร?” แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง



คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

- **ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ):** แบคทีเรียหลั่งเอนไซม์ออกมา ย่อยสลายเซลลูโลส
- **หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง:** มีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหลายบริเวณบนอาหารเลี้ยงเชื้อ
- **เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง:** แบคทีเรียที่เจริญเติบโตบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้รับสารอาหารมาจากการย่อยเซลลูโลสจากอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยการหลั่งเอนไซม์ออกมาย่อยสลายภายนอกเซลล์

จากคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ข้างต้น นักเรียนคิดว่าเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีหรือไม่ (พิจารณาองค์ประกอบทั้ง 3 ของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ แล้วทำเครื่องหมายถูกในกล่องสี่เหลี่ยมหน้าข้อที่นักเรียนเห็นด้วย พร้อมระบุเหตุผล)

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

☐ ถูกต้อง ☐ ถูกต้องบางส่วน ☐ ไม่ถูกต้อง

.....

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

☐ เหมาะสมและเพียงพอ ☐ เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอ ☐ ไม่เหมาะสม

.....

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

☐ เหตุผลถูกต้องและแสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง

☐ เหตุผลถูกต้องแต่ไม่แสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง

☐ เหตุผลไม่ถูกต้อง

.....

.....

ภาพประกอบ 25 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในขั้นประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ขั้นถัดมาเป็นขั้นสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนจะได้ตั้งคำถาม รวมถึงออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบด้วยตนเอง ร่วมกับการอภิปรายทั้งชั้นเรียนเพื่อให้ได้วิธีการหาคำตอบของคำถามที่ตั้งไว้อย่างถูกต้องตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ และดำเนินการสืบเสาะให้ได้มาซึ่งผลที่จะนำไปใช้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม ดังภาพประกอบ 26-27

กิจกรรมที่ 2 สืบเสาะหาหลักฐาน

จากกิจกรรมที่ 1 นักเรียนจะเห็นได้ว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นเพื่อตอบคำถามว่า “แบคทีเรียสามารถย่อยสลายอาหารได้อย่างไร?” ยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการศึกษาข้างต้นยังไม่เพียงพอที่จะนำมาสร้างข้อกล่าวอ้างดังกล่าวได้ ส่งผลให้หลักฐานที่นำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างยังไม่เหมาะสม และเพียงพอ ทำให้ไม่สามารถให้เหตุผลที่ถูกต้องและเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้างได้ ดังนั้นนักเรียนคิดว่าเราจะมียุทธศาสตร์ในการสืบเสาะเพื่อตอบคำถามข้างต้นได้อย่างไร

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้ ก่อนที่นักเรียนจะออกแบบวิธีดำเนินการสืบเสาะเพื่อตอบคำถามที่สงสัย

1. แบคทีเรียและราเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์อาหารจากคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและแสงสว่างแล้วจึงดูดซึมกลับสารอาหารที่ได้จากการย่อยสลายเข้าไปใช้ภายในเซลล์
2. สีย้อมคองโกเรด (Congo red) มีสีแดง สามารถทำพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสได้ ดังนั้นบริเวณที่ไม่มีส่วนประกอบของเซลลูโลสก็จะไม่ติดสีแดงของคองโกเรด

วิธีดำเนินการสืบเสาะของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

วิธีดำเนินการสืบเสาะอย่างนักวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง: ให้นักเรียนทำปฏิบัติการเรื่อง การย่อยอาหารของแบคทีเรียโดยใช้อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการสืบเสาะดังนี้

วัสดุอุปกรณ์

1. แบคทีเรีย (*Bacillus* sp.) ที่เลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบและผ่านการบ่มนาน 24 ชั่วโมง
2. อาหารเลี้ยงเชื้อเปปตา (ไม่มี *Bacillus* sp.)
3. สีย้อมคองโกเรด (1% Congo red)
4. น้ำเกลือ (2% NaCl)
5. ถ้วยมียาง

วิธีการดำเนินการสืบเสาะ

1. นำสีย้อมคองโกเรดความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร มาเทลงบนเพลตที่เลี้ยงแบคทีเรีย (*Bacillus* sp.) และเพลตที่ไม่มีแบคทีเรียให้ท่วม ทั้งใวนาน 15-20 นาที

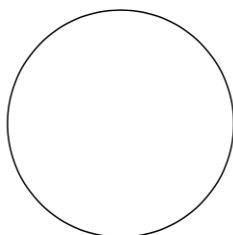


ภาพประกอบ 26 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในขั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์

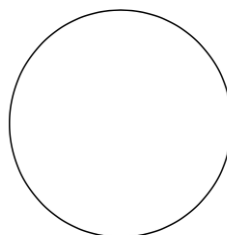
2. เทลีส้อมทั้งลงขวดเก็บสารที่ใช้แล้ว จากนั้นล้างส้อมส่วนเกินออกด้วยน้ำเกลือจนน้ำที่ล้างไม่มีสีแดงของส้อมคองโกเรดปนออกมาด้วย
3. สังเกตผลการศึกษาโดยพิจารณาที่เกิด Clear zone แล้วบันทึกลงในบทปฏิบัติการ

ผลการศึกษา

คำชี้แจง: ให้นักเรียนบันทึกผลการศึกษา พร้อมวาดภาพและบรรยายสิ่งลงในช่องว่างที่กำหนดให้



อาหารเลี้ยงเชื้อเปล่า



อาหารเลี้ยงเชื้อที่มี *Bacillus* sp.

สรุปผลการศึกษา

ในเพลตที่เลี้ยงแบคทีเรีย *Bacillus* sp. จะสังเกตเห็น.....ขึ้น เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถสร้างเอนไซม์.....แล้วหลั่งออกมาภายนอก.....เซลล์ เพื่อย่อยสลายเซลล์โลสที่อยู่รอบโคโลนีของแบคทีเรีย ทำให้บริเวณดังกล่าวไม่สามารถย้อมติดสีของคองโกเรดได้

ภาพประกอบ 27 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในชั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์

กิจกรรมที่ 3 สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากกิจกรรมที่ 1 ที่นักเรียนได้พิจารณาแล้วพบว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นนั้นยังไม่สมบูรณ์ ทั้งในองค์ประกอบของการสร้างข้อกล่าวอ้าง การให้หลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง และการให้เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง นักเรียนจึงได้ออกแบบวิธีการดำเนินการสืบเสาะใหม่ และได้ผลดังกิจกรรมที่ 2

คำชี้แจง: ให้นักเรียนใช้ผลจากการศึกษาการย่อยสลายอาหารของแบคทีเรียในกิจกรรมที่ 2 มาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามว่า “แบคทีเรียสามารถย่อยสลายอาหารได้อย่างไร?”

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

.....

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

.....

.....

.....

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

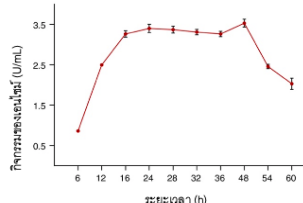
ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในชั้นเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

หลังจากที่รวบรวมข้อมูลพร้อมแล้ว ขึ้นถัดมา (ขึ้นเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์) นักเรียนจะได้นำผลการทำปฏิบัติการจากขั้นก่อนหน้า มาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ร่วมกันทั้งชั้นเรียน (ภาพประกอบ 28)

หลังจากที่นักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากข้อมูลที่ได้จากการทำปฏิบัติการแล้ว ในขั้นถัดไป (ขั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์) ครูจะนำผลการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาสรุปเป็นบทความสั้น ๆ ให้นักเรียนพิจารณา จากนั้นประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นว่ายังถูกต้อง สมบูรณ์อยู่หรือไม่ หากไม่ นักเรียนจะต้องใช้ข้อมูลที่ครูให้มานี้ มาปรับปรุงแก้ไขคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้สมบูรณ์มากขึ้น (ภาพประกอบ 29)

กิจกรรมที่ 4 ปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากกิจกรรมที่ 3 นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นมาเพื่อตอบคำถามว่า “แบคทีเรียสามารถย่อยสลายอาหารได้อย่างไร?” ในกิจกรรมที่ 4 นี้ ได้เสนอข้อมูลเพิ่มเติม นั่นคือการศึกษาของ Yang et al. (2014) ได้นำแบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์เซลลูเลสมาตรวจหา กิจกรรม (การทำงาน) ของเอนไซม์ดังกล่าวโดยใช้วิธีการของ Miller (1959) โดยกิจกรรมของเอนไซม์สูงบ่งบอกว่าเอนไซม์มีความสามารถในการย่อยเซลลูโลสให้น้ำตาลกลูโคสในปริมาณสูง ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าว



คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาการทดลองของ Yang et al. (2014) แล้วนำมาพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นว่ายังคงสมบูรณ์หรือต้องแก้ไขเพิ่มเติมในทุก ๆ องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

- ☐ คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของชั้นถูกต้องและสมบูรณ์ในทุก ๆ องค์ประกอบ
- ☐ คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของชั้นยังไม่ถูกต้องและไม่สมบูรณ์ในองค์ประกอบ
 - ☐ ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)
 - ☐ หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง
 - ☐ เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่แก้ไขแล้ว

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

.....

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

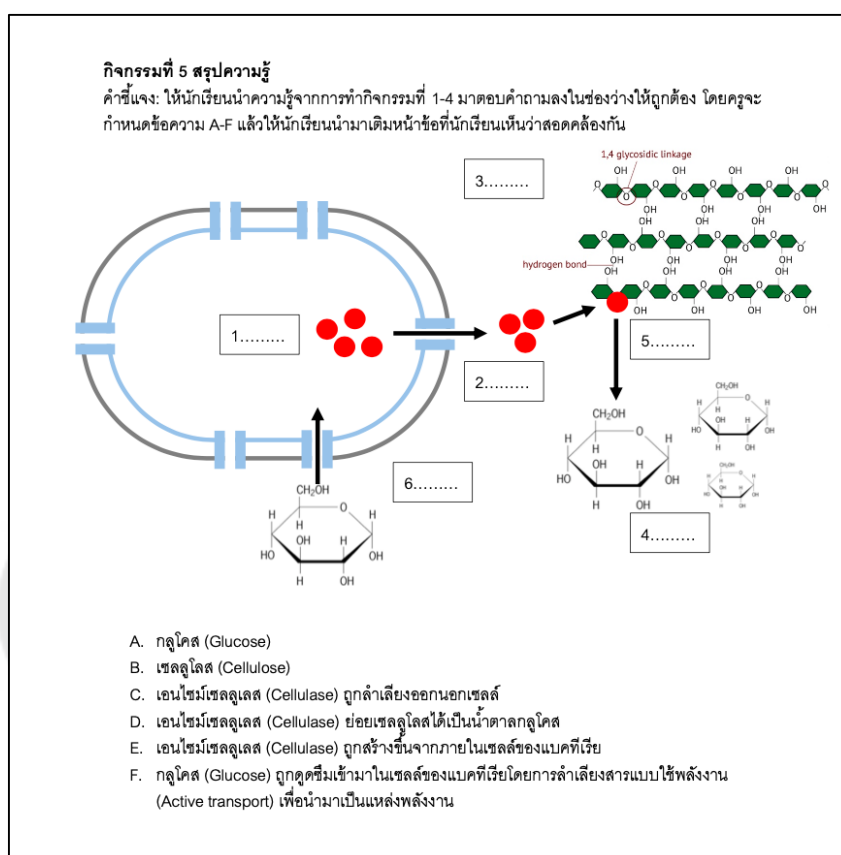
.....

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

.....

ภาพประกอบ 29 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในขั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ขั้นสุดท้าย (ขั้นประเมินผลการเรียนรู้) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้ทำแบบฝึกหัดเพื่อ ทบทวนความรู้เนื้อหาที่ได้จากการทำปฏิบัติการ รวมถึงทบทวนกระบวนการเขียนคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์ให้ถูกต้องตามหลักการอีกด้วย (ภาพประกอบ 30)



ภาพประกอบ 30 ตัวอย่างกิจกรรมในบทปฏิบัติการในขั้นประเมินผลการเรียนรู้

บทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด จะถูกส่งไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้าน ชีววิทยาซึ่งเป็นอาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยาศึกษาซึ่งเป็นอาจารย์ในคณะศึกษาศาสตร์และครุในโรงเรียนมัธยมศึกษา 2 ท่าน ตรวจสอบคุณภาพของ บทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ และประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ทั้งหมด 3 ด้าน 12 องค์ประกอบ ดังรายละเอียดที่แสดงในตาราง 14 ซึ่งผลจากการประเมินดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้มีค่า IOC ในทุก ๆ องค์ประกอบอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้

ตาราง 14 คุณภาพของบทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้

คุณภาพของบทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต	
ด้านที่ 1 การกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้	IOC
1. จุดประสงค์การเรียนรู้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ในสาระชีววิทยา (เรื่อง ระบบย่อยอาหาร) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)	0.96
ด้านที่ 2 การสร้างและออกแบบ	
1. ความรู้หรือเนื้อหาที่นำมาสร้างบทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และมีความเหมาะสมกับกลุ่มนักเรียน	1
2. ทักษะหรือการปฏิบัติที่นำมาสร้างบทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และมีความเหมาะสมกับกลุ่มนักเรียน	1
3. โครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ ครบถ้วนสมบูรณ์	1
4. มีการจัดเรียงขั้นตอนของการทำปฏิบัติการและการจัดการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม	1
5. คำสั่งหรือคำชี้แจงของบทปฏิบัติการมีความชัดเจน	1
6. ข้อคำถาม แบบฝึกหัด และเกณฑ์การประเมินในบทปฏิบัติการมีความชัดเจน	1
7. ภาษาและรูปภาพที่ใช้ในบทปฏิบัติการมีความเหมาะสม	0.6
ด้านที่ 3 การนำไปใช้	
1. บทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นสามารถส่งเสริมให้นักเรียนมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ (ความรู้ด้านเนื้อหา)	1
2. บทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นสามารถส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้	1
3. บทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นสามารถส่งเสริมให้นักเรียนมองว่ากระบวนการสืบเสาะจะช่วยให้ได้มาซึ่งคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ	1
4. บทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกัน	1

จากนั้นนำบทปฏิบัติการและแผนการจัดการเรียนรู้ที่นำไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา เพื่อประเมินประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ โดยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ พบว่า ประสิทธิภาพด้านที่ 1 ของบทปฏิบัติการ โดยภาพรวมอยู่ในระดับสูง ขณะที่ประสิทธิภาพด้านที่ 2 ของบทปฏิบัติการ ก็อยู่ในระดับสูงเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีนักเรียนมากกว่าร้อยละ 50 มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี

1.5 ผลการสร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ผู้วิจัยได้นำองค์ความรู้ต่าง ๆ มาสร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยข้อคำถาม 6 ข้อ ครอบคลุมแนวคิด เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต (ตาราง 8) โดยแต่ละข้อจะกำหนดข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ที่มาจากงานวิจัยให้นักเรียนพิจารณา แล้วให้นักเรียนนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์ (Extracellular & Intracellular digestion)

คำชี้แจง
ให้นักเรียนศึกษา 1) การทดลองของ Teather & Wood (1982) ที่ทำการตรวจสอบการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลสในแบคทีเรีย และ 2) การทดลองของ Fok & Allen (1982) ที่ทำการศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียม แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง

การทดลองที่ 1

- นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนประกอบหลักเป็นเซลลูโลส มาเลี้ยงแบคทีเรียที่สามารถสร้างเซลลูเลสได้
- นำหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อมาเชื่อมติดด้วยสีคองโกเรต 15 นาที แล้วล้างสีส่วนเกินด้วยน้ำเกลือ (สีคองโกเรตจะยึดติดส่วนของเซลลูโลสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ)
- สังเกตผลการทดลอง พบว่าเกิดวงใส (Clear zone) ที่เชื่อมไม่ติดสีคองโกเรตขึ้น

การทดลองที่ 2

- นำเซลล์ซีสดิบให้ พารามีเซียมกิน
- นำไปเชื่อมด้วยสีโกโมรี ซึ่ง เป็นสีที่สามารถยึดติดเอนไซม์จากไลโซโซมได้
- บริเวณใดมีเอนไซม์จากไลโซโซมจะยึดติดสีดำ
- สังเกตการเปลี่ยนแปลงของแนวคิวไลโซย่อยอาหาร พบว่าย้อมติดสีดำ

จากการทดลองให้นักเรียนอธิบายว่า "ลักษณะการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร"

.....

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

.....

.....

.....

ให้นักเรียนยกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

.....

.....

ภาพประกอบ 31 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

เรื่อง การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์

จากภาพประกอบ 31 คือ แบบวัดข้อที่ 1 ผู้วิจัยให้ข้อมูลจากการทดลองของ Teather & Wood (1982) ที่ได้นำแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสมาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ จากนั้นทำการย้อมสีอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าวโดยใช้สีย้อมคองโกเรด แล้วพบว่าเกิดวงใส (Clear zone) ขึ้น โดยมีการให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่าสีย้อมคองโกเรดจะย้อมติดบริเวณที่มีเซลลูโลสเท่านั้น ส่วนการทดลองของ Fok et al. (1982) ได้นำยีสต์มาให้พารามีเซียมกิน แล้วนำไปย้อมด้วยสีโกโมริ เพื่อติดตามการทำงานของเอนไซม์จากไลโซซิม ซึ่งผลปรากฏว่าเมื่อย้อมสีแล้ว จะพบเวสิเคิลที่ติดสีดำของสีโกโมริ ค่อย ๆ เคลื่อนที่เข้าหาเวสิเคิลย่อยอาหาร เมื่อนักเรียนพิจารณาข้อมูลดังกล่าวแล้ว ผู้วิจัยจะให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามว่า “ลักษณะการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิด เหมือนหรือต่างกันอย่างไร” โดยนักเรียนจะต้องเขียนอธิบายออกมาให้ตอบครบทุกองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของ McNeill & Krajcik (2006) ที่ประกอบด้วย ข้อกล่าวอ้าง (Claim) หลักฐาน (Evidence) และเหตุผลสนับสนุน (Reasoning) ดังข้อคำถามที่แสดงในภาพประกอบ พร้อมทั้งจัดทำเกณฑ์ในการประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ตาราง 15)

ตาราง 15 ตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบ ของคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
ข้อกล่าวอ้าง (Claim)	ไม่สร้างข้อกล่าวอ้าง หรือสร้างข้อกล่าว	สร้างข้อกล่าวอ้าง ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์	สร้างข้อกล่าวอ้างถูกต้อง และสมบูรณ์ เช่น การย่อย
ข้อยืนยันหรือ คำตอบของ คำถาม	อ้างไม่ถูกต้อง เช่น การย่อยอาหารของ สิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิด เหมือนกัน	เช่น การย่อยอาหาร ของสิ่งมีชีวิตทั้งสอง ชนิดต่างกัน (ไม่ระบุว่า สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมี การย่อยแบบใด)	อาหารของสิ่งมีชีวิตทั้งสอง ชนิดต่างกัน โดยแบคทีเรีย ย่อยอาหารภายนอกเซลล์ แต่พารามีเซียมมีย่อย อาหารภายในเซลล์

ตาราง 15 (ต่อ)

องค์ประกอบ ของคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
หลักฐาน (Evidence)	ไม่แสดงหลักฐาน	ใช้หลักฐานในการ	ใช้หลักฐานในการ
ข้อมูลทาง	สนับสนุนข้อกล่าว	สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้	สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้
วิทยาศาสตร์	อ้างหรือใช้หลักฐาน	เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอ	เหมาะสมและเพียงพอ
ที่สนับสนุน	ไม่เหมาะสมต่อการ	เช่น ใช้หลักฐานเพียง	เช่น 1) เกิดวงโคจรรอบ
ข้อกล่าวอ้างซึ่ง	สนับสนุนข้อกล่าว	หลักฐานเดียวจาก	โคโลนีของแบคทีเรียใน
ต้องเหมาะสม	อ้าง เช่น ระบุว่า การ	หลักฐานดังต่อไปนี้	ชุดทดลองของการ
และเพียงพอ	ทดลองทั้ง 2 คือ	1) เกิดวงโคจรรอบโคโลนี	ทดลองที่ 1 และ
	หลักฐาน	ของแบคทีเรียในชุด	2) แวกิวโอลย่อยอาหาร
		ทดลองของการทดลองที่	ย้อมติดสีดำของสีโกโมริ
		1 หรือ 2) แวกิวโอลย่อย	
		อาหารย้อมติดสีดำของ	
		สีโกโมริ	
การให้เหตุผล (Reasoning)	ไม่มีการให้เหตุผล	มีการให้เหตุผลแสดง	ให้เหตุผลถูกต้องและ
ข้อความแสดง	หรือเหตุผลที่ใช้ไม่	การเชื่อมโยงระหว่าง	สมบูรณ์แสดงการ
ความเชื่อมโยง	แสดงความ	หลักฐานและข้อกล่าว	เชื่อมโยงระหว่าง
ระหว่าง	เชื่อมโยงระหว่าง	อ้าง แต่อาจมีการอ้างอิง	หลักฐานและข้อกล่าว
ข้อกล่าวอ้างกับ	หลักฐานและ	หลักการทาง	อ้างโดยมีการอ้างอิง
หลักฐาน	ข้อกล่าวอ้าง	วิทยาศาสตร์ไม่	หลักการทาง
		เพียงพอ เช่น การที่ชุด	วิทยาศาสตร์ที่เหมาะสม
		ควบคุมของการทดลองที่	และเพียงพอ เช่น
		1 เกิดวงโคจรขึ้น เนื่องจาก	การที่ชุดควบคุมของการ
		แบคทีเรียหลัง	ทดลองที่ 1 เกิดวงโค
			เนื่องจาก

ตาราง 15 (ต่อ)

องค์ประกอบ ของคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
การให้เหตุผล (Reasoning)	เอนไซม์มาย่อยอาหาร	แบคทีเรียหลังเอนไซม์	
ข้อความแสดง	ขณะที่แควิโอลย่อย	เซลล์เอนไซม์ย่อยเซลล์เอนไซม์	
ความเชื่อมโยง	อาหารภายในเซลล์ของ	ทำให้หน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ	
ระหว่าง	พารามีเซียมย่อยติดสี	บริเวณที่มีแบคทีเรียไม่มี	
ข้อกล่าวอ้างกับ	โกโมริ เนื่องจากใน	เซลล์เอนไซม์จึงย่อยไม่ติดสีแดง	
หลักฐาน	แควิโอลมีเอนไซม์ที่	ของสีของโกเรด ขณะที่แควิโอล	
	ย่อยติดสีย้อมดังกล่าว	ย่อยอาหารภายในเซลล์ของ	
		พารามีเซียมย่อยติดสีโกโมริ	
		เนื่องจากไลโซโซมเข้าไปรวมตัว	
		กับแควิโอลย่อยอาหาร ทำให้	
		ภายในแควิโอลเต็มไป	
		ด้วยเอนไซม์ที่ย่อยติดสีย้อม	
		ดังกล่าว	

จากนั้นแบบวัดและเกณฑ์การประเมินทุกข้อจะถูกส่งไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยาซึ่งเป็นอาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยาศึกษาซึ่งเป็นอาจารย์ในคณะศึกษาศาสตร์และครุในโรงเรียนมัธยมศึกษา ตรวจสอบคุณภาพและประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ทั้งหมด 5 ด้าน ดังรายละเอียดที่แสดงในตาราง 16 ซึ่งผลจากการประเมินดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบวัดที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนี้มีค่า IOC ในแต่ละด้านอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในการวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำแบบวัดดังกล่าวไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) รายข้อ รวมทั้งหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดทั้งฉบับ โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ซึ่งพบว่า ค่าความยากง่ายของ

แต่ละข้อคำถาม มีค่าอยู่ระหว่าง 0.15-0.26 ค่าอำนาจจำแนก มีค่าอยู่ระหว่าง 0.26-0.83 และมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ที่ 0.81 ซึ่งล้วนแล้วแต่อยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้ได้ (ตาราง 17)

ตาราง 16 คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต (ด้านความเที่ยงตรง)

คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต	IOC
1. ความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity)	1
2. ความเที่ยงตรงเชิงเหตุผล (Logical validity)	1
3. ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content validity)	1
4. ความเที่ยงตรงเชิงเกณฑ์สัมพัทธ์ (Criterion-related validity)	1
5. ความเหมาะสมของภาษาและรูปภาพ	0.73

ตาราง 17 คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต (ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่น)

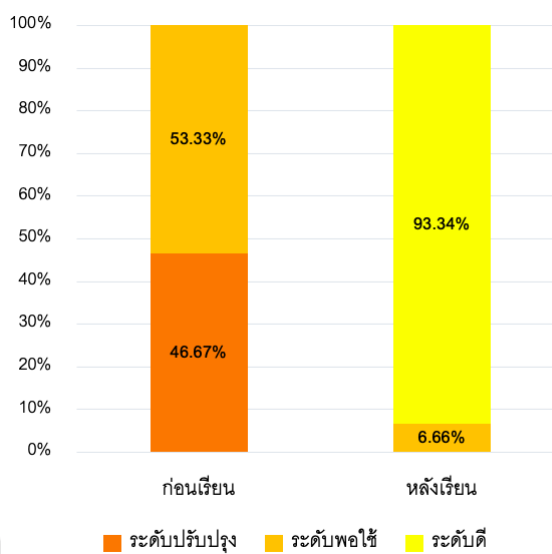
แบบวัดข้อที่	ค่าความยากง่าย (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)	ค่าความเชื่อมั่น
1	0.21	0.83	0.81
2	0.15	0.37	
3	0.26	0.26	
4	0.20	0.52	
5	0.21	0.38	
6	0.15	0.30	

2. ผลการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมผสานกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

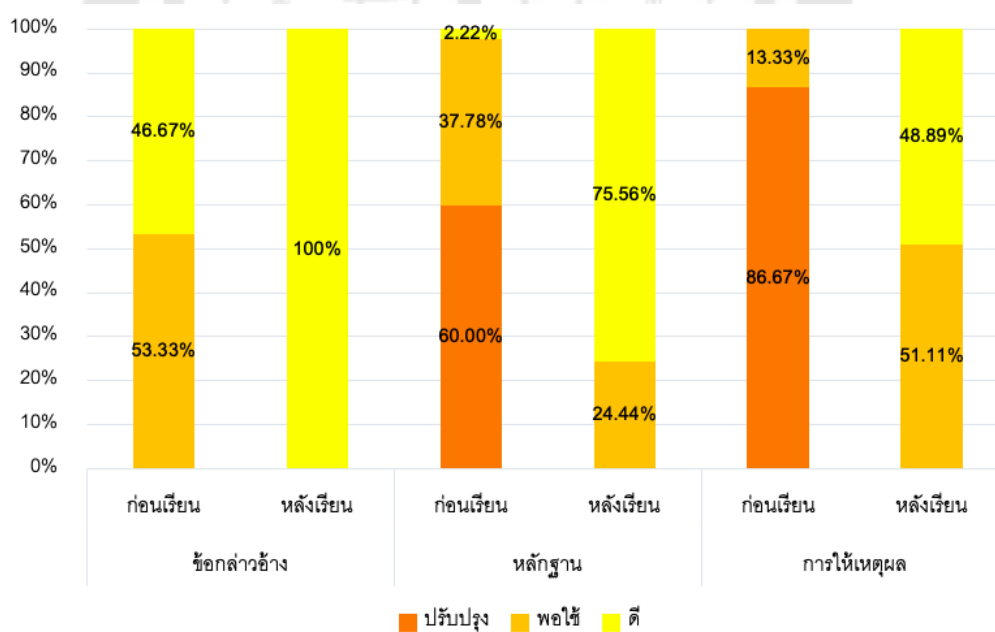
ในการตอบคำถามวิจัยข้อนี้ ผู้วิจัยได้วัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ก่อนและหลังการใช้บทปฏิบัติการ ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมผสานกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยแบบวัดนี้ประกอบไปด้วยข้อคำถามทั้งหมด 6 ข้อที่ครอบคลุมแนวคิด เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ดังตาราง 6 จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดย 1) วิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) เพื่อจัดระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับดี (2 คะแนน) ระดับพอใช้ (1 คะแนน) และระดับปรับปรุง (0 คะแนน) ทั้งโดยภาพรวมและแยกรายองค์ประกอบ และ 2) คำนวณหาคะแนนพัฒนาการจากสูตรของ Hake (1998) แล้ว นำมาจัดระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับสูง (0.70-1.0) ระดับปานกลาง (0.30-0.69) และระดับต่ำ (0.00-0.29)

ในการรายงานผล จะรายงานออกมา 2 รูปแบบ คือ 1) ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากแบบวัดทั้งฉบับ และ 2) ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์รายข้อ ซึ่งการรายงานทั้ง 2 รูปแบบนี้ จะนำเสนอข้อมูลเป็นจำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม และแยกรายองค์ประกอบ พร้อมแสดงจำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ในแต่ละระดับพัฒนาการ

จากภาพประกอบ 32 และ 34 พบว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 53.33 และ 46.67 มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต โดยภาพรวม จากแบบวัดทั้งฉบับ อยู่ในระดับพอใช้และระดับปรับปรุงตามลำดับ แต่เมื่อนักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการทำบทปฏิบัติการ ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมผสานกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แล้ว ทำให้หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนกว่าร้อยละ 93.34 สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในเรื่องดังกล่าว อยู่ในระดับดี ซึ่งสอดคล้องกับระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนร้อยละ 48.89 และ 51.11 ที่อยู่ในระดับสูงและระดับปานกลางตามลำดับ



ภาพประกอบ 32 ร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถ
ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดทั้งฉบับ โดยภาพรวม



ภาพประกอบ 33 ร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถ
ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดทั้งฉบับ แยกรายองค์ประกอบ

รหัส นักเรียน	ระดับความสามารถในการสร้าง คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์			คะแนน พัฒนาการ	ระดับพัฒนาการ
	ปรับปรุง	พอใช้	ดี		
ST01	→	→	→	0.74	สูง
ST02		→	→	0.53	ปานกลาง
ST03		→	→	0.75	สูง
ST04		→	→	0.68	ปานกลาง
ST05		→	→	0.36	ปานกลาง
ST06		→	→	0.76	สูง
ST07		→	→	0.81	สูง
ST08	→	→	→	0.64	ปานกลาง
ST09		→	→	0.70	สูง
ST10	→	→	→	0.59	ปานกลาง
ST11	→	→	→	0.63	ปานกลาง
ST12	→	→	→	0.73	สูง
ST13		→	→	0.76	สูง
ST14		→	→	0.86	สูง
ST15		→	→	0.81	สูง
ST16		→	→	0.80	สูง
ST17		→	→	0.71	สูง
ST18		→	→	0.71	สูง
ST19		→	→	0.86	สูง
ST20	→	→	→	0.84	สูง
ST21		→	→	0.65	ปานกลาง
ST22	→	→	→	0.72	สูง
ST23		•	→	0.48	ปานกลาง
ST24		→	→	0.61	ปานกลาง
ST25	→	→	→	0.76	สูง
ST26	→	→	→	0.75	สูง
ST27	→	→	→	0.60	ปานกลาง
ST28		→	→	0.79	สูง
ST29	→	→	→	0.76	สูง
ST30	→	→	→	0.67	ปานกลาง
ST31		→	→	0.74	สูง
ST32	→	→	→	0.54	ปานกลาง
ST33	→	→	→	0.56	ปานกลาง
ST34	→	→	→	0.60	ปานกลาง
ST35	→	→	→	0.68	ปานกลาง
ST36	→	→	→	0.80	สูง
ST37		→	→	0.53	ปานกลาง
ST38		→	→	0.65	ปานกลาง
ST39		→	→	0.64	ปานกลาง
ST40		→	→	0.50	ปานกลาง
ST41	→	→	→	0.62	ปานกลาง
ST42	→	→	→	0.68	ปานกลาง
ST43	→	→	→	0.52	ปานกลาง
ST44		→	→	0.64	ปานกลาง
ST45	→	→	→	0.75	สูง
รวมก่อนเรียน คน (ร้อยละ)	21 (46.67)	24 (53.33)	0 (0.00)	รวมพัฒนาการ ระดับสูง คน (ร้อยละ)	22 (48.89)
รวมหลังเรียน คน (ร้อยละ)	0 (0.00)	3 (6.66)	42 (93.34)	รวมพัฒนาการ ระดับปานกลาง คน (ร้อยละ)	23 (51.11)
				รวมพัฒนาการ ระดับต่ำ คน (ร้อยละ)	0 (0.00)

ภาพประกอบ 34 ระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม
ของนักเรียนรายบุคคล

รหัส นักเรียน	ระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แยกรายองค์ประกอบ								
	ข้อกล่าวอ้าง			หลักฐาน			การให้เหตุผล		
	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ปรับปรุง	พอใช้	ดี
ST01		→		→			→		
ST02			•		•		→		
ST03			•		•		→		
ST04			•		→		→		
ST05			•		→		→		
ST06			•		•		→		
ST07		→		→			→		
ST08		→		→			→		
ST09			•		→		→		
ST10		→		→			→		
ST11		→		→			→		
ST12		→		→			→		
ST13			•	→			→		
ST14			•		→			→	
ST15			•		→		→		
ST16			•		→		→		
ST17			•		→			→	
ST18			•		→			→	
ST19			•		→			→	
ST20		→		→			→		
ST21		→		→			→		
ST22		→		→			→		
ST23		→		→			→		
ST24		→			→		→		
ST25		→		→			→		
ST26			•	→			→		
ST27		→		→			→		
ST28			•		→		→		
ST29		→		→			→		
ST30		→		→			→		
ST31			•		→		→		
ST32		→		→			→		
ST33		→		→			→		
ST34		→		→			→		
ST35		→		→			→		
ST36		→		→			→		
ST37			•		→		→		
ST38		→		→			→		
ST39			•		→		→		
ST40			•			•		→	
ST41		→		→			→		
ST42		→		→			→		
ST43		→		→			→		
ST44			•	→			→		
ST45			•	→			→		
รวมก่อนเขียน คน (ร้อยละ)	0 (0.00)	24 (53.33)	21 (46.67)	27 (60.00)	17 (37.78)	1 (2.22)	39 (86.67)	6 (13.33)	0 (0.00)
รวมหลังเขียน คน (ร้อยละ)	0 (0.00)	0 (0.00)	45 (100.00)	0 (0.00)	11 (24.44)	34 (75.56)	0 (0.00)	23 (51.11)	22 (48.89)

ภาพประกอบ 35 ระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
แยกรายองค์ประกอบของนักเรียนรายบุคคล

เมื่อพิจารณาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน แยกรายองค์ประกอบ (ภาพประกอบ 33 และ 35) จะพบว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนจำนวนมาก ยังไม่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้าง ระบุหลักฐาน และให้เหตุผลได้ โดยมีนักเรียนกว่าร้อยละ 53.33 60.00 และ 86.67 ที่ถูกจัดอยู่ในระดับพอใช้ และระดับปรับปรุงตามลำดับ แต่ผู้วิจัยพบว่าหลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 100 และ 75.56) สามารถสร้างข้อกล่าวอ้าง และระบุหลักฐานได้ในระดับดี แต่การให้เหตุผลของนักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 51.11) นั้นยังอยู่ในระดับพอใช้

หากพิจารณาจากแบบวัดทั้งฉบับเพียงอย่างเดียว อาจทำให้ได้ข้อค้นพบที่ยังไม่สมบูรณ์ เพื่อให้เข้าใจถึงความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และลักษณะของคำอธิบายดังกล่าวที่นักเรียนสร้างขึ้นอย่างลึกซึ้ง ผู้วิจัยจึงขอนำเสนอผลการวิเคราะห์รายข้อดังนี้

จากแบบวัดข้อที่ 1 เรื่อง การย่อยอาหารภายนอกและภายในเซลล์ ที่ผู้วิจัยให้ข้อมูลจากการทดลองของ Teather & Wood (1982) และการทดลองของ Fok et al. (1982) ดังภาพประกอบ 31 มาให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลดังกล่าวแล้ว สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามว่า “ลักษณะการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิด เหมือนหรือต่างกันอย่างไร”

ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 82.23) มีการพัฒนาในระดับสูง (ตาราง 18) และหากพิจารณาแยกรายองค์ประกอบ จะพบว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนจะมีความยากลำบากในการระบุหลักฐานและให้เหตุผลเท่านั้น สังเกตได้จากจำนวนของนักเรียนกว่าร้อยละ 60.00 และ 71.11 ของทั้ง 2 องค์ประกอบ ยังอยู่ในระดับปรับปรุง ขณะที่การสร้างข้อกล่าวอ้างนั้นไม่ได้เป็นปัญหาสำหรับนักเรียน เนื่องจากมีนักเรียนกว่าร้อยละ 93.34 สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับดี แม้ว่าจะยังไม่ผ่านการจัดการเรียนรู้ โดยรูปแบบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนส่วนใหญ่ จะเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ข้อกล่าวอ้างถูกต้อง แต่การระบุหลักฐานและการให้เหตุผลยังไม่สมบูรณ์ ดังภาพประกอบ 36 ซึ่งหากพิจารณา จะพบว่าสาเหตุที่นักเรียนไม่สามารถระบุหลักฐานและให้เหตุผลได้นั้น เป็นเพราะนักเรียนไม่เข้าใจว่าข้อมูลแบบไหนที่เรียกว่าหลักฐาน และไม่เข้าใจว่าการให้เหตุผลนั้นต้องเขียนออกมาลักษณะใด แต่หลังจากที่ผ่านการจัดการเรียนรู้ไปแล้ว พบว่า นักเรียนกว่าร้อยละ 100, 95.56 และ 62.23 สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องสมบูรณ์ ระบุหลักฐานได้เหมาะสมและเพียงพอ อีกทั้งยังให้เหตุผลแสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้างได้อย่างชัดเจน ซึ่งกล่าวได้ว่านักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดี ในทุก ๆ องค์ประกอบ (ตาราง 19) ดังภาพประกอบ 37

ตาราง 18 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถและแต่ละระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 1 โดยภาพรวม

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน		ระดับพัฒนาการ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับดี	12 (26.67)	41 (91.10)	ระดับสูง	37 (82.23)
ระดับพอใช้	6 (13.33)	4 (8.90)	ระดับปานกลาง	6 (13.33)
ระดับปรับปรุง	27 (60.00)	0 (0.00)	ระดับต่ำ	2 (4.44)

ตาราง 19 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 1 แยกรายองค์ประกอบ

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบ					
	ข้อกล่าวอ้าง (Claim)		หลักฐาน (Evidence)		การให้เหตุผล (Reasoning)	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ระดับดี	42 (93.34)	45 (100.00)	17 (37.78)	43 (95.56)	0 (0.00)	28 (62.23)
ระดับพอใช้	1 (2.22)	0 (0.00)	1 (2.22)	1 (2.22)	13 (28.89)	15 (33.33)
ระดับปรับปรุง	2 (4.44)	0 (0.00)	27 (60.00)	1 (2.22)	32 (71.11)	2 (4.44)

จากการทดลองให้นักเรียนอธิบายว่า “ลักษณะการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดเหมือนกันหรือไม่”
 ตาเห็น เพราะการย่อยอาหารและการทดลองแรก คือการย่อยภายในเซลล์ ส่วนการทดลองที่ 2 คือการย่อยภายนอกเซลล์

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

การทดลองที่ 1 เนื้อที่เริ่มจะมีกลิ่นเหม็นภายในเซลล์ตัวเอง โดยที่มันนั้นไม่มีความ
 การทดลองที่ 2 นานาที่มีหมักมีกลิ่นเหม็นสลับสับไป พวกนี้จึงเกิดการย่อยภายในเซลล์

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

การทดลองที่ 1 มันไม่ได้อะไรออกมาแต่ก็เรียน
 การทดลองที่ 2 เติมน้ำใส่ในหลอดสลับสับในนานาที่มีหมัก เมื่อมีกลิ่น (เรลล์บัก) ก็ไม่

ภาพประกอบ 36 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์

จากการทดลองให้นักเรียนอธิบายว่า “ลักษณะการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดเหมือนกันหรือไม่”
 ต่างกัน เนื่องจากการทดลองที่ 1 เป็นการย่อยอาหารภายในเซลล์ แต่การทดลองที่ 2 เป็นการย่อย
 อาหารภายนอกเซลล์

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

การเกิดวงใส (Clear zone) ในการทดลองที่ 1 และ การย่อยเม็ดสีดำของแควโอลีในการทดลอง
 ที่ 2

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

เนื่องจากการทดลองที่ 1 ทำแบบที่เรย์ที่สามารถสร้าง enzyme เซลล์เดียว ซึ่งสามารถย่อย เซลล์โลส ได้เป็น
 กลูโคส แต่สีกองโกลจะยอมติดบริเวณส่วนของเซลล์โลสเท่านั้น จึงทำให้เกิดเป็นวงใส (Clear zone)
 แต่การทดลองที่ 2 นานามีเชื้อได้ทำการ phagocytosis เซลล์โลสเข้าไปในพลาสมาซึ่งเกิดเป็น
 food vacuole และมีการเคลื่อนไซโทพลาซึม ไคโซไซม ซึ่งสีไม่มียอมติดติดกับบริเวณที่มี
 เอนไซม์จากไลโซไซม ทำให้พบว่า food vacuole ยอมติดสีดำ

ภาพประกอบ 37 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารภายในและภายนอกเซลล์

จากแบบวัดข้อที่ 2 เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ผู้วิจัยจะให้
 ข้อมูลนักเรียนเกี่ยวกับกระบวนการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ดังภาพประกอบ 38 จากนั้นให้
 นักเรียนพิจารณาข้อมูลดังกล่าว แล้วนำมาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ว่า “สิ่งมีชีวิตชนิด
 ไตบ้างที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ตามลำดับ”

แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ (Complete and Incomplete digestive tract)				
คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาดูตารางแสดงกระบวนการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง				
ตารางแสดงกระบวนการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด				
สิ่งมีชีวิต	อาหารที่บริโภค	การนำอาหารเข้า	บริเวณที่เกิดการย่อย	การนำของเสียหรือกากอาหารออก
พารามีเซียม	แบคทีเรียและสาหร่ายขนาดเล็ก	ร่องปาก (Oral groove)	ไซโทพลาสซึม (Cytoplasm)	ไซโตพโรคท์ (Cytopyct)
ไฮดรา	ไรแดง ไรทะเล	ปาก (Mouth)	ช่องว่างภายในลำตัว (Gastrovascular cavity)	ปาก (Mouth)
พลาเนเรีย	อินทรีย์วัตถุ	ปาก (Mouth)	ช่องว่างภายในลำตัว (Gastrovascular cavity)	ปาก (Mouth)
ไส้เดือนดิน	อินทรีย์วัตถุ	ปาก (Mouth)	ก้น (Gizzard) และ ลำไส้ (Intestine)	ทวาร (Anus)
พยาธิตัวตืด	เลือด	ปากดูด (Sucker)	-	-

ภาพประกอบ 38 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

ซึ่งผลการวิจัยชี้ว่า ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนกว่าร้อยละ 62.22 มีการพัฒนาในระดับสูง (ตาราง 20) แต่หากพิจารณาแยกรายองค์ประกอบ จะพบว่าก่อนเรียน มีนักเรียนจำนวนมาก (ร้อยละ 84.45 88.89 และ 91.12) ที่ยังไม่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากนักเรียนยังมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน คือ เข้าใจว่าพารามีเซียมมีทางเดินอาหารสมบูรณ์ และพยาธิตัวตืดมีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ (ภาพประกอบ 39) ทั้งที่สิ่งมีชีวิตทั้งสองไม่มีทางเดินอาหาร ทำให้นักเรียนสร้างข้อกล่าวอ้างได้ไม่ถูกต้อง สำหรับการระบุหลักฐานและการให้เหตุผล นักเรียนได้อธิบายเพียงว่าช่องทางการนำอาหารเข้าและนำของเสียออกคือหลักฐาน เนื่องจากพารามีเซียมมีทางเข้าของอาหารและทางออกของกากอาหารคนละทางกัน จึงจัดว่ามีทางเดินอาหารสมบูรณ์ ส่วนพยาธิตัวตืดไม่มีทวารหนัก จึงจัดว่ามีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ ดังภาพประกอบ 39 ซึ่งจะพบว่ายังไม่ถูกต้องเช่นเดียวกัน แต่เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ไปแล้ว ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้น (ภาพประกอบ 40) โดยที่ไม่นำพารามีเซียมและพยาธิตัวตืดมาพิจารณา ซึ่งมีนักเรียนกว่าร้อยละ 77.78 ที่มีความสามารถอยู่ในระดับดี (ตาราง 21) แต่อย่างไรก็ตาม ในการระบุหลักฐานอาจพบปัญหาความไม่ชัดเจนของหลักฐานที่นักเรียนนำมา เช่น ระบุว่าสัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ มีทางเข้าของอาหารและทางออกของกากอาหารคนละทาง แทนที่จะระบุให้ชัดเจนเลยว่าสัตว์ที่กล่าวถึง คืออะไร ทำให้นักเรียนกว่าร้อยละ 55.56 ยังมีความสามารถอยู่ในระดับพอใช้ แต่อย่างไรก็ตาม ร้อยละของนักเรียนที่สามารถระบุหลักฐานในระดับดีก็เพิ่มขึ้นมาถึงร้อยละ 44.44 จากที่ไม่มียกเรียนอยู่ในระดับดังกล่าวเลยก่อนการจัดการเรียนรู้ ส่วนการให้เหตุผลของนักเรียนนั้น

แนวโน้มที่ดีขึ้น โดยนักเรียนกว่าร้อยละ 53.33 มีความสามารถอยู่ในระดับดี กล่าวคือ นักเรียนสามารถนำแนวคิดวิทยาศาสตร์มาอธิบายว่าหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร (ภาพประกอบ 40)

ตาราง 20 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถและแต่ละระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 2 โดยภาพรวม

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน		ระดับพัฒนาการ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับดี	2 (4.44)	28 (62.22)	ระดับสูง	28 (62.22)
ระดับพอใช้	2 (4.44)	17 (37.78)	ระดับปานกลาง	17 (37.78)
ระดับปรับปรุง	41 (91.12)	0 (0.00)	ระดับต่ำ	0 (0.00)

ตาราง 21 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 2 แยกรายองค์ประกอบ

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้าง คำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบ					
	ข้อกล่าวอ้าง (Claim)		หลักฐาน (Evidence)		การให้เหตุผล (Reasoning)	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ระดับดี	2 (4.44)	35 (77.78)	0 (0.00)	20 (44.44)	2 (4.44)	24 (53.33)
ระดับพอใช้	5 (11.11)	10 (22.22)	5 (11.11)	25 (55.56)	2 (4.44)	20 (44.44)
ระดับปรับปรุง	38 (84.45)	0 (0.00)	40 (88.89)	0 (0.00)	41 (91.12)	1 (2.22)

จากตาราง สิ่งมีชีวิตชนิดใดบ้างที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ตามลำดับ

.....ทางเดินอาหารสมบูรณ์ 1. งาฬมิเหิน 2. ไส้เดือนดิน

.....ทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ 1. ไส้คอก 2. พยาธิตัวตืด

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

.....ช่องทางการนำอาหารเข้าและออกของไส้ชคอก

.....

.....

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

.....ถ้าเป็นทางเดินอาหารสมบูรณ์...ช่องทางการนำอาหาร...ถ้าคนละทงกับช่องทางการนำอาหาร/บอเล็ดออก

.....แต่ถ้าเป็นทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์...จะมีทงเข้า-ออกทางเดียว

.....

.....

ภาพประกอบ 39 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้
เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

จากตาราง สิ่งมีชีวิตชนิดใดบ้างที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ตามลำดับ
ได้เกิดดิน สัตว์กินอาหารสมบูรณ์ , ไส้เดือน กุ้ง ปลา น้ำจืด สัตว์กินอาหารไม่สมบูรณ์

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

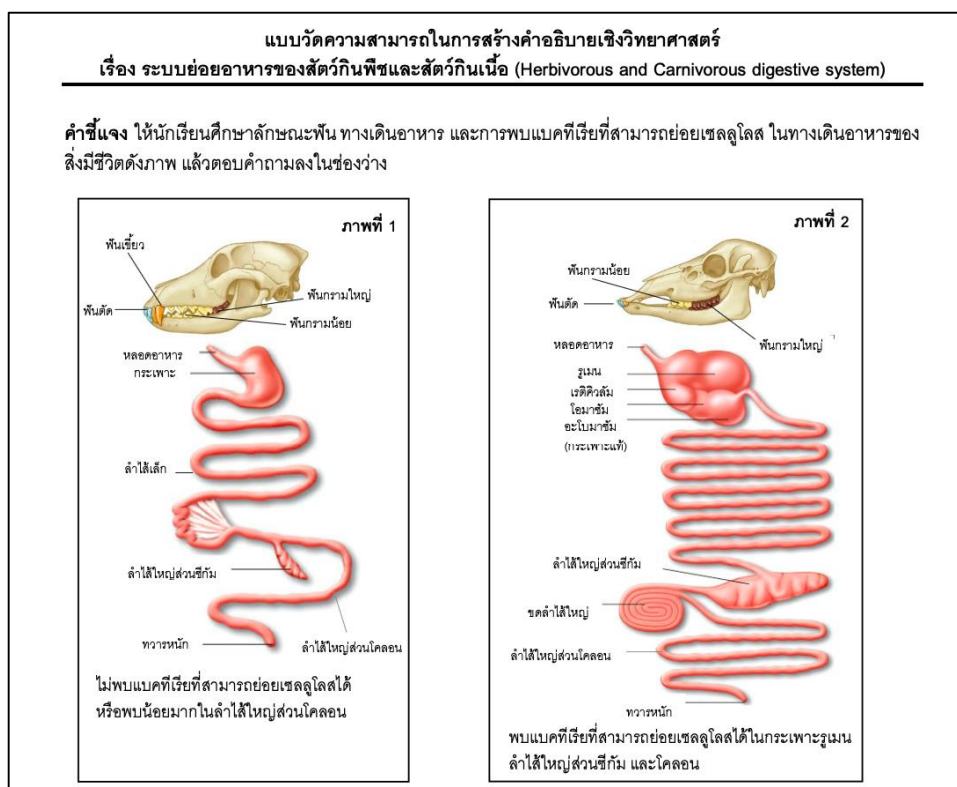
- ปลา น้ำจืด ไส้เดือน กินอาหารเข้าทางปากและนำของเสียออกทางเหงือก
- ได้เกิดดิน สัตว์กินอาหารเข้าทางปาก แต่นำของเสียออกทางเหงือก

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

เนื่องจากสิ่งมีชีวิตที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ คือสิ่งมีชีวิตที่มีทางเดินอาหาร เข้าและนำของเสียออก / ทางเหงือก
คนและ สัตว์กินอาหารในทางเดียวกัน สัตว์ที่มีชีวิตที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ คือสิ่งมีชีวิตที่นำอาหารเข้าและนำของ
เสียออกทางเหงือก ออกของทางเดียวกัน ดังนั้น ได้เกิดดิน สิ่งมีชีวิตที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์
ได้ ไส้เดือน ปลา น้ำจืด กินอาหารเข้าทางปาก

ภาพประกอบ 40 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้
เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

จากแบบวัดข้อที่ 3 เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่กินพืชและสัตว์กินเนื้อ ผู้วิจัยจะให้ข้อมูลนักเรียนเกี่ยวกับโครงสร้างและลักษณะของอวัยวะในระบบย่อยอาหารของสุนัขและโคกระบือ ดังภาพประกอบ 41 จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลดังกล่าว แล้วนำมาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ว่า “ภาพใดเป็นสิ่งที่มີชีวิตที่บริโภคพืชและภาพใดเป็นเป็นสิ่งที่มີชีวิตที่บริโภคสัตว์”



ภาพประกอบ 41 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง สัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ

ผู้วิจัยพบว่า ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนกว่าร้อยละ 62.22 มีการพัฒนาในระดับปานกลางเท่านั้น (ตาราง 22) โดยนักเรียนส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 84.44 และ 57.78 มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับพอใช้ ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ ถึงอย่างนั้นก็ไม่ได้หมายความว่านักเรียนจะไม่มีพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพราะหากพิจารณาแล้วจะพบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ มีนักเรียนกว่าร้อยละ 42.22 ที่ถูกจัดอยู่ในระดับดี ขณะที่ก่อนการจัดการเรียนรู้มีนักเรียนที่อยู่ในระดับดังกล่าวเพียงร้อยละ 2.22 เท่านั้น ซึ่งหากพิจารณาแยกรายองค์ประกอบ (ตาราง 23) จะพบว่านักเรียนแทบทุกคนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับดี แม้ว่าจะยังไม่ได้ผ่านการเรียนรู้มาก่อน คือสามารถบอกได้ว่าภาพที่ 1 เป็นสัตว์ที่บริโภคสัตว์ ส่วนภาพที่ 2 เป็นสัตว์ที่บริโภคพืช ส่วนการระบุหลักฐานและการให้เหตุผลนั้นยังคงเป็นความยากลำบากของนักเรียน ดังจะเห็นในตาราง 23 ว่ามีนักเรียนเพียงร้อยละ 2.22 เท่านั้น ที่สามารถระบุหลักฐาน และให้เหตุผลได้ในระดับดี ทั้งนี้เป็นเพราะนักเรียนยังขาดแนวคิดวิทยาศาสตร์บางเรื่อง รวมถึงยังไม่เข้าใจว่าการระบุหลักฐานจะต้องคำนึงถึงความเพียงพอของหลักฐานด้วย ทำให้นักเรียนให้หลักฐานมา

ไม่ครบ อาทิ กล่าวถึงการพบหรือไม่พบแบคทีเรียที่สามารถย่อยเซลลูโลสได้ในทางเดินอาหาร และเมื่อหลักฐานไม่ครบ จึงทำให้เหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างไม่สมบูรณ์ตามมา ดังภาพประกอบ 42 แต่เมื่อจัดการเรียนรู้ผ่านไป ผลการวิจัยก็ยังพบว่ากระบวนการระบุหลักฐานและการให้เหตุผลของนักเรียนยังพัฒนาไม่ดีเท่าที่ควร โดยนักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 73.33 และ 71.11) ยังคงอยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ยังมีนักเรียนกว่าร้อยละ 26.67 และ 20.00 ที่มีความสามารถในการระบุหลักฐานและการให้เหตุผลเพิ่มขึ้นมาอยู่ในระดับดีตามลำดับ จากเดิมที่มีนักเรียนในระดับดังกล่าวของทั้งสององค์ประกอบเพียงร้อยละ 2.22 เท่านั้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่านักเรียนกลุ่มนี้ สามารถระบุหลักฐานได้เหมาะสมและเพียงพอมากขึ้น โดยมีการนำทั้งลักษณะของฟัน ขนาดและจำนวนของกระดูกอาหาร ความยาวของลำไส้เล็ก ขนาดของลำไส้ใหญ่ส่วนซีกัม และการพบแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ในทางเดินอาหาร มาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง (ภาพประกอบ 43) ในขณะเดียวกันนักเรียนก็สามารถนำแนวคิดวิทยาศาสตร์มาอธิบายว่าเหตุใดหลักฐานที่ระบุมานี้จึงสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้เป็นอย่างดี

ตาราง 22 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถและแต่ละระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 3 โดยภาพรวม

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน		ระดับพัฒนาการ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับดี	1 (2.22)	19 (42.22)	ระดับสูง	3 (6.66)
ระดับพอใช้	38 (84.44)	26 (57.78)	ระดับปานกลาง	28 (62.22)
ระดับปรับปรุง	6 (13.33)	0 (0.00)	ระดับต่ำ	14 (31.12)

ตาราง 23 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการสร้าง
คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 3 แยกรายองค์ประกอบ

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบ					
	ข้อกล่าวอ้าง (Claim)		หลักฐาน (Evidence)		การให้เหตุผล (Reasoning)	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ระดับดี	43 (95.56)	45 (100.00)	1 (2.22)	12 (26.67)	1 (2.22)	9 (20.00)
ระดับพอใช้	0 (0.00)	0 (0.00)	38 (84.45)	33 (73.33)	27 (60.00)	32 (71.11)
ระดับปรับปรุง	2 (4.44)	0 (0.00)	6 (13.33)	0 (0.00)	17 (37.78)	4 (8.89)

จากข้อมูลที่กำหนดให้ นักเรียนคิดว่าภาพใดเป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคพืชและภาพใดเป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคสัตว์
ภาพที่ 1 เป็นสิ่งมีชีวิตบริโภคสัตว์
ภาพที่ 2 เป็นสิ่งมีชีวิตบริโภคพืช

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้ นักเรียนคิดเช่นนั้น
1. ภาพที่ 1 ไม่พบแบคทีเรียที่สาหร่ายอยู่เซลล์ได้/พบน้อยมากในลำไส้ในส่วนใดคอน
2. ภาพที่ 2 พบแบคทีเรียที่สาหร่ายอยู่เซลล์ได้ในกระเพาะหมัก ลำไส้ในส่วนที่กิน
แล้วใดคอน

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร
สิ่งมีชีวิตที่บริโภคพืชจะอาศัยอยู่ส่วนรับของเซลล์

ภาพประกอบ 42 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้
เรื่อง สัตว์ที่บริโภคพืชและสัตว์ที่บริโภคสัตว์

จากข้อมูลที่กำหนดให้ นักเรียนคิดว่าภาพใดเป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคพืชและภาพใดเป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคสัตว์

ภาพที่ 1 เป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคพืช

ภาพที่ 2 เป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคสัตว์

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้ให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

ภาพที่ 1 สัตว์เลี้ยง กระเพาะอาหารพบกระดูกสัตว์ สัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง ส่วนกระดูก
และพบแบคทีเรียที่สามารถย่อย Cellulose ได้

ภาพที่ 2 ไม่พบสัตว์เลี้ยง สัตว์กินเนื้อพบกระดูกสัตว์ สัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง ส่วนกระดูก สัตว์เลี้ยง
และพบแบคทีเรียที่สามารถย่อย Cellulose ได้

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

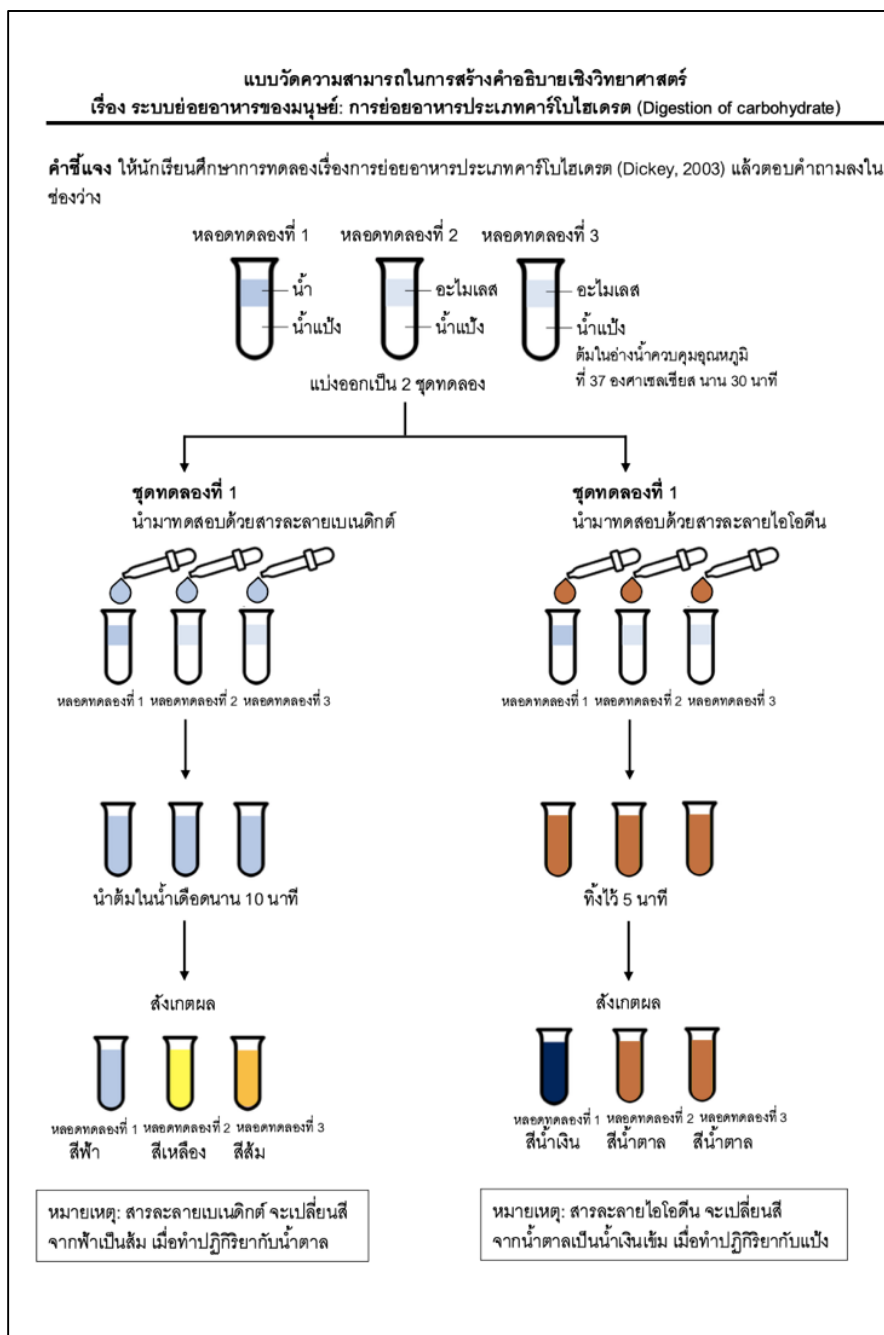
เนื่องจาก สิ่งมีชีวิตที่บริโภคพืช จะเลี้ยงสัตว์ในกระเพาะอาหาร และสัตว์ที่เลี้ยงสัตว์ในกระเพาะอาหาร
เลี้ยง สัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง ส่วนกระดูก เพราะสัตว์ที่เลี้ยงสัตว์ในกระเพาะอาหาร Cellulose ได้
ภาพที่ 1 จึงเป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคสัตว์ ส่วนภาพที่ 2 เป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคพืช เนื่องจากไม่พบสัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง
ในกระเพาะอาหาร ในกระเพาะอาหาร สัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง เพราะไม่พบ สัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง
สัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง และสัตว์ที่เลี้ยงสัตว์ในกระเพาะอาหาร เพราะสัตว์ที่เลี้ยงสัตว์ในกระเพาะอาหาร
เลี้ยง สัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยง Cellulose ได้

ภาพประกอบ 43 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้

เรื่อง สัตว์ที่บริโภคพืชและสัตว์ที่บริโภคสัตว์

จากแบบวัดข้อที่ 4 เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ผู้วิจัยจะให้ข้อมูลนักเรียนเกี่ยวกับการทดลองเรื่องการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (Dickey, 2003) ดังภาพประกอบ 44 จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลดังกล่าวแล้วนำมาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ว่า “คาร์โบไฮเดรตเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองได้บ้าง”

ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนกว่าร้อยละ 88.89 มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมอยู่ในระดับดี หลังการจัดการเรียนรู้ สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 55.56) มีพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับสูง (ตาราง 24) และหากพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แยกรายองค์ประกอบ จะพบว่าการจัดการเรียนรู้ นักเรียนกว่าร้อยละ 51.11 สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับดี คือสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องสมบูรณ์ คือสามารถบอกได้ว่าหลอดทดลองที่ 2 และ 3 เกิดการย่อยขึ้น ดังภาพประกอบ 46 แต่ก็ยังมีนักเรียนจำนวนหนึ่ง (ร้อยละ 46.67) ที่ยังสร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับพอใช้เท่านั้น คือ ตอบเพียงหลอดทดลองที่ 2 หรือ 3 ขณะที่องค์ประกอบด้านการระบุหลักฐานและการให้เหตุผลยังเป็นองค์ประกอบที่ยากสำหรับนักเรียน เช่นเดียวกับแบบวัดข้ออื่น ๆ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องด้วยนักเรียนยังไม่เข้าใจว่าข้อมูลแบบไหนที่จัดว่าเป็นหลักฐาน เช่น ระบุว่าเพราะน้ำไม่ทำปฏิกิริยากับแป้ง แต่จะไม่เลสจะย่อยแป้งเป็นมอลโทส เป็นต้น (ภาพประกอบ 45)



ภาพประกอบ 44 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

หรือระบุว่าสีของสารในแต่ละหลอดมีการเปลี่ยนแปลง แทนที่จะระบุลงไปให้ชัดเจนว่าสีของหลอดทดลองใด และเปลี่ยนจากสีอะไรเป็นสีอะไร ส่วนการให้เหตุผลก็กล่าวถึงแต่เพียงทฤษฎีว่า เอนไซม์อะไมเลสจะย่อยแป้งให้น้ำตาล แต่ไม่ยอมเชื่อมโยงว่าทฤษฎีดังกล่าวสัมพันธ์กับผลจากการทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนและสารละลายเบเนดิกต์อย่างไร (ภาพประกอบ 45) ซึ่งมีนักเรียนกว่าร้อยละ 57.78 และ 64.64 มีความสามารถด้านดังกล่าวอยู่ในระดับปรับปรุงตามลำดับ แต่เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้มาแล้ว จะพบว่าความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับดีในทุก ๆ องค์ประกอบ (ตาราง 25) กล่าวคือนักเรียนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น ขณะเดียวกันก็สามารถระบุหลักฐานได้เหมาะสมและเพียงพอ อีกทั้งสามารถให้เหตุผลเชื่อมโยงได้ว่าหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร (ภาพประกอบ 46)

ตาราง 24 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถและแต่ละระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 4 โดยภาพรวม

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน		ระดับพัฒนาการ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับดี	9 (20.00)	40 (88.89)	ระดับสูง	25 (55.56)
ระดับพอใช้	10 (22.22)	5 (11.11)	ระดับปานกลาง	10 (22.22)
ระดับปรับปรุง	26 (57.78)	0 (0.00)	ระดับต่ำ	10 (22.22)

ตาราง 25 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการสร้าง
คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 4 แยกรายองค์ประกอบ

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบ					
	ข้อกล่าวอ้าง (Claim)		หลักฐาน (Evidence)		การให้เหตุผล (Reasoning)	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ระดับดี	23 (51.11)	43 (95.56)	9 (20.00)	36 (80.00)	9 (20.00)	26 (57.78)
ระดับพอใช้	21 (46.67)	2 (4.44)	10 (22.22)	9 (20.00)	7 (15.56)	18 (40.00)
ระดับปรับปรุง	1 (2.22)	0 (0.00)	26 (57.78)	0 (0.00)	29 (64.44)	1 (2.22)

จากผลการทดลอง "คาร์โบไฮเดรตเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"
ในหลอด 2, 3

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

- น้ำไม่ทำปฏิกิริยากับแป้ง
- amylase จะย่อย แป้งใน เป็น maltose
- อุณหภูมิในห้องมีน้ำอุ่น $\alpha 1-4$ สลายให้ได้น้ำกลูโคส 2 mol

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

- น้ำไม่ทำปฏิกิริยากับแป้ง จึงไม่เกิดกลูโคส
- ใช้หลอดที่ 2 มี amylase ย่อย starch ได้ maltose
- หลอด 3 มี maltose อยู่ทุกอุณหภูมิในห้องมีน้ำอุ่นให้ได้น้ำกลูโคส

ภาพประกอบ 45 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

จากผลการทดลอง "คาร์โบไฮเดรตเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"
หลอดทดลองที่ ๒ และ ๖

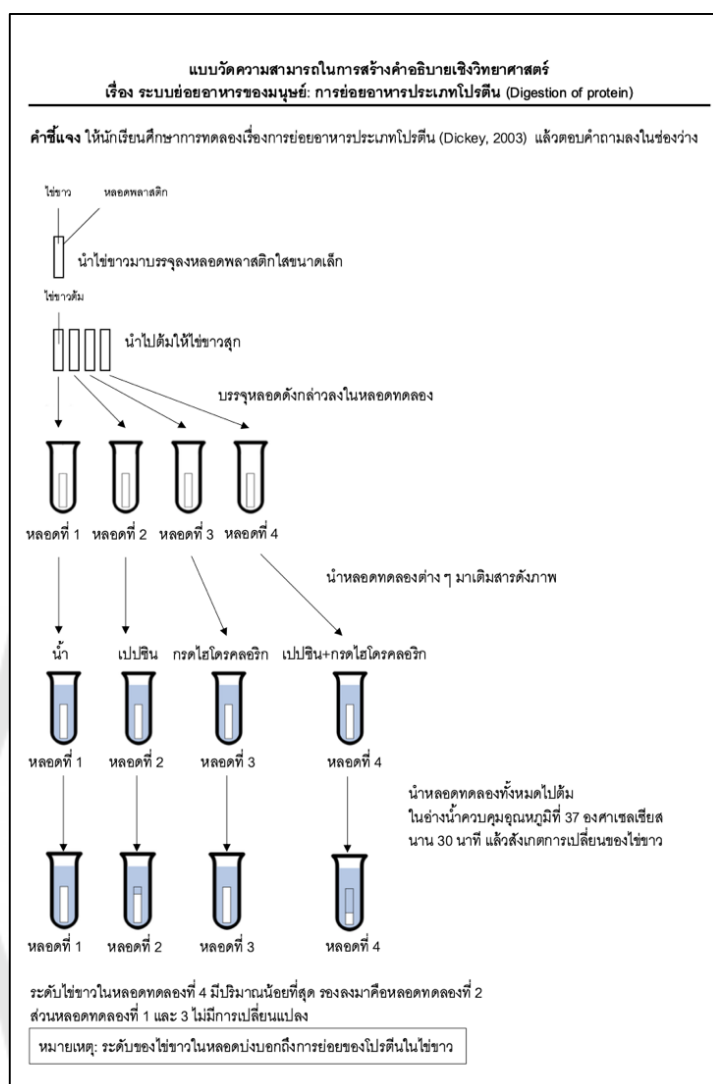
อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น
หลอดทดลองที่ ๒ และ ๖ เมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสี แต่เมื่อทดสอบ
ด้วยสารละลายเบเนดิกต์ เกิดการเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีเหลืองและส้ม

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร
เนื่องจาก สารละลายไอโอดีน จะทำปฏิกิริยากับแป้ง โดยเมื่อพบแป้งจะเปลี่ยนสีเป็นน้ำเงินดำ แต่ในหลอดทดลองที่ ๒ และ ๖ ไม่เกิดการเปลี่ยนสี แสดงว่าไม่มีแป้ง
และเมื่อทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำตาล พบว่าในหลอดทดลองที่ ๒ และ ๖ เกิดการ
เปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีเหลืองและส้ม แสดงว่าในหลอดทดลองทั้งสองมีน้ำตาลอยู่ โดยน้ำตาลเกิดจากการที่
อะไมเลสย่อยแป้ง จึงสามารถบอกได้ว่าหลอดทดลองที่ ๒ และ ๖ เกิดการย่อยแป้งได้จริง

ภาพประกอบ 46 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

จากแบบวัดข้อที่ 5 เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน
ผู้วิจัยจะให้ข้อมูลนักเรียนเกี่ยวกับการทดลองเรื่องการย่อยอาหารประเภทโปรตีน (Dickey, 2003)
ดังภาพประกอบ 47 จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลดังกล่าว แล้วนำมาสร้างคำอธิบาย
เชิงวิทยาศาสตร์ว่า "โปรตีนเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"

ผลการวิจัยชี้ว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 64.44)
มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมอยู่ในระดับพอใช้ ขณะที่หลัง
การจัดการเรียนรู้ มีนักเรียนกว่าร้อยละ 91.12 ที่มีความสามารถอยู่ในระดับดี ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมาก
หากเทียบกับก่อนการจัดการเรียนรู้ โดยในแบบวัดข้อนี้ นักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 55.56 และ
35.5) มีระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับปานกลางและระดับสูง
ตามลำดับ (ตาราง 26) ซึ่งหากพิจารณารายองค์ประกอบจะพบว่าทั้งก่อนและหลังการจัดการ
เรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ว่าหลอดทดลองที่เกิด
การย่อยขึ้นคือหลอดทดลองที่ 2 และ 4 (ภาพประกอบ 48 และ 49) ขณะที่นักเรียนกว่าร้อยละ
62.22 ยังไม่สามารถระบุหลักฐานที่ชัดเจนได้ โดยมักกล่าวเพียงว่าระดับไข่ขาวที่ลดลง โดยไม่ได้
ระบุให้ชัดเจนว่าในหลอดทดลองใดบ้าง (ภาพประกอบ 48) ส่วนการให้เหตุผลนั้นนักเรียนส่วน
ใหญ่ (ร้อยละ 66.67) ยังอยู่ในระดับปรับปรุง เนื่องจากนักเรียนไม่สามารถใช้ความรู้ทาง
วิทยาศาสตร์มาเขียนเป็นเหตุผลสนับสนุนว่าเหตุใดหลักฐานที่ให้มาจึงสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง อาทิ
นักเรียนจะให้เหตุผล ว่าที่หลอดทดลองที่ 2 และ 4 เกิดการย่อย เนื่องจากระดับไข่ขาวลดลง



ภาพประกอบ 47 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน

(ภาพประกอบ 48) แทนที่จะนำความรู้เรื่องเอนไซม์เปปซินมาใช้ในการให้เหตุผล แต่เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ไปแล้ว จะพบว่านักเรียนส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 95.56 และ 68.89 สามารถสร้างข้อกล่าวอ้าง และระบุหลักฐานได้ในระดับดี คือสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องสมบูรณ์ และระบุหลักฐานได้เหมาะสมและเพียงพอ (ภาพประกอบ 49) แต่การให้เหตุผลยังมีนักเรียนที่อยู่ในระดับดี คือ สามารถนำความรู้เรื่องเอนไซม์เปปซินมาใช้ในการให้เหตุผลสนับสนุนการลดลงของไข่ขาวในหลอดทดลองได้ (ภาพประกอบ 49) เพียงร้อยละ 42.22 เท่านั้น เพราะนักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 55.56) ยังให้เหตุผลได้ในระดับพอใช้เท่านั้น (ตาราง 27)

ตาราง 26 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถและแต่ละระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 5 โดยภาพรวม

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน		ระดับพัฒนาการ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับดี	9 (20.00)	41 (91.12)	ระดับสูง	16 (35.55)
ระดับพอใช้	29 (64.44)	3 (6.66)	ระดับปานกลาง	25 (55.56)
ระดับปรับปรุง	7 (15.56)	1 (2.22)	ระดับต่ำ	4 (8.89)

ตาราง 27 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 5 แยกรายองค์ประกอบ

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบ					
	ข้อกล่าวอ้าง (Claim)		หลักฐาน (Evidence)		การให้เหตุผล (Reasoning)	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ระดับดี	42 (93.33)	43 (95.56)	11 (24.45)	31 (68.89)	0 (0.00)	19 (42.22)
ระดับพอใช้	3 (6.67)	2 (4.44)	28 (62.22)	13 (28.89)	15 (33.33)	25 (55.56)
ระดับปรับปรุง	0 (0.00)	0 (0.00)	6 (13.33)	1 (2.22)	30 (66.67)	1 (2.22)

จากผลการทดลอง "โปรตีนเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"

หลอดทดลอง หลอดที่ 4 และ 2

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

พบ สดลง ของ ระดับ ไฟฟ้า ในหลอดทดลอง

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

หลอดทดลอง หลอดที่ 4 และ 2 มีระดับ ไฟฟ้า เปลี่ยนแปลง ได้เหมือนกัน แสดงว่า
มีโปรตีนย่อย ทดลอง มีภาวะ

ภาพประกอบ 48 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน

จากผลการทดลอง "โปรตีนเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"

หลอดที่ 2 และ หลอดที่ 4

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

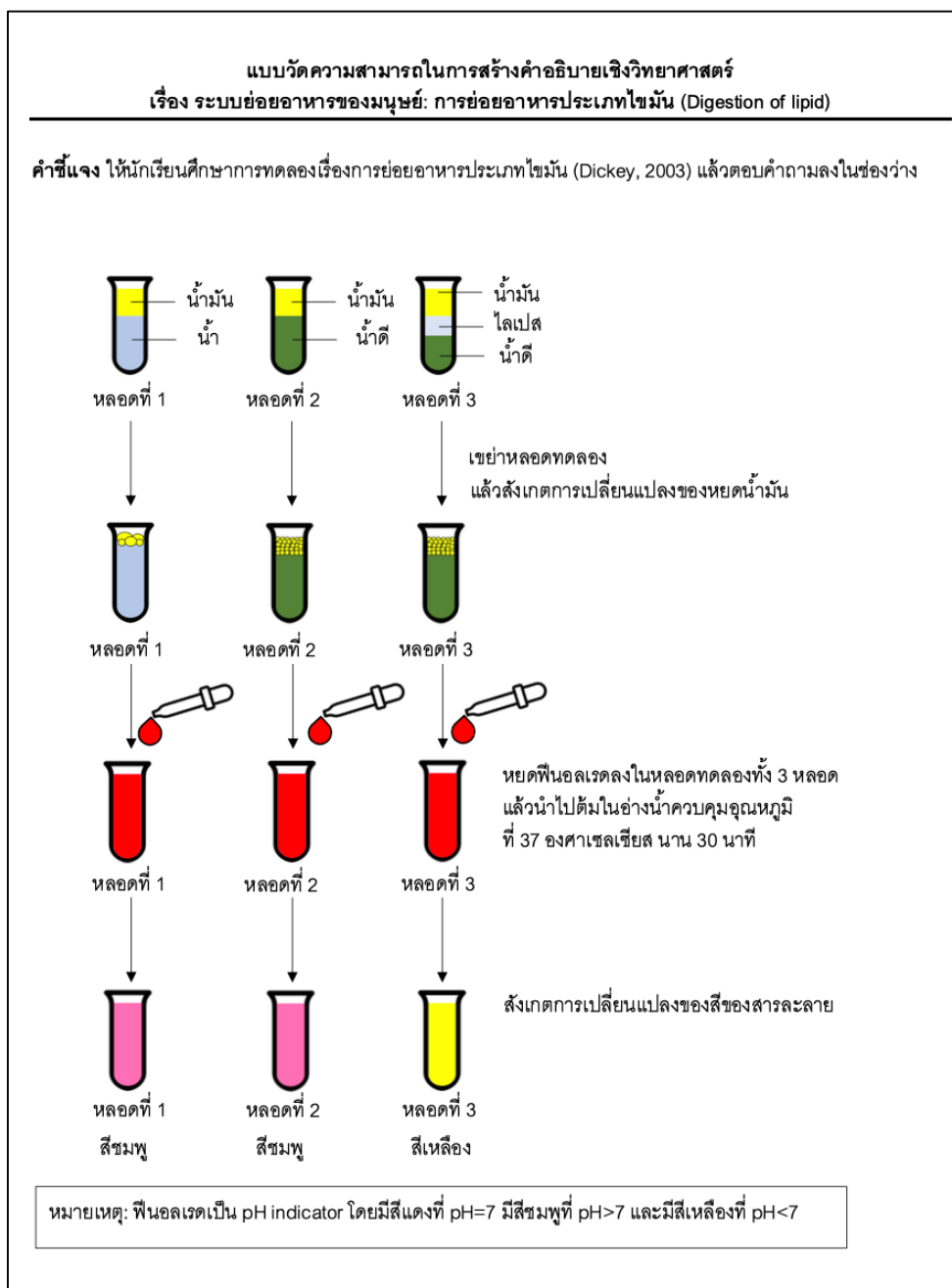
ปริมาณไข่ขาวในหลอด 2 และ 4 ลดลง

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

เนื่องจากโปรตีน เป็นเนื้อขาวที่ สามารถย่อยไปทางใต้ ซีดจางลงได้ ย่อยง่าย ปรกติสภาพ
สุกแล้ว หรืออยู่ในสภาวะ เป็นกรด ดังนั้น ไข่ขาวในหลอด 2, 4 จึงลดลง ในขณะที่หลอด 1, 3
ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ภาพประกอบ 49 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน

จากแบบวัดข้อที่ 6 เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน
ผู้วิจัยจะให้ข้อมูลนักเรียนเกี่ยวกับการทดลองเรื่องการย่อยอาหารประเภทไขมัน (Dickey, 2003)
ดังภาพประกอบ 50 จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลดังกล่าว แล้วนำมาสร้างคำอธิบายเชิง
วิทยาศาสตร์ว่า "ไขมันเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"



ภาพประกอบ 50 แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน

ผลการวิจัยพบว่า แบบวัดข้อนี้เป็นข้อเดียวที่นักเรียนมีระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ มากถึงร้อยละ 46.67 แต่อย่างไรก็ดี มีนักเรียนอีกกว่าร้อยละ 28.89 และ 21.44 ที่มีระดับพัฒนาการในระดับสูง และปานกลางตามลำดับ (ตาราง 28) ซึ่งหากพิจารณารายองค์ประกอบจะพบว่า ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนกว่าร้อยละ

100 และ 60.00 สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับปรับปรุงเท่านั้น กล่าวคือ นักเรียนสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ เช่น นักเรียนกล่าวว่าหลอดทดลองที่เกิดการย่อยไขมันขึ้นคือหลอดทดลองที่ 3 เท่านั้น (ภาพประกอบ 51) เนื่องจากนักเรียนเห็นว่าการใส่เอนไซม์ไลเปสลงไป แต่นักเรียนไม่คำนึงถึงว่าน้ำดีก็สามารถแตกตัวไขมัน ซึ่งจัดเป็นการย่อยเชิงกล ขณะที่การระบุหลักฐานและการให้เหตุผลของนักเรียนกว่าร้อยละ 51.11 และ 95.56 ยังอยู่ในระดับปรับปรุงเท่านั้นก่อนการจัดการเรียนรู้ เนื่องด้วยยังไม่ระบุหลักฐานที่เหมาะสมและเพียงพอ เช่น บอกเพียงว่าในหลอดทดลองมีการใส่สารอะไรบ้าง หรือบอกเพียงว่าหลอดทดลองที่ 3 มีการเปลี่ยนสีของฟีนอลเรด (ภาพประกอบ 51) แต่ไม่พูดถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีที่เกิดขึ้น นอกจากนี้นักเรียนยังไม่สามารถเชื่อมโยงได้ว่าหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยนักเรียนให้เหตุผลว่าที่เกิดการย่อยไขมันขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ไลเปสจะทำงานร่วมกับน้ำดีในการย่อย (ภาพประกอบ 51) โดยไม่มีการกล่าวถึงเลยว่าสีของฟีนอลเรด หรือลักษณะของหยดน้ำมันเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร อย่างไรก็ตาม หลังการจัดการเรียนรู้ยังพบว่านักเรียนมีพัฒนาการในการสร้างข้อกล่าวอ้างดีขึ้น (ตาราง 29) โดยกว่าร้อยละ 40.00 สามารถบอกได้ว่าหลอดทดลองที่เกิดการย่อยคือหลอดทดลองที่ 2 และ 3 (ภาพประกอบ 52) ส่วนการระบุหลักฐานและการให้เหตุผลนั้นมีนักเรียนพัฒนามาอยู่ในระดับพอใช้เพิ่มมากขึ้น (ร้อยละ 77.78 และ 66.67 ตามลำดับ) โดยนักเรียนสามารถระบุหลักฐานได้ชัดเจนมากขึ้น คือกล่าวถึงทั้งหลักฐานที่แสดงให้เห็นการย่อยเชิงกลและเชิงเคมี อาทิ การแตกตัวของหยดน้ำมันและการทดสอบด้วยฟีนอลเรด แต่ก็ยังขาดความชัดเจนว่าการเปลี่ยนแปลงของสารที่ระบุมานั้น เกิดขึ้นในหลอดทดลองใดและเกิดอย่างไร (ภาพประกอบ 52) ทำให้นักเรียนไม่สามารถระบุหลักฐานไปถึงระดับดีได้ เช่นเดียวกันกับการให้เหตุผลที่นักเรียนส่วนใหญ่ไม่ได้นำแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรด-เบส pH indicator การทำงานของเอนไซม์เปปซิน มาใช้ในการให้เหตุผลประกอบ แต่การให้เหตุผลในภาพประกอบ 52 จัดว่าสามารถให้เหตุผลได้ในระดับดี เนื่องจากมีการอธิบายไล่เรียงอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่ระบุว่าในแต่ละหลอดทดลองใส่สารอะไรลงไปบ้าง และแต่ละสารทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร แล้วจึงลงข้อสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นจัดว่าเป็นการย่อยประเภทใด

ตาราง 28 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถและแต่ละระดับพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 6 โดยภาพรวม

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน		ระดับพัฒนาการ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับดี	0 (0.00)	14 (31.12)	ระดับสูง	13 (28.89)
ระดับพอใช้	2 (4.44)	29 (64.44)	ระดับปานกลาง	11 (21.44)
ระดับปรับปรุง	43 (95.56)	2 (4.44)	ระดับต่ำ	21 (46.67)

ตาราง 29 จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละระดับของความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของแบบวัดข้อที่ 6 แยกรายองค์ประกอบ

N = 45

ระดับความสามารถ ในการสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์	จำนวน (ร้อยละ) ของนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบ					
	ข้อกล่าวอ้าง (Claim)		หลักฐาน (Evidence)		การให้เหตุผล (Reasoning)	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ระดับดี	0 (0.00)	18 (40.00)	0 (0.00)	9 (20.00)	0 (0.00)	13 (28.89)
ระดับพอใช้	45 (100.00)	27 (60.00)	22 (48.89)	35 (77.78)	2 (4.44)	30 (66.67)
ระดับปรับปรุง	0 (0.00)	0 (0.00)	23 (51.11)	1 (2.22)	43 (95.56)	2 (4.44)

จากผลการทดลอง "การย่อยไขมันเกิดขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"
หลอดที่ 3

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้ให้นักเรียนคิดเช่นนั้น
หลอดที่ 3 เปลี่ยนฟีนอลเรดให้เป็นสีแดง ซึ่ง $\text{pH} < 7$ และมี enzyme lipase

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร
เอนไซม์ไลเปสจะทำงานร่วมกับถุงน้ำดีในการย่อยไขมัน

ภาพประกอบ 51 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนการจัดการเรียนรู้
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน

จากผลการทดลอง "การย่อยไขมันเกิดขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"
เกิดการย่อยไขมันขึ้นในหลอดทดลองที่ 3 และ 4

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้ให้นักเรียนคิดเช่นนั้น
ท่อน้ำดีที่ตัวของหนูมีไขมัน และผลการทดลองด้วยฟีนอลเรด

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร
เป็นข้อสังเกต
เนื่องจากในหลอดทดลองที่ 3 ทดสอบ น้ำมันกับน้ำดี เราพบว่า มันทำให้น้ำเปลี่ยนสีจากสีแดง เป็นน้ำขุ่นขาว และในหลอดทดลองที่ 4 ทดสอบ น้ำกับไขมันและไลเปส ทำให้น้ำขุ่นขาว และเมื่อทดสอบด้วยฟีนอลเรด จะเปลี่ยนเป็นสีแดง และเมื่อทดสอบด้วยฟีนอลเรด จะเปลี่ยนเป็นสีแดง 7 จากกรดไขมันที่เกิดการย่อยด้วยไลเปส ซึ่งสรุปได้ว่า เกิดการย่อยไขมันที่ หลอดทดลองที่ 3 และ 4

ภาพประกอบ 52 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน

3. แนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมกัลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

การค้นหาแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมกัลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ที่

ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) สร้างความสนใจผ่านการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 2) สำนวตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ 3) เขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 4) ขยายความรู้เพื่อปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ 5) ประเมินผลการเรียนรู้ ซึ่งขณะดำเนินการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ บันทึกพฤติกรรมการสอน และการสัมภาษณ์ถึงโครงสร้ง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์แก่นสาระ (Thematic analysis) เพื่อหาแนวปฏิบัติที่ดี โดยผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นวงจร 6 วงจร ตามขั้นตอนวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนของ Kemmis & McTaggart (1998)

ผู้วิจัยพบแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้ทบทวนปฏิบัติการชีววิทยา เพื่อส่งเสริมความสามารถในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายทั้งสิ้น 4 แนวปฏิบัติ ประกอบด้วย

1) การอภิปรายและประเมินหาจุดแข็งหรือจุดอ่อนของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หลังดำเนินการสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์จะช่วยพัฒนาให้นักเรียนมีความรู้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น

2) การประยุกต์วิธีทำปฏิบัติการระดับมหาวิทยาลัยมาใช้ โดยการปรับให้เข้ากับบริบทและข้อจำกัดของโรงเรียน จะทำให้นักเรียนได้ดำเนินการสำรวจตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพและนำผลที่ได้มาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

3) การขยายความรู้โดยการนำผลการวิจัยทางวิทยาศาสตร์มาสรุปเป็นบทความสั้น ๆ ที่เข้าใจง่าย มาให้นักเรียนศึกษาและพิจารณาเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้สมบูรณ์มากขึ้น อีกทั้งช่วยให้นักเรียนเข้าใจว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์นั้นจะต้องมาจากกระบวนการสำรวจตรวจสอบที่น่าเชื่อถือ

4) การอภิปรายทั้งชั้นเรียนในขั้นประเมินผลการเรียนรู้ร่วมกับการใช้ผังเชื่อมโยงให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น

แนวปฏิบัติที่ 1 การอธิบายและประเมินหาจุดแข็งหรือจุดอ่อนของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หลังดำเนินการสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์จะช่วยพัฒนาให้นักเรียนมีความรู้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น

การใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในขั้นแรกผู้วิจัยจะกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยให้ศึกษาและพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการทำปฏิบัติการหรือการทดลองที่มีข้อบกพร่อง ว่ามีการสร้างข้อกล่าวอ้าง ระบุหลักฐาน และให้เหตุผลเป็นอย่างไร ทั้งนี้ จุดประสงค์ของผู้วิจัยคือต้องการให้นักเรียนรู้จักองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง และแต่ละองค์ประกอบมีบทบาท หน้าที่ หรือลักษณะอย่างไร จึงสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ให้ผู้อ่านเข้าใจและเชื่อถือได้ อย่างไรก็ตามการเริ่มต้นการจัดการเรียนรู้โดยการให้นักเรียนประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ อาจยังไม่เหมาะสมเท่าที่ควร เนื่องจากนักเรียนยังขาดความรู้เนื้อหาในเรื่องนั้น ๆ ทำให้ยังประเมินคำอธิบายได้ไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้ยากที่จะมองออกว่าคำอธิบายที่ครูให้มามีจุดแข็งหรือจุดอ่อนประการใด ผู้วิจัยจึงขอเสนอให้จัดกิจกรรมดังกล่าว หลังจากขั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนมีความพร้อมในเรื่องของแนวคิดวิทยาศาสตร์แล้ว จะทำให้นักเรียนประเมินคำอธิบายได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลให้นักเรียนเห็นภาพว่าแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน การให้เหตุผล) ควรมีลักษณะอย่างไร

โดยแนวปฏิบัตินี้ได้มาจากวงจรที่ 1 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย) ที่ผู้วิจัยเริ่มต้นด้วยการให้นักเรียนพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์ว่า “แบคทีเรียสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” (ภาพประกอบ 25) จากนั้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอธิบายและประเมินคำอธิบายโดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นว่าถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่ ซึ่งผลปรากฏว่านักเรียนทุกกลุ่มไม่สามารถประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ เนื่องจากแผนการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ เป็นครั้งแรก ซึ่งนักเรียนไม่เคยเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มาก่อน ทำให้นักเรียนทุกกลุ่มไม่สามารถประเมินคำอธิบายดังกล่าวได้ด้วยตนเอง สอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของทั้งฉบับก่อนการจัดการเรียนรู้ ที่มีนักเรียนกว่าร้อยละ 53.33 และ 46.67 อยู่ในระดับพอใช้และระดับปรับปรุงตามลำดับ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับบทสนทนาของนักเรียนระหว่างการอภิปรายกลุ่มเพื่อประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ดังนี้

หัวหน้ากลุ่ม: เพื่อน ๆ คิดว่าข้อกล่าวอ้างนี้ถูกต้องหรือไม่

สมาชิกคนที่ 1: ไม่รู้เลย เพราะไม่เคยเรียนเรื่องแบคทีเรีย

สมาชิกคนที่ 2: เราคิดว่าข้อกล่าวอ้างน่าจะถูกต้องบางส่วน ไม่รู้ละ เดาเอา

หัวหน้ากลุ่ม: ครูเขาให้บอกเหตุผลด้วยอย่า ทำไม่ถึงตอบอย่างนั้น

สมาชิกคนที่ 1: ข้อกล่าวอ้างดูสั้นไป น่าจะยังไม่ถูก (หัวเราะ)

หัวหน้ากลุ่ม: หลักฐานที่ให้มาเหมาะสมและเพียงพอไหม

สมาชิกคนที่ 3: น่าจะเหมาะสมแต่ยังไม่พอ เพราะเราคิดว่ามันน้อยไป

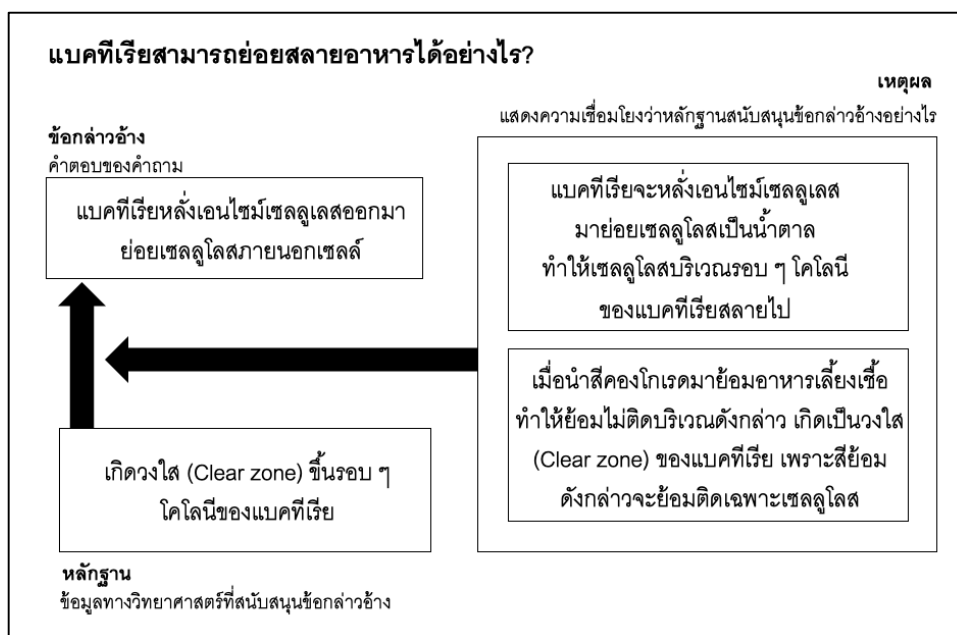
...

(บันทึกวีดิทัศน์การสอน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2563)

จากบทสนทนานี้แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังขาดทั้งแนวคิดเรื่องการย่อยสลายอาหารของแบคทีเรียและความรู้ในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ กล่าวคือนักเรียนยังไม่รู้ว่าข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล คืออะไร ผู้วิจัยจึงมีความคิดว่าการที่ให้นักเรียนประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยลำพังตั้งแต่ขั้นแรกของวงจรที่ 1 อาจยังไม่เหมาะสม ผู้วิจัยคิดว่าควรใช้การอภิปรายกลุ่มในการฝึกประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ให้นักเรียนมีความรู้เบื้องต้นก่อนว่า ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล มีรูปแบบและลักษณะอย่างไร

ในวงจรที่ 2 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม) ผู้วิจัยจึงได้ปรับกิจกรรมในขั้นแรก จากเดิมที่เริ่มการจัดการเรียนรู้ด้วยการให้นักเรียนพิจารณาและประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์โดยลำพัง เป็นการอภิปรายคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์โดยใช้ประเด็นจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านมา เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ชัดเจนก่อนว่าข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผลควรมีรูปแบบและลักษณะอย่างไร ดังตัวอย่างการอภิปรายในชั้นเรียนต่อไปนี้

ผู้วิจัยถามนักเรียนว่า หากเราลองพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย ที่ได้สร้างไปเมื่อคาบที่แล้ว เพื่อทบทวนกันหน่อยว่า ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผลคืออะไร มีหน้าที่และลักษณะอย่างไร โดยนักเรียนจะต้องนำคำอธิบายของกลุ่มตนเอง มาเทียบกับตัวอย่างที่สมบูรณ์แล้วของครู แล้วร่วมกันอภิปรายทั้งชั้นเรียน (ผู้วิจัยแสดงตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นบนจอฉายภาพ (ภาพประกอบ 53))



ภาพประกอบ 53 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย
ในรูปแบบผังเชื่อมโยง

ผู้วิจัย: ข้อกล่าวอ้างที่นักเรียนสร้างขึ้นกับตัวอย่างข้อกล่าวอ้างนี้ แตกต่างกัน
อย่างไร

นักเรียน: ตัวอย่างข้อกล่าวอ้างระบุชัดเจนว่าแบคทีเรียหลั่งเอนไซม์อะไรออกมา

ผู้วิจัย: แสดงว่าการสร้างข้อกล่าวอ้างจะถูกต้องอย่างเดียวได้หรือไม่ อย่างไร

นักเรียน: ไม่ได้ ต้องถูกต้อง และชัดเจน จึงจะสมบูรณ์

ผู้วิจัย: แล้วหลักฐานที่นักเรียนสร้างขึ้นกับตัวอย่างหลักฐานนี้ มีความแตกต่าง
กันอย่างไร

นักเรียน: ผม/หนู ระบุแคว่งใส (Clear zone) แต่ตัวอย่างระบุได้ชัดเจนว่าวงใส
เกิดขึ้นบริเวณใด

ผู้วิจัย: แล้วนักเรียนพอจะบอกครูได้ไหมว่าความหมายและหน้าที่ของ
หลักฐานคืออะไร

นักเรียน: หลักฐานคือข้อมูลที่ได้จากปฏิบัติการ ที่นำมาใช้สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

ผู้วิจัย: นักเรียนทราบหรือไม่ว่าลักษณะของหลักฐานที่ดี ควรเป็นอย่างไร
(นักเรียนเงิบไปสักครู่นึง)

ผู้วิจัย: หากในปฏิบัติการมีหลักฐานที่สามารถนำมายืนยันข้อกล่าวอ้างได้ 2 อย่าง แต่เรานำมาเขียนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น นักเรียนคิดว่าเป็นการระบุหลักฐานที่ดีหรือไม่ อย่างไร

นักเรียน: ไม่ดี ครับ/ค่ะ หลักฐานต้องเหมาะสมและเพียงพอที่จะมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างให้น่าเชื่อถือ

ผู้วิจัย: แล้วการให้เหตุผลล่ะ ระหว่างตัวอย่างที่ครูให้ กับที่นักเรียนเขียนเมื่อคาบที่แล้วต่างกันอย่างไร

นักเรียน: ตัวอย่างการให้เหตุผลอธิบายได้ดี แสดงความเชื่อมโยงว่าหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร และใช้คำที่สละสลวยกว่าของผม/หนู

...

(บันทึกวีดิทัศน์การสอน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2563)

จากนั้นจึงค่อยให้นักเรียนประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” ซึ่งผลปรากฏว่ามีนักเรียนเพียง 3 กลุ่ม (จาก 9 กลุ่ม) ที่สามารถประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้อง โดยนักเรียนสามารถบอกได้ว่าข้อกล่าวอ้างของคำอธิบายดังกล่าวถูกต้องตามทฤษฎีแต่มีการกล่าวอ้างเกินจริง เนื่องด้วยหลักฐานที่ให้มานั้นไม่เหมาะสม จึงทำให้การให้เหตุผลนั้นไม่ถูกต้องตามไปด้วย (ภาพประกอบ 54)

อย่างไรก็ดี ยังมีนักเรียนกว่าอีก 6 กลุ่ม ที่ไม่สามารถประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ ทั้งนี้เป็นเพราะนักเรียนขาดแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคำอธิบายนี้ สังเกตได้จากบทสนทนาระหว่างการอภิปรายกลุ่มดังนี้

สมาชิกคนที่ 1: เราว่าข้อกล่าวอ้างถูกแล้ว เพราะใช้ไลโซโซมในการย่อย แต่ไม่มั่นใจแอซิโดโซม

สมาชิกคนที่ 2: แอซิโดโซมคืออะไร ไม่รู้จักเลย ไม่เคยเรียน

สมาชิกคนที่ 3: ข้อกล่าวอ้างถูกต้องบางส่วนไหม เพราะเราไม่มั่นใจแอซิโดโซม ส่วนหลักฐานเราว่าไม่ถูก เพราะแค่มียีสต์ข้างในเวคคิวโอลไม่น่าจะบอกว่ามันย่อยนะ

สมาชิกคนที่ 2: การให้เหตุผลก็ยังไม่ถูกต้อง เพราะยังไม่สอดคล้องกับหลักฐาน

...

(บันทึกวีดิทัศน์การสอน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2563)

กิจกรรมที่ 1 ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียมโดยการนำเซลล์ยีสต์มาให้พารามีเซียมกินซึ่งได้ผลดังภาพ จากนั้นพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ตอบคำถามว่า "พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร?" แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์



- **ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ):** พารามีเซียมใช้แอซิโดโซม (Acidosome) และไลโซโซม (Lysosome) ในการย่อยอาหารภายในแวคิวโอลย่อยอาหาร (Digestive vacuole)
- **หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง:** มีเซลล์ยีสต์อยู่ในแวคิวโอลย่อยอาหารของพารามีเซียม
- **เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง:** แอซิโดโซมและไลโซโซมจะไปรวมตัวกับแวคิวโอลย่อยอาหารแล้วปล่อยน้ำกรดและเอนไซม์ทำให้เกิดการย่อยอาหาร

จากคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ข้างต้น นักเรียนคิดว่าเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีหรือไม่ (พิจารณาองค์ประกอบทั้ง 3 ของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ แล้วทำเครื่องหมายถูกในช่องสี่เหลี่ยมหน้าข้อที่นักเรียนเห็นด้วย พร้อมระบุเหตุผล)

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

☒ ถูกต้อง ☐ ถูกต้องบางส่วน ☐ ไม่ถูกต้อง

..... เป็นทฤษฎีกล่าวอ้างเกินจริง เห็นว่ามันน่าจะผิด ไม่สามารถทำเช่นนั้นได้

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

☐ เหมาะสมและเพียงพอ ☐ เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอ ☒ ไม่เหมาะสม

..... เห็นหลักฐานว่าเกิดการย่อยอาหาร ไม่พบหลักฐาน

..... ยีสต์อยู่ใน vacuole ไม่ได้สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

☐ เหตุผลถูกต้องและแสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง

☐ เหตุผลถูกต้องแต่ไม่แสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง

☒ เหตุผลไม่ถูกต้อง

..... เห็นว่าทฤษฎีการย่อยอาหาร ไม่เกิดจากการย่อยอาหาร

..... ไม่สอดคล้อง

ภาพประกอบ 54 ตัวอย่างการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในวงจรที่ 2

จากบทสนทนาจะเห็นได้ว่านักเรียนเริ่มเห็นภาพแล้วว่า ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล คืออะไรและทำหน้าที่อะไร แต่ยังติดขัดที่ตัวความรู้เนื้อหา ทำให้ผู้วิจัยคิดว่าการที่นักเรียนจะสามารถประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น นักเรียนไม่ควรมีแค่ความรู้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่นักเรียนควรมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ร่วมด้วย ผู้วิจัยจึงคิดว่าแผนการจัดการเรียนรู้ถัดไป ควรย้ายขั้นของการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไปไว้

หลังจากที่นักเรียนดำเนินการสำรวจตรวจสอบเสร็จแล้ว เพื่อให้มั่นใจว่านักเรียนจะสามารถประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้นักเรียนเห็นภาพว่าลักษณะของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นอย่างไร

ในวงจรที่ 3 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของไฮดรา) ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทำปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของไฮดรา เป็นลำดับแรก ซึ่งบทปฏิบัติการนี้จะให้นักเรียนได้นำไรทะเลที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตให้ไฮดรากิน จากนั้นสังเกตพฤติกรรมการกินของไฮดรา ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งหลังจากการทำบทปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้ทำการอภิปรายเพื่อสรุปผลของปฏิบัติการนี้ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีแนวคิดเกี่ยวกับการย่อยอาหารของไฮดราอย่างถูกต้อง ก่อนที่จะให้นักเรียนประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ว่า “ไฮดราตอบสนองอย่างไรเมื่อให้อาหารด้วยไรทะเล” ดังภาพประกอบ 55

ซึ่งผลจากแบบประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์พบว่า นักเรียน 7 กลุ่ม (จาก 9 กลุ่ม) สามารถประเมินได้ว่าข้อกล่าวอ้างที่ให้มานั้นถูกต้อง แต่ยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีการใช้คำที่ไม่เหมาะสม เช่น ใช้คำว่าท้องแทนที่จะเป็นช่องว่างภายในลำตัว (Gastrovascular cavity) ส่วนหลักฐานที่ระบุไว้ว่า จากภาพที่ให้มานั้นยังไม่เพียงพอ และเหตุผลที่ให้มาก็ยังไม่ถูกต้อง (ภาพประกอบ 55) โดยที่ผู้วิจัยแทบจะไม่ต้องใช้คำถามที่ชี้นำให้นักเรียนสามารถตอบได้เลย

เช่นเดียวกับในวงจรที่ 4 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของพลาเนียเรีย) ที่นักเรียนจะได้ทำปฏิบัติการย้อมสีทางเดินอาหารของพลาเนียเรีย จากนั้นนำความรู้ที่ได้จากทำปฏิบัติการมาประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามว่า “พลาเนียเรียมีทางเดินอาหารที่สมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์” ซึ่งผลปรากฏว่านักเรียนทุกกลุ่ม สามารถประเมินคำอธิบายที่ผู้วิจัยกำหนดให้ได้ว่าข้อกล่าวอ้างที่ให้มายังไม่ถูกต้อง ส่วนหลักฐานไม่สนับสนุนข้อกล่าวอ้างและไม่สามารถใช้เพื่อตอบคำถามดังกล่าวได้ ดังภาพประกอบ 56

ผลการจัดกิจกรรมการอภิปรายและประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หลังจากการสำรวจตรวจสอบให้ผลเช่นเดียวกัน ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 และ 6 ซึ่งนักเรียนแทบทุกกลุ่มสามารถประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจว่าหลักการเขียนข้อกล่าวอ้าง การระบุหลักฐาน และการให้เหตุผล ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ทั้งฉบับโดยภาพรวม หลังการจัดการเรียนรู้ ที่นักเรียนกว่าร้อยละ 93.34 สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดี

กิจกรรมที่ 1 ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างในระบบย่อยอาหารของปลานาเรียจากภาพที่กำหนดให้ จากนั้นพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ตอบคำถามว่า “ปลานาเรียมีทางเดินอาหารแบบสมบูรณ์หรือไม่อย่างไร?” แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง



คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

- ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ):
ปลานาเรียมีทางเดินอาหารสมบูรณ์
- หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง:
ปลานาเรียมีคอหอย และมีลำไส้
- เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง:
สิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างในการลำเลียงอาหาร จัดเป็น
สิ่งมีชีวิตที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์

จากคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ข้างต้น นักเรียนคิดว่าเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีหรือไม่ (พิจารณาองค์ประกอบทั้ง 3 ของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ แล้วทำเครื่องหมายถูกในกล่องสี่เหลี่ยมหน้าข้อที่นักเรียนเห็นด้วย พร้อมระบุเหตุผล)

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

☐ ถูกต้อง ☐ ถูกต้องบางส่วน ☒ ไม่ถูกต้อง

ปลานาเรียมีทางเดินอาหารที่ไม่สมบูรณ์

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

☐ เหมาะสมและเพียงพอ ☐ เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอ ☒ ไม่เหมาะสม

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้างว่าปลานาเรียมีทางเดินอาหารที่ไม่สมบูรณ์นั้น ไม่เพียงพอ

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

☐ เหตุผลถูกต้องและแสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง

☐ เหตุผลถูกต้องแต่ไม่แสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง

☒ เหตุผลไม่ถูกต้อง

หลักฐานไม่สอดคล้อง และ ทฤษฎีที่ข้อกล่าวอ้างผิด

ภาพประกอบ 56 ตัวอย่างการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในวงจรที่ 4

แนวปฏิบัติที่ 2 การประยุกต์วิธีทำปฏิบัติการระดับมหาวิทยาลัยมาใช้ โดยการปรับให้เข้ากับบริบทและข้อจำกัดของโรงเรียน จะทำให้นักเรียนได้ดำเนินการสำรวจตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพและนำผลที่ได้มาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

การเข้าพบปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผวนกลยุทธการสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในชั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยคิดว่าการทำการทดลองหรือทำปฏิบัติการอย่างง่ายที่นิยมทำใน

ระดับโรงเรียน อาจทำให้ผลที่ได้จากการทดลองหรือปฏิบัติการนั้น ๆ ไม่น่าเชื่อถือที่จะนำมาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยจึงขอเสนอให้มีการนำการทดลองหรือปฏิบัติการในระดับมหาวิทยาลัยมาประยุกต์ใช้ในโรงเรียน โดยลดความซับซ้อนของวิธีการ และใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ราคาถูกลงหรือประดิษฐ์ขึ้นเองได้ มาให้นักเรียนใช้ในการทำการทดลองหรือทำปฏิบัติการ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้นักเรียนสามารถรวบรวมข้อมูลหลักฐานที่น่าเชื่อถือ มาใช้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยพบแนวปฏิบัติในวงจรที่ 1 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของแบคทีเรีย) ที่นักเรียนจะต้องสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อตอบคำถามว่า “แบคทีเรียสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” โดยปฏิบัติการที่ใช้ในการตอบคำถามดังกล่าว คือ การตรวจหากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสโดยใช้สีย้อมคองโกเรด (Teather & Wood, 1982) ที่ได้นำแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ที่สามารถย่อยเซลลูเลสได้ มาเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนผสมของเซลลูเลส จากนั้นตรวจสอบการย่อยอาหารของแบคทีเรียดังกล่าว โดยการนำสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร) มาเทให้ทั่วจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้นล้างออกด้วยสารละลายน้ำเกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 (โดยมวลต่อปริมาตร) แล้วสังเกตหาวงใส (Clear zone) รอบ ๆ โคลินีของแบคทีเรีย ซึ่งหากพิจารณาวิธีการสำรวจตรวจสอบข้างต้น อาจดูไม่ซับซ้อนและสามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการชีววิทยาในโรงเรียนได้ แต่จะเห็นได้ว่าการนำแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ที่บริสุทธิ์มาใช้ในการเพาะเลี้ยง ซึ่งแบคทีเรียดังกล่าวไม่สามารถหาได้ในปฏิบัติการชีววิทยาของโรงเรียน ดังนั้นการที่จะสามารถทำปฏิบัติการนี้ได้ ผู้วิจัยได้ทำการคัดแยกแบคทีเรียมาจากดิน ซึ่งมีรายงานว่าแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถย่อยเซลลูเลสสามารถพบได้ทั่วไปในดิน มาใช้แทนการใช้แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* บริสุทธิ์ ซึ่งพบว่าให้ผลได้เช่นเดียวกัน (ภาพประกอบ 57) คือหลังจากย้อมด้วยคองโกเรด จะพบวงใสรอบ ๆ โคลินีของแบคทีเรีย ทำให้นักเรียนทุกกลุ่มสามารถนำผลที่ได้มาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนว่าแบคทีเรียมีการหลั่งเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารภายนอกเซลล์ (ภาพประกอบ 58)



ภาพประกอบ 57 ตัวอย่างผลที่ได้จากปฏิบัติการการตรวจหากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส
โดยใช้สีย้อมคองโกเรด

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

แบคทีเรียสังเคราะห์ cellulase ออกมาย่อย cellulose ภายนอกเซลล์

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

- เกิด clear zone หรือวงใสในบริเวณที่มีเชื้อ cellulase ขึ้น

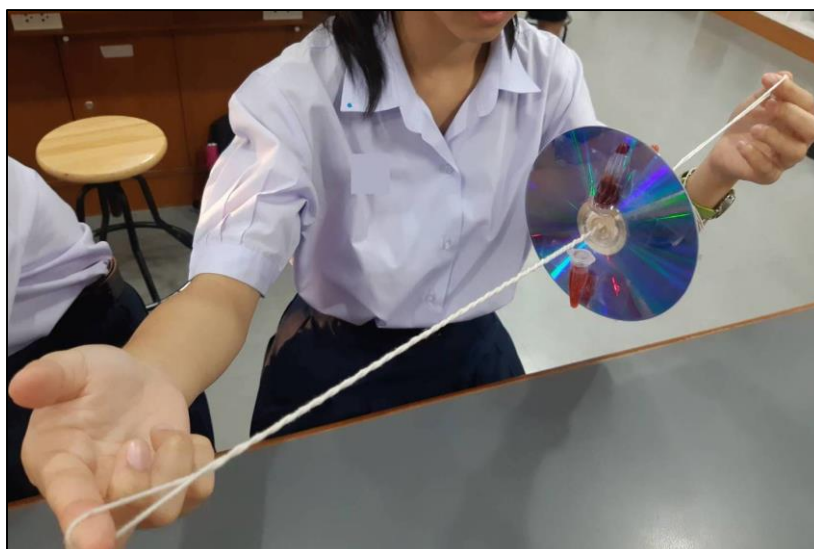
เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

เมื่อ cellulase ออกมาย่อย cellulase แล้วทำปฏิกิริยากับ Congo Red ในบริเวณที่มีเชื้อแล้ว cellulase จะไม่เปลี่ยนสีหรือไม่ก็เปลี่ยนสีหรือเกิดวงใสขึ้น

ภาพประกอบ 58 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นในชั้นเรียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
ในวงจรที่ 1

เช่นเดียวกับวงจรที่ 2 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม) ที่นักเรียนจะต้องสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” โดยปฏิบัติการที่ใช้ในการตอบคำถามดังกล่าว คือ การติดฉลากพารามีเซียมด้วยยีสต์ที่ย้อมด้วยคองโกเรด (Pulse labelling method) ของ Fok et al. (1982) ที่ได้เสนอว่าให้นำเซลล์ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) 100 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายสีคองโกเรด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (โดยมวลต่อปริมาตร) 500 ไมโครลิตร แล้วนำมาต้มในน้ำเดือด นาน 1 ชั่วโมง เพื่อฆ่าด้วยความร้อนและให้ทุกเซลล์ยีสต์ติดสีแดงของคองโกเรด จากนั้นล้างสีส่วนเกินออกโดยใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์ตกตะกอนเซลล์ยีสต์ แล้วดูดเอาสีย้อมส่วนเกินออกไปก่อนล้างด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 5 รอบ จนไม่เหลือสีย้อมส่วนเกิน จากนั้นปรับความเข้มข้นของยีสต์ให้อยู่ในช่วง 10^4 - 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำยีสต์ 30 ไมโครลิตร ไปผสมกับพารามีเซียม 250 ไมโครลิตร ปล่อยให้พารามีเซียมกินยีสต์ไปประมาณ 1 นาที จากนั้นนำไปศึกษาได้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้เทคนิค Differential interference contrast เพื่อดูการเปลี่ยนสีของยีสต์ภายในแควิโอลย่อยอาหาร ซึ่งผลการศึกษาจะพบว่ายีสต์จะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงินเนื่องจาก pH ภายในแควิโอลย่อยอาหารมีค่าต่ำลง จากกระบวนการย่อยอาหารของพารามีเซียมนั่นเอง ซึ่งหากพิจารณาวิธีการติดฉลากพารามีเซียมด้วยยีสต์ที่ย้อมสีคองโกเรด จะพบว่ามีขั้นตอนที่ซับซ้อน ใช้เวลานาน และใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง เช่น เครื่องเซนทริฟิวจ์ หรือกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้เทคนิค Differential interference contrast แต่เพื่อให้นักเรียนสามารถดำเนินการสำรวจตรวจสอบได้อย่างนักวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยจึงได้ปรับวิธีการสำรวจตรวจสอบดังกล่าวให้ง่ายขึ้น ใช้วัสดุอุปกรณ์ราคาถูก และหาได้ง่ายในโรงเรียน เช่น การย้อมสีเซลล์ยีสต์ ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนดูยีสต์ใส่ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ 100 ไมโครลิตร จากนั้น นำมาผสมกับสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (โดยมวลต่อปริมาตร) อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 400 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้น นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อตกตะกอนเซลล์ยีสต์ โดยใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์ลูกหึ่ง (ภาพประกอบ 59) จากนั้นดูดเอาสีย้อมส่วนเกินทิ้ง แล้วดูดน้ำต้มฟาง 500 ไมโครลิตร ใส่ลงไป ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ แล้วเขย่าเพื่อล้างสีส่วนเกินออกมา ทำซ้ำ 2-3 รอบ เพื่อให้แน่ใจว่าสีย้อมถูกล้างออกไปหมดแล้ว เพื่อลดความเป็นพิษให้กับพารามีเซียม จากนั้นดูดพารามีเซียมมา 500 ไมโครลิตร และยีสต์ 100 ไมโครลิตร ผสมลงไป ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ ทิ้งไว้ให้พารามีเซียมกินยีสต์นาน 2 นาที จากนั้นหยดสารละลายบัฟเฟอร์ฟอร์มาลิน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (โดยมวลต่อปริมาตร) 100 ไมโครลิตร เพื่อลดความเร็วในการเคลื่อนที่ของพารามีเซียม จากนั้นนำไปศึกษาได้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของยีสต์ ซึ่งผลปรากฏว่านักเรียนส่วนใหญ่

ทำปฏิบัติการได้สำเร็จ (ภาพประกอบ 60) ซึ่งนักเรียนสามารถนำผลดังกล่าวไปใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ (ภาพประกอบ 61)



ภาพประกอบ 59 การใช้เครื่องเซนทรีฟิวจ์หนึ่งเพื่อตกตะกอนยีสต์



ภาพประกอบ 60 ตัวอย่างผลที่ได้จากปฏิบัติการการติดฉลากพารามีเซียมด้วยยีสต์
ที่ย้อมด้วยคองโกเรด

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ) พวกมีเซลล์มีไซโทพลาสซึมและไลโซโซมในการย่อยอาหารภายในเซลล์..... หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง สัตว์ในพวกปลาเปลี่ยนจากสีทองเป็นน้ำเงิน..... เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง สีของปลาเปลี่ยนจากสีทองเป็นน้ำเงินเพราะ Digestive vacuole, Acidosome หรือ Lysosome จะมารวมตัวกับ Digestive vacuole ทำให้ค่า pH ใน vacuole ต่ำลง (เริ่มเป็นกรด) ซึ่งทำให้ Congo Red เปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงิน กรดจาก Acidosome Digestive.....

ภาพประกอบ 61 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นในชั้นเรียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
ในวงจรที่ 2

ส่วนในวงจรที่ 4 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของปลานาเรีย) ที่นักเรียนจะต้องสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อตอบคำถามว่า “ปลานาเรียมีทางเดินอาหารสมบูรณ์” โดยปฏิบัติการที่จะนำมาใช้ในการตอบคำถามดังกล่าว คือ การย้อมสีทางเดินอาหารของปลานาเรียโดยใช้ตับบดผสมสีคาร์มีนซึ่งวิธีการทำปฏิบัติการคือนำตับบดมาผสมกับผงสีคาร์มีนที่อัตราส่วน 1:1 จนตับบดมีสีแดงเข้ม จากนั้นนำไปให้ปลานาเรียที่อดอาหารมาแล้ว 2-3 วัน แล้วจึงนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งหากพิจารณาวิธีการสำรวจตรวจสอบ จะพบว่าสีคาร์มีนมีราคาแพง และหาได้ยากในห้องปฏิบัติการชีววิทยาในโรงเรียน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงคิดที่จะนำสีผสมอาหารมาใช้แทนสีคาร์มีน อย่างไรก็ตามการนำตับบดมาผสมกับสีผสมอาหารนั้น เมื่อนำไปให้ปลานาเรียกินจะพบว่าสีมีการฟุ้งกระจายออกมา ซึ่งผู้วิจัยสังเกตพบว่าปลานาเรียแสดงพฤติกรรมที่ไม่พึงประสงค์ออกมา เช่น มีการหดตัว งอตัว และพยายามเคลื่อนที่หนีอาหาร ผู้วิจัยจึงได้ใส่ผงวุ้นลงไปเพื่อเป็นตัวประสานให้สีนั้นไม่ฟุ้งกระจายออกมา โดยวิธีการเตรียมตับบดย้อมสีที่ผู้วิจัยคิดค้นขึ้นคือ นำตับบดที่ผสมกับน้ำเปล่าในอัตราส่วน 1:2 มา 830 ไมโครลิตร วุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร) 150 ไมโครลิตร และสีผสมอาหาร (สีส้มแดง) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 (โดยมวลต่อปริมาตร) 20 ไมโครลิตร จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน นำไปขึ้นรูปแล้วนำไปให้ปลานาเรียกิน เป็นเวลา 10 นาที นำไปศึกษาทางเดินอาหารของปลานาเรียภายใต้กล้อง

จุลทรรศน์ ผลปรากฏว่านักเรียนส่วนใหญ่ทำปฏิบัติการได้สำเร็จ (ภาพประกอบ 62) ซึ่งผลดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้สนับสนุนข้อกล่าวอ้างที่ว่าปลานาเรียมีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีทางเข้าของอาหารและทางออกของกากอาหารเพียงทางเดียว (ภาพประกอบ 63)



ภาพประกอบ 62 ตัวอย่างผลที่ได้จากปฏิบัติการศึกษาทางเดินอาหารของปลานาเรียโดยใช้อาหารวุ้นย้อมสี

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

ปลานาเรียมีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

ปลานาเรีย มีทางเข้า และทางออก ของอาหารเพียงทาง เดียว

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

สิ่งมีชีวิต ที่มี ทาง เข้า และ ทางออก ของอาหารเพียง เดียว จัดเป็น สิ่งมีชีวิต ที่มี ทางเดินอาหาร ไม่สมบูรณ์

ภาพประกอบ 63 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นในชั้นเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
ในวงจรที่ 4

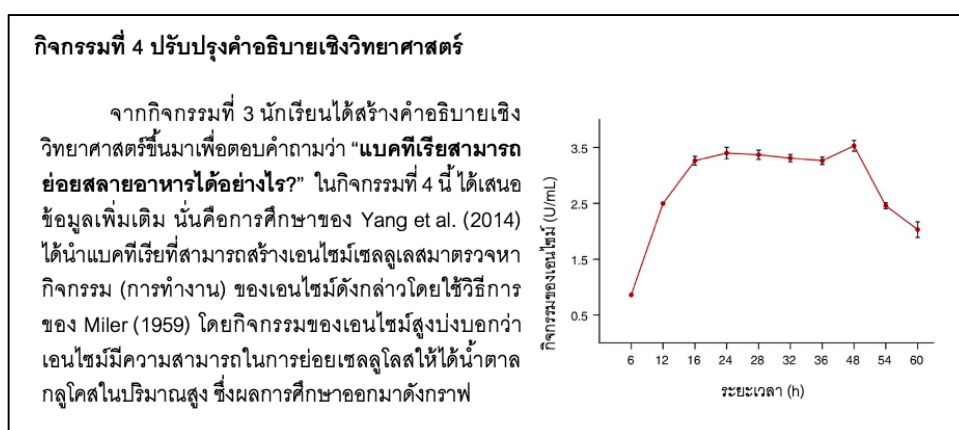
ผู้วิจัยจึงสรุปว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ ต้องอาศัยเทคนิคหรือวิธีสำรวจตรวจสอบในห้องปฏิบัติการระดับมหาวิทยาลัยที่น่าเชื่อถือจึงจะทำให้ได้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ ทั้งนี้การนำเทคนิคหรือวิธีดังกล่าวมาใช้ในโรงเรียนจะต้องมีการประยุกต์วิธีการหรือเครื่องมือที่ใช้ให้เข้ากับบริบทของโรงเรียน จะทำให้นักเรียนสามารถดำเนินการสำรวจตรวจสอบและนำผลที่ได้มาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

แนวปฏิบัติที่ 3 การขยายความรู้โดยการนำผลการวิจัยทางวิทยาศาสตร์มาสรุปเป็นบทความสั้น ๆ ที่เข้าใจง่าย มาให้นักเรียนศึกษาและพิจารณาเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้สมบูรณ์มากขึ้น อีกทั้งช่วยให้นักเรียนเข้าใจว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์นั้นจะต้องมาจากกระบวนการสำรวจตรวจสอบที่น่าเชื่อถือ

การใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หลังจากที่นักเรียนได้ทำการสำรวจตรวจสอบ จนกระทั่งนำผลที่ได้มาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แล้ว ผู้วิจัยเห็นว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนได้สร้างขึ้นอาจยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากหลักฐานที่ได้จากการทำปฏิบัติการในห้องเรียนอาจยังไม่เพียงพอ ผู้วิจัยจึงคิดว่าการนำผลการศึกษาจากบทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง มาให้นักเรียนศึกษาและพิจารณา แล้วเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ปรับปรุงและพัฒนาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของตนเองจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้สมบูรณ์มากขึ้น อีกทั้งช่วยให้นักเรียนเข้าใจว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์นั้นจะต้องมาจากกระบวนการสำรวจตรวจสอบที่น่าเชื่อถือ

ในวงจรที่ 1 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย) หลังจากที่นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อตอบคำถามว่า “แบคทีเรียสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” ซึ่งตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้น คือ แบคทีเรียหลังเอนไซม์เซลลูเลส ออกมาย่อยเซลลูโลสภายนอกเซลล์ โดยหลักฐานที่มาสสนับสนุนข้อกล่าวอ้างนี้คือ เกิดวงใส (Clear zone) ขึ้น รอบ ๆ โคโลนี ของแบคทีเรีย สำหรับเหตุผลนั้น เป็นเพราะแบคทีเรียหลังเอนไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลส ทำให้เซลลูโลสบริเวณรอบ ๆ โคโลนีของแบคทีเรียสลายไป เมื่อนำสีคองโกเรดมาหย่อมอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำให้ย้อมไม่ติดบริเวณดังกล่าว เกิดเป็นวงใสขึ้น (ภาพประกอบ 57) ซึ่งการตรวจสอบการย่อยอาหารของแบคทีเรียโดยการตรวจหากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสโดยใช้สีย้อมคองโกเรด อาจบอกได้เพียงว่าแบคทีเรียที่เลี้ยงไว้สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้หรือไม่เท่านั้น แต่อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับ

ตรวจสอบการย่อยเซลลูโลสของแบคทีเรีย นั่นคือ วิธีดีเอ็นเอส (DNS) (Miller, 1959) ดังนั้นผู้วิจัยได้นำผลการศึกษากิจกรรมเอนไซม์เซลลูเลสจากงานวิจัย มาสรุปเป็นบทความสั้น ๆ ให้ง่ายต่อการเข้าใจ แล้วนำมาให้นักเรียนศึกษา จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นในชั้นสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ว่ายังคงสมบูรณ์หรือต้องแก้ไขเพิ่มเติมในแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ภาพประกอบ 64)



ภาพประกอบ 64 บทความที่นักเรียนต้องพิจารณาในชั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
ในวงจรที่ 1

ผลปรากฏว่ามีนักเรียนเพียง 4 กลุ่ม (จาก 9 กลุ่ม) เท่านั้น ที่สามารถประเมินและปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของตนเองได้ โดยตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนปรับปรุงขึ้นใหม่ คือ แบคทีเรียหลังเอนไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลสภายนอกเซลล์ โดยหลักฐานที่มาสืบสนับสนุนข้อกล่าวอ้างนี้ คือ เกิดวงใสขึ้น รอบ ๆ โคโลนี ของแบคทีเรีย และปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่เพิ่มขึ้นจากการย่อยเซลลูโลส ส่วนเหตุผลนั้น เป็นเพราะแบคทีเรียหลังเอนไซม์เซลลูเลส ออกมาย่อยเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ทำให้เซลลูโลสบริเวณรอบ ๆ โคโลนีของแบคทีเรียสลายไป เมื่อนำสีกองโกเรดมาหย่อมอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำให้ย้อมไม่ติดบริเวณดังกล่าว จึงเกิดเป็นวงใสขึ้น และเมื่อตรวจสอบปริมาณกลูโคสโดยวิธีดีเอ็นเอส ก็พบว่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ภาพประกอบ 65)

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่แก้ไขแล้ว

ชื่อกลุ่มอ้างอิง (คำตอบ)

เบคทีเรียตัวใหม่จากสภาพแวดล้อมใหม่ที่มีเอนไซม์ cellulase โดยจะผลิต
ออกมาจากเซลล์โกลี

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

- Clear zone ให้มองภาพบริเวณที่สังเคราะห์เอนไซม์ เพราะ เกิด การย่อยเซลลูโลส
- วิธีการทดสอบ DNS method พบผลได้สีที่มืดมนด.ม.ร. บ่อยครั้ง

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

เนื่องจากเบคทีเรียตัวใหม่จากสภาพแวดล้อมใหม่ที่มีเอนไซม์ cellulase ออกมา
เนื่องจากเซลล์โกลีให้บริเวณที่สังเคราะห์เอนไซม์ได้ และให้ผลทดสอบด้วย
วิธีการ DNS ที่พบผลได้สีที่มืดมนด.ม.ร. บ่อยครั้ง ซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่
ยืนยันได้ว่าเบคทีเรียตัวใหม่จากสภาพแวดล้อมใหม่ที่มีเอนไซม์ cellulase

ภาพประกอบ 65 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนปรับปรุงแล้ว ในวงจรที่ 1

หากเปรียบเทียบคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นในขั้นสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์กับคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นในขั้นปรับปรุงจะพบว่าคำอธิบายที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น เนื่องจากได้นำข้อมูลทางวิทยาศาสตร์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้เป็นหลักฐานเพิ่มเติม อย่างไรก็ตาม ยังมีนักเรียนกว่าอีก 5 กลุ่ม ที่ยังไม่สามารถปรับปรุงคำอธิบายของตนให้ดีขึ้นหลังจากอ่านบทความที่ครูสรุปให้ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่านักเรียนน่าจะยังไม่เข้าใจบทความที่ครูสรุปมาให้ เนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้อธิบายรายละเอียดของวิธีดีเอ็นเอส แต่ผู้วิจัยไปเน้นที่การอ่านกราฟเพื่อดูปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว สอดคล้องกับบันทึกหลังการเรียนรู้ของนักเรียนที่กล่าวว่า

“ครูให้เวลาในการทำความเข้าใจบทความน้อยเกินไป”

“ไม่เข้าใจบทความที่ครูให้อ่าน จึงไม่สามารถนำมาปรับปรุงคำอธิบายของตนได้”

(อนุทินสะท้อนคิดครั้งที่ 1 ของนักเรียนรหัส ST05 และ ST17)

ในวงจรถัดไป (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม) ผู้วิจัยได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบของขั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากเดิมที่ให้นักเรียนอ่านและทำความเข้าใจบทความที่ผู้วิจัยสรุปให้ด้วยตนเอง เป็นการอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนให้นักเรียนทุกกลุ่มเข้าใจตรงกัน เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลหรือความรู้ที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต่อไป โดยในแผนนี้ นักเรียนจะได้ทำการทดลองโดยนำยีสต์ *Saccharomyces*

cerevisiae มาหมักด้วยยีสต์คองโกเรต จากนั้นนำไปให้พารามีเซียมกิน จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงของยีสต์ภายในแวคิวโอลย่อยอาหาร แล้วให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” ซึ่งคำอธิบายที่นักเรียนได้สร้างขึ้นในชั้นสร้างคำอธิบาย คือ พารามีเซียม ใช้แอสिटโดโซมและไลโซโซม ในการย่อยอาหารภายในแวคิวโอลย่อยอาหาร โดยการเปลี่ยนสีของยีสต์จากแดงเป็นน้ำเงินคือหลักฐานสนับสนุน ส่วนเหตุผลที่คิดเช่นนี้เป็นเพราะ เมื่อพารามีเซียมกินยีสต์เข้าไปในแวคิวโอลย่อยอาหาร แอสिटโดโซมและไลโซโซมจะมารวมตัวกับแวคิวโอลย่อยอาหาร น้ำกรดจากแอสिटโดโซมทำให้ค่า pH แวคิวโอลต่ำลง (เริ่มเป็นกรด) ยีสต์ที่ติดสีคองโกเรต จึงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินนั่นเอง หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ให้นักเรียนพิจารณาบทความที่ได้สรุปผลการศึกษาของ Kodama & Fujishima (2005) (ภาพประกอบ 66) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการย่อยอาหารโดยใช้เอนไซม์จากไลโซโซม โดยผู้วิจัยใช้เวลา 5 นาที ในการศึกษาบทความดังกล่าว จากนั้นทำการอภิปรายชั้นเรียนดังนี้

ผู้วิจัย: นักเรียนคิดว่าวิธีติดสีคองโกเรตพารามีเซียมโดยใช้ยีสต์ที่หมักสีคองโกเรตใช้ตรวจจับการทำงานของเอนไซม์จากไลโซโซมใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด

นักเรียน: ไม่ใช่ ครับ/ค่ะ เนื่องจากคองโกเรตเป็น pH indicator น่าจะใช้ตรวจสอบความเป็นกรด-เบส เพื่อดูการทำงานของแอสिटโดโซม

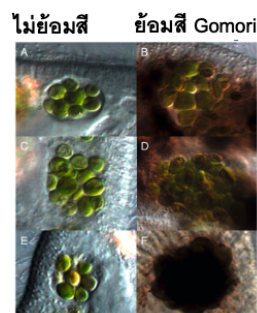
ผู้วิจัย: แล้วหากต้องการทราบว่าไลโซโซมมีบทบาทกับการย่อยอาหารของพารามีเซียมหรือไม่ ควรศึกษาอย่างไร

นักเรียน: ใช้สีย้อมโกโมรี ซึ่งสามารถย้อมติดเอนไซม์ในไลโซโซมได้ โดยเริ่มแรกเราจะสังเกตเห็นเวสิเคิลสีดำค่อย ๆ เข้ามาใกล้ ๆ กับแวคิวโอลย่อยอาหาร จนกระทั่งรวมตัวและทำให้แวคิวโอลย่อยอาหารกลายเป็นสีดำ (บันทึกวีดิทัศน์การสอน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2563)

หลังจากนักเรียนอ่านบทความและอภิปรายตอบคำถามที่ผู้วิจัยถาม แสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจบทความที่ผู้วิจัยได้สรุปให้แล้ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้นักเรียนนำความรู้ที่ได้มาประเมินคำอธิบายที่ได้สร้างขึ้นในชั้นก่อนหน้า ซึ่งพบว่านักเรียนทุกกลุ่มสามารถบอกได้ว่าคำอธิบายของตนนั้นยังไม่สมบูรณ์ โดยจะต้องแก้ไขในองค์ประกอบกระบวนการระบุหลักฐานและการให้เหตุผล ผู้วิจัยจึงเปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละกลุ่มได้ปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของตนใหม่ และพบว่าทุกกลุ่มสามารถสร้างคำอธิบายว่าพารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร ได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือในทุก ๆ องค์ประกอบ โดยตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่แก้ไขแล้ว คือ

กิจกรรมที่ 4 ปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากกิจกรรมที่ 3 นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นมา เพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร?” ในกิจกรรมที่ 4 นี้ ได้เสนอข้อมูลเพิ่มเติม นั่นคือการศึกษาของ Kodama & Fujishima (2005) ที่ได้นำสาหร่ายสีเขียว (*Chlorella* sp.) มาให้พารามีเซียมกิน จากนั้นนำไปย้อมสี Gomori (เป็นสีย้อมที่สามารถตรวจการทำงานของเอนไซม์ Acid phosphatase ซึ่งเป็นเอนไซม์ใน Lysosome ได้ โดยบริเวณที่มีเอนไซม์ชนิดนี้ จะย้อมติดสีดำ) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อนำเอาพารามีเซียมมาศึกษาได้กล้องจุลทรรศน์จะพบว่ามีกลุ่มฝุ่นสีดำ ค่อย ๆ เคลื่อนที่เข้าไปหาแวคิวโอลย่อยอาหารจนกระทั่งทำให้แวคิวโอลย่อยอาหารเป็นสีดำทั้งก้อนดังภาพ



ภาพประกอบ 66 บทความที่นักเรียนต้องพิจารณาในขั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
ในวงจรที่ 2

พารามีเซียมใช้แอซิโดโซมและไลโซโซมในการย่อยอาหารภายในแวคิวโอลย่อยอาหาร หลักฐานที่นำมาสนับสนุนคือ ยีสต์ที่ย้อมด้วยสีคองโกเรดมีการเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน และแวคิวโอลย้อมติดสีดำของสีโกโมรี ซึ่งเหตุผลเป็นเพราะเมื่อพารามีเซียมกินยีสต์เข้าไปในแวคิวโอลย่อยอาหาร แอซิโดโซมจะมารวมตัวกับแวคิวโอลย่อยอาหาร แล้วปล่อยน้ำกรดออกมาทำให้ค่า pH แวกิวโอลต่ำลง (เริ่มเป็นกรด) ยีสต์ที่ติดสีคองโกเรด จึงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินนั่นเอง ขณะที่เมื่อแวคิวโอลไปรวมตัวกับไลโซโซม ไลโซโซมจะปล่อยเอนไซม์ออกมา เมื่อเอนไซม์ทำปฏิกิริยากับสีโกโมรี จึงทำให้แวคิวโอลย่อยอาหารมีสีดำนั่นเอง (ภาพประกอบ 67)

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่แก้ไขแล้ว

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

.....พารามีเซียมใช้ แอซิโดโซม และไลโซโซมในการย่อยอาหารภายในแวคิวโอล.....

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

-1. ยีสต์มีการเปลี่ยนสีจากแดงเป็นน้ำเงิน.....
-2. แวกิวโอลย้อมติดสีดำของสีย้อม gomori.....

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

.....เนื่องจากสีคองโกเรดเปลี่ยนสีใน Digestive vacuole Acidosome na Lysosome กับ.....
รวมกับ Digestive vacuole ถัดจาก Acidosome ทำให้ค่า pH ใน Digestive vacuole ต่ำลง (เริ่มเป็นกรด) ยีสต์ที่มี congo red จึงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ในขณะที่สีโกโมรี enzyme ใน Lysosome รวมกับ Digestive vacuole ทำให้ Digestive vacuole ย้อมติดสีดำของ gomori.....

ภาพประกอบ 67 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนปรับปรุงแล้ว ในวงจรที่ 2

เช่นเดียวกับในวงจรที่ 3-6 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของไฮดรา การย่อยอาหารของพลาเนเรีย ระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ และระบบย่อยอาหารของมนุษย์) ที่ผู้วิจัยได้ขยายความรู้โดยการนำผลการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ที่สรุปเป็นบทความสั้น ๆ ให้ง่ายต่อการเข้าใจ มาให้นักเรียนศึกษาและพิจารณาเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยพบว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีความถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ยกตัวอย่างเช่น ในวงจรที่ 5 เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ ที่นักเรียนจะได้ทำปฏิบัติการผ่าตัดปลาแล้วหาอัตราส่วนความยาวของลำไส้ต่อความยาวลำตัว (Relative intestinal length) ของปลาตะเพียนขาวและปลาดุกอุย ซึ่งเมื่อทำปฏิบัติการเสร็จแล้ว นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามว่า “ปลาชนิดใดจัดเป็นปลาที่บริโภคพืชและปลาชนิดใดที่จัดเป็นปลาที่บริโภคสัตว์” ว่า ปลาตะเพียนขาวจัดเป็นปลาที่บริโภคพืชส่วนปลาดุกอุยเป็นปลาที่บริโภคสัตว์ หลักฐานที่สนับสนุนคือ ปลาตะเพียนขาวมีอัตราส่วนความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวที่มากกว่าปลาดุกอุย ส่วนเหตุผล คือ สัตว์ที่มีอัตราส่วนความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวมากจัดเป็นสัตว์ที่บริโภคพืช ส่วนสัตว์ที่มีอัตราส่วนความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวน้อยจัดเป็นสัตว์ที่บริโภคเนื้อ แต่เมื่อนักเรียนได้พิจารณาบทความที่ผู้วิจัยได้สรุปผลการศึกษาของธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์ และคณะ (2552) (ภาพประกอบ 68) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจำแนกปลาบริโภคพืชและปลาที่บริโภคสัตว์โดยใช้เศษอาหารในกระเพาะอาหาร (Gastric content) ร่วมกับการอธิบายทั้งชั้นเรียน ทำให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้น ดังนี้ ปลาตะเพียนขาวจัดเป็นปลาที่บริโภคพืชส่วนปลาดุกอุยเป็นปลาที่บริโภคสัตว์ หลักฐานที่สนับสนุนคือ ปลาตะเพียนขาวมีอัตราส่วนความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวที่มากกว่าปลาดุกอุย หลักฐานที่สนับสนุนคือ ปลาตะเพียนขาวมีอัตราส่วนความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวที่มากกว่าปลาดุกอุยและอาหารที่ตรวจพบในกระเพาะของปลาตะเพียนขาวคือสาหร่ายไฟ สาหร่ายสีเขียวและยูกลีนา ส่วนอาหารที่ตรวจพบในกระเพาะของปลาดุกอุยคือ หนอนท่อ setae ของไส้เดือน และกิ้งกือ ส่วนเหตุผลก็เป็นเพราะ สัตว์ที่มีอัตราส่วนความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวมากและบริโภคสิ่งมีชีวิตในกลุ่มที่ 11 และ 14 (ตามเกณฑ์ของธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์ และคณะ (2552)) จัดเป็นสัตว์ที่บริโภคพืช ส่วนสัตว์ที่มีอัตราส่วนความยาวลำไส้ต่อความยาวลำตัวน้อยและบริโภคอาหารในกลุ่ม 1-10 และ 12-13 จัดเป็นสัตว์ที่บริโภคเนื้อ (ภาพประกอบ 69)

กิจกรรมที่ 4 ปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากกิจกรรมที่ 3 นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นมาเพื่อตอบคำถามว่า “ปลาชนิดใดเป็นผู้บริโภคพืชและปลาชนิดใดเป็นผู้บริโภคสัตว์?” ในกิจกรรมที่ 4 นี้ ได้เสนอข้อมูลเพิ่มเติม นั่นคือการศึกษารูปร่างของ อนุกรมวิธานปลาหางคี่ และคณะ (2552) ที่ได้ศึกษาการกินอาหารของปลาน้ำจืด แล้วได้สร้างเกณฑ์วิเคราะห์กลุ่มอาหารที่ปลาบริโภคดังนี้

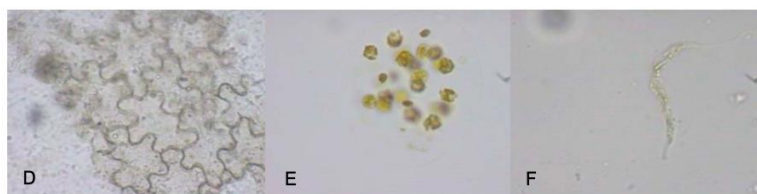
- | | |
|---|---|
| 1. กลุ่มปลา
(พบในรูป ปลาทั้งตัว ก้าง หรือเกล็ด) | 8. กลุ่มฟองน้ำ (พบในรูป Spicule) |
| 2. กลุ่มกุ้ง
(พบในรูป กุ้ง ไรยาค์ ก้าม หรือตา) | 9. กลุ่ม Bryozoa (พบในรูป Statoblast) |
| 3. กลุ่มไส้เดือนน้ำ
(พบในรูป Setae หรือหนอนท่อ) | 10. กลุ่มไฮดรา
(พบในรูป หนวด หรือเข็มพิษ) |
| 4. กลุ่มหอย
(พบในรูป เปลือกหอย) | 11. กลุ่มสาหร่าย
(พบในรูป ชิ้นส่วนของสาหร่าย) |
| 5. กลุ่มสัตว์หน้าดิน
(พบในรูป ชิ้นส่วนของสัตว์หน้าดิน) | 12. กลุ่ม Crustacean หรือ Zooplankton
(พบในรูป หนวด หรือฝัก) |
| 6. กลุ่มแมลงบก
(พบในรูป ชิ้นส่วนของแมลงบก) | 13. กลุ่มไรดิเฟอร์และโปรโตซัว
(พบในรูป ชิ้นส่วนไรดิเฟอร์และโปรโตซัว) |
| 7. กลุ่มตัวอ่อนแมลง
(พบในรูป ชิ้นส่วนของตัวอ่อนแมลง) | 14. กลุ่มแพลงตอนพืช (พบในรูป ผนังเซลล์) |

งานวิจัยดังกล่าวได้ระบุว่า ปลาที่บริโภคพืช (Herbivorous fish) คือ ปลาที่บริโภคอาหารในกลุ่มที่ 11 และ 14 ปลาที่บริโภคสัตว์ (Carnivorous fish) คือ ปลาที่บริโภคอาหารในกลุ่มที่ 1-10, 12 และ 13 ส่วนปลาที่บริโภคทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous fish) คือ ปลาที่บริโภคอาหารทุกกลุ่ม

หากเมื่อนำกระเพาะอาหารของปลาตะเพียนขาวและปลาดุกอุย มาผ่าตัดเพื่อศึกษาหาอาหารที่ค้างในกระเพาะอาหาร (Gastric content) พบว่าในกระเพาะของปลาดุกอุย มีอาหารดังภาพที่ 1 ส่วนในกระเพาะของปลาตะเพียนขาวพบอาหารดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 หนอนท่อ (A) Setae ของไส้เดือน (B) และ กุ้ง (C)
ที่มาภาพ: อนุกรมวิธานปลาหางคี่ และคณะ (2552)



ภาพที่ 2 สาหร่ายไฟ (D) สาหร่ายสีเขียว (E) และ ยูกลีนา (Euglena acus) (F)
ที่มาภาพ: อนุกรมวิธานปลาหางคี่ และคณะ (2552)

ภาพประกอบ 68 บทความที่นักเรียนต้องพิจารณาในขั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
ในวงจรที่ 5

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่แก้ไขแล้ว

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

ปลาที่กินพืชเป็นอาหาร (Herbivorous fish)

ปลาคูคูบับเป็นปลาที่กินเนื้อสัตว์ (Carnivorous fish)

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

... ตัวอย่างของสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหารได้แก่ ปลาที่กินพืชเป็นอาหารที่มีค่าของค่าปลาที่กินพืชเป็นอาหาร

... ตัวอย่างของสัตว์ที่กินเนื้อสัตว์ได้แก่ ปลาที่กินเนื้อสัตว์ที่มีค่าของค่าปลาที่กินเนื้อสัตว์

... ตัวอย่างของสัตว์ที่กินเนื้อสัตว์ได้แก่ ปลาที่กินเนื้อสัตว์ที่มีค่าของค่าปลาที่กินเนื้อสัตว์

... ตัวอย่างของสัตว์ที่กินเนื้อสัตว์ได้แก่ ปลาที่กินเนื้อสัตว์ที่มีค่าของค่าปลาที่กินเนื้อสัตว์

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

ปลาที่มี Relative Intestinal Length ยาวและบริโภคอาหารในกลุ่ม 11 และ 14

... ตัวอย่างของสัตว์ที่กินเนื้อสัตว์ได้แก่ ปลาที่กินเนื้อสัตว์ที่มีค่าของค่าปลาที่กินเนื้อสัตว์

... ตัวอย่างของสัตว์ที่กินเนื้อสัตว์ได้แก่ ปลาที่กินเนื้อสัตว์ที่มีค่าของค่าปลาที่กินเนื้อสัตว์

... ตัวอย่างของสัตว์ที่กินเนื้อสัตว์ได้แก่ ปลาที่กินเนื้อสัตว์ที่มีค่าของค่าปลาที่กินเนื้อสัตว์

... ตัวอย่างของสัตว์ที่กินเนื้อสัตว์ได้แก่ ปลาที่กินเนื้อสัตว์ที่มีค่าของค่าปลาที่กินเนื้อสัตว์

ภาพประกอบ 69 ตัวอย่างคำอธิบายที่นักเรียนปรับปรุงแล้ว ในวงจรที่ 5

จากกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวจะเห็นได้ว่า นักเรียนจะได้ทำการปรับปรุงและพัฒนา คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในทุก ๆ แผนการจัดการเรียนรู้ เนื่องด้วยคำอธิบายที่นักเรียนสร้างขึ้นใน ขั้นสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นั้นยังไม่สมบูรณ์ ในแง่ของการใช้หลักฐานสนับสนุน ข้อกล่าวอ้าง หรือการนำแนวคิดวิทยาศาสตร์มาใช้ในการให้เหตุผล ดังนั้น การที่นักเรียนได้ศึกษา และพิจารณาบทความจากงานวิจัยที่น่าเชื่อถือที่ผู้วิจัยได้สรุปให้ ตลอดจนได้ปรับปรุงและพัฒนา คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ จะทำให้นักเรียนเข้าใจว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์นั้น จะต้องมาจากกระบวนการสำรวจตรวจสอบที่น่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงสรุปว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้ บทปฏิบัติการ ควรมีขั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ที่ครูจะต้องนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ เนื้อหาที่กำลังเรียน มาสรุปเป็นบทความสั้น ๆ ที่เข้าใจง่าย แล้วนำมาให้นักเรียนพิจารณา แล้วเปิด โอกาสให้นักเรียนได้ประเมินและปรับปรุงคำอธิบายที่เขาสร้างขึ้นในขั้นสร้างคำอธิบาย เชิงวิทยาศาสตร์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์และน่าเชื่อถือมากขึ้น

แนวปฏิบัติที่ 4 การอภิปรายทั้งชั้นเรียนในขั้นประเมินผลการเรียนรู้ร่วมกับการ ใช้ผังเชื่อมโยงให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และ เขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น

การใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ แบบสืบเสาะ ผสมผสานการสนทนาเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในขั้นประเมิน ความรู้ ไม่ควรทบทวนเพียงความรู้เนื้อหาที่ได้เรียนมาเท่านั้น แต่ควรทบทวนความรู้ในการเขียน

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ด้วย ดังนั้นในขั้นดังกล่าวควรมีการยกเอาตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ที่สร้างขึ้นในการจัดการเรียนรู้ครั้งนั้น มาอภิปรายทั้งชั้นเรียน โดยการใช้ผังเชื่อมโยงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ชัดเจนมากขึ้น

ผู้วิจัยได้ขอค้นพบนี้จากวงจรที่ 2 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม) โดยผู้วิจัยเห็นว่าความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนยังไม่ดีเท่าที่ควร ดังจะเห็นได้จากมีนักเรียนเพียง 4 กลุ่ม จาก 9 กลุ่ม ที่สามารถเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดี ในขั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เป็นเพราะนักเรียนยังขาดทั้งแนวคิดวิทยาศาสตร์และความรู้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทำให้ยังเขียนคำอธิบายได้ในระดับพอใช้เท่านั้น ผู้วิจัยจึงวางแผนว่าก่อนเริ่มกิจกรรมประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในขั้นที่ 2 ผู้วิจัยควรสร้างความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการนำคำอธิบายที่ได้สร้างขึ้นในวงจรที่ผ่านมาในการอภิปราย ตามที่ได้รายงานไว้ในวงจรที่ 1 ของแนวปฏิบัติที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าการอภิปรายในครั้งนี้ค่อนข้างทำให้นักเรียนเห็นภาพมากขึ้น ดังที่นักเรียนได้เขียนสะท้อนลงในอนุทินว่า

“การอภิปรายวันนี้ทำให้เข้าใจการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น”

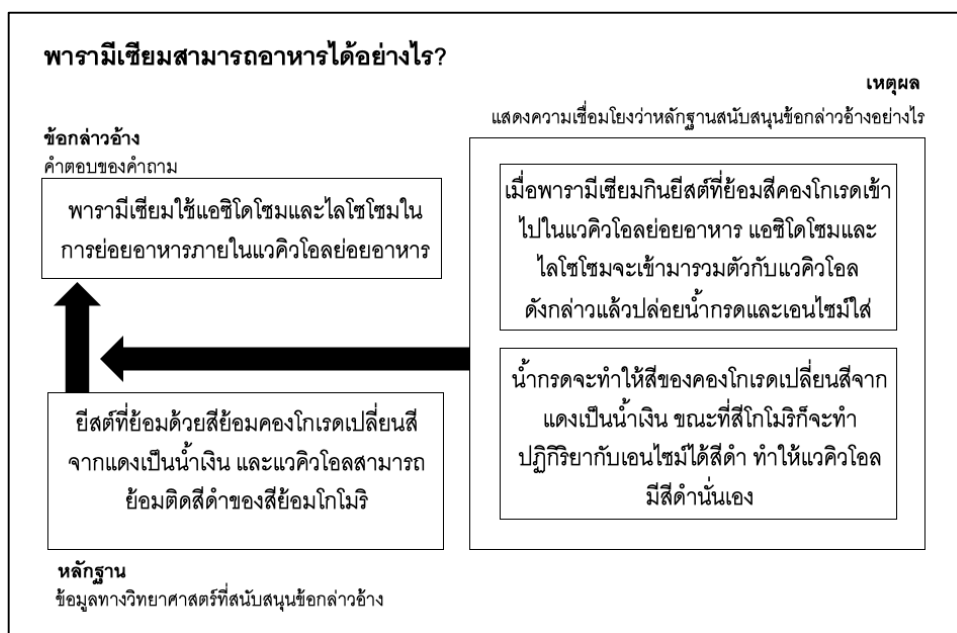
“เข้าใจหลักการเขียนมากขึ้นจากที่ครูสรุปให้”

“เข้าใจการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น จากแผนภาพสรุป”

(อนุทินสะท้อนคิดครั้งที่ 2 ของนักเรียนรหัส ST01 ST20 และ ST41)

หากพิจารณาจากอนุทินสะท้อนคิดของนักเรียน จะพบว่าสิ่งที่ได้อภิปรายทั้งชั้นเรียนทำให้นักเรียนเข้าใจหลักการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าน่าจะเป็นผลจากการที่ผู้วิจัยใช้ผังเชื่อมโยงในการอภิปรายคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จึงจะนำวิธีการดังกล่าวนี้ไปใช้สรุปในขั้นสุดท้ายของการทำปฏิบัติการ (ขั้นประเมินผลการเรียนรู้) เพื่อเป็นการสรุปทั้งความรู้และทบทวนหลักการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไปพร้อมกัน

ดังนั้นในวงจรนี้ หลังจากทำให้นักเรียนได้ทำปฏิบัติการเสร็จสิ้นแล้ว ในขั้นประเมินผลการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดเพื่อทบทวนในส่วนของความรู้เนื้อหาก่อนที่จะใช้การอภิปรายร่วมกับการใช้ผังเชื่อมโยงในการสรุปให้กับนักเรียน ดังภาพประกอบ 70 พร้อมทำการอภิปรายเพื่อสรุปดังนี้



ภาพประกอบ 70 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม
ในรูปแบบผังเชื่อมโยง

ผู้วิจัย: นักเรียนลองพิจารณาว่าข้อกล่าวอ้างที่ให้มานั้นถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่

นักเรียน: ถูกต้องและสมบูรณ์ ครับ/ค่ะ

ผู้วิจัย: อะไรที่เป็นตัวบ่งบอกว่าข้อกล่าวอ้างนี้ถูกต้อง และสมบูรณ์

นักเรียน: เพราะข้อกล่าวอ้างถูกต้องตามแนวคิดวิทยาศาสตร์และสมบูรณ์แล้ว

ผู้วิจัย: นักเรียนช่วยขยายความคำว่าครบสมบูรณ์ได้หรือไม่ ครูยังไม่เข้าใจ

นักเรียน: คือมันไม่มีออร์แกเนลล์ไหนแล้วที่มาย่อย มีแค่สองออร์แกเนลล์ครับ/ค่ะ

ผู้วิจัย: นักเรียนมองว่าการเขียนข้อกล่าวอ้างมีลักษณะคล้ายกับอะไร

นักเรียน: การตอบคำถาม ครับ/ค่ะ

ผู้วิจัย: หน้าที่ของหลักฐานคืออะไร

นักเรียน: สนับสนุนคำตอบครับ/ค่ะ

ผู้วิจัย: แล้วหลักฐานที่ให้มา นักเรียนคิดว่าเหมาะสมและเพียงพอแล้วหรือไม่

นักเรียน: เหมาะสมแล้วครับ/ค่ะ เพราะหลักฐานได้มาจากการทดลองเอง และ
การทดลองของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถอธิบายเรื่องนี้ได้ชัดเจน

ผู้วิจัย: แล้วทำไมต้องให้เหตุผลด้วย มีแค่หลักฐานไม่เพียงพอแล้วหรือ

นักเรียน: การให้เหตุผลจะนำแนวคิดวิทยาศาสตร์มาอธิบายว่าทำไมหลักฐาน
เหล่านั้นจึงสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

(บันทึกวีดิทัศน์การสอน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2563)

จากการอภิปรายและใช้ผังเชื่อมโยงดังจะเห็นได้ว่านักเรียนแสดงความเข้าใจในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น โดยสังเกตได้จากในวงจรถัดไป นักเรียนทุกกลุ่มสามารถเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดีทั้งในชั้นเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และชั้นปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

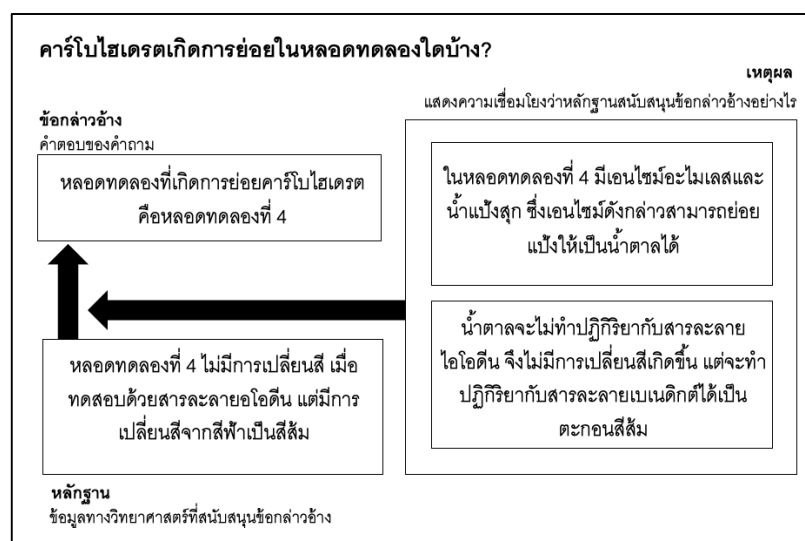
ในวงจรที่ 3-6 (แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การย่อยอาหารของไฮดรา การย่อยอาหารของปลานาเรีย ระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ และระบบย่อยอาหารของมนุษย์) ผู้วิจัยก็ได้ทำการอภิปรายทั้งชั้นเรียน ร่วมกับการใช้ผังเชื่อมโยงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในขั้นสุดท้ายของแต่ละวงจร และพบว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ไม่ว่าจะเป็นองค์ประกอบด้านการสร้างข้อกล่าวอ้าง การระบุหลักฐาน และการให้เหตุผล มีการพัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ยกตัวอย่างเช่นในวงจรสุดท้าย เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ ที่นักเรียนจะได้ทำปฏิบัติการเกี่ยวกับการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยใช้ปฏิบัติการของ Dickey (2003) ที่นำหลอดมา 6 หลอด โดยหลอดที่ 1 ใส่ น้ำเปล่าและน้ำแป้งสุก หลอดที่ 2 ใส่ น้ำเปล่าและอะไมเลส หลอดที่ 3 ใส่ น้ำเปล่าและน้ำตาลกลูโคส หลอดที่ 4 ใส่ อะไมเลสและน้ำแป้งสุก หลอดที่ 5 ใส่ อะไมเลส กรดเกลือ และน้ำแป้งสุก และหลอดที่ 6 ใส่ อะไมเลสที่ผ่านการต้มจนเดือดและน้ำแป้งสุก แล้วแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 นำไปทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน ส่วนชุดที่ 2 นำไปทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์ ซึ่งได้ผลดังภาพประกอบ 71 จากนั้นสังเกตผลแล้วนำมาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ว่า “คาร์โบไฮเดรตเกิดการย่อยในหลอดทดลองได้บ้าง”

ผลการศึกษา						
ขั้นตอน	หลอดที่ 1	หลอดที่ 2	หลอดที่ 3	หลอดที่ 4	หลอดที่ 5	หลอดที่ 6
เตรียมสารตัวอย่าง						
นำไปต้มในอ่าง	37 °C	37 °C	37 °C	37 °C	37 °C	37 °C
ควบคุมอุณหภูมิ	5-10 นาที	5-10 นาที	5-10 นาที	5-10 นาที	5-10 นาที	5-10 นาที
ตรวจสอบแป้งโดยใช้สารละลายไอโอดีน						
หยดสารละลายไอโอดีน	2-3 หยด	2-3 หยด	2-3 หยด	2-3 หยด	2-3 หยด	2-3 หยด
ผลการทดลอง	+	-	-	-	+	+
ตรวจสอบน้ำตาลโดยใช้สารละลายเบเนดิกต์						
หยดสารละลายเบเนดิกต์	5-10 หยด	5-10 หยด	5-10 หยด	5-10 หยด	5-10 หยด	5-10 หยด
นำไปต้มในอ่าง	100 °C	100 °C	100 °C	100 °C	100 °C	100 °C
ควบคุมอุณหภูมิ	5-10 นาที	5-10 นาที	5-10 นาที	5-10 นาที	5-10 นาที	5-10 นาที
ผลการทดลอง	-	-	+	+	-	-
การแปลผลการทดลอง						
1. การตรวจสอบแป้งโดยใช้สารละลายไอโอดีน						
2. การตรวจสอบน้ำตาลโดยใช้สารละลายเบเนดิกต์				ไม่พบแป้ง	พบแป้ง	
ไม่พบน้ำตาล → พบน้ำตาลมาก						

ภาพประกอบ 71 ผลการทำปฏิบัติการที่ 6

ซึ่งผลปรากฏว่านักเรียนทุกกลุ่มสามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องสมบูรณ์ คือ “คาร์โบไฮเดรตเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองที่ 4” โดยหลักฐานที่นักเรียนนำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างคือ “หลอดทดลองที่ 4 ไม่มีการเปลี่ยนสี เมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน แต่มีการเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีส้ม เมื่อทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์” ซึ่งเหตุผลที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนี้คือ “เนื่องจากหลอดทดลองที่ 4 ใส่แป้งและเอนไซม์อะไมเลส ซึ่งสามารถย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล ดังนั้นเมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนจึงไม่มีการเปลี่ยนสี แต่เมื่อทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์ จะมีการเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีส้ม”

หลังจากที่ทำปฏิบัติการเสร็จสิ้นแล้ว ในขั้นสุดท้าย ผู้วิจัยก็ยังคงให้นักเรียนมาอภิปรายทั้งชั้นเรียนร่วมกับการใช้ผังเชื่อมโยงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ดังภาพประกอบ 72 เช่นเดียวกับที่ได้ปฏิบัติในวงจรก่อนหน้านี้



ภาพประกอบ 72 ตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต
ในรูปแบบผังเชื่อมโยง

ซึ่งผลลัพธ์ก็เป็นอย่างเดิม คือ นักเรียนแสดงความเข้าใจในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ทั้งฉบับโดยภาพรวม หลังการจัดการเรียนรู้ ที่นักเรียนกว่าร้อยละ 93.34 สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดี เช่นเดียวกัน หากพิจารณาแยกรายองค์ประกอบก็พบว่า นักเรียนกว่าร้อยละ 100 75.56 และ 48.89 สามารถสร้างข้อกล่าวอ้าง ระบุหลักฐาน และให้เหตุผลได้ในระดับดี ตามลำดับ

ผู้วิจัยจึงสรุปว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ ในชั้นประเมินผลการเรียนรู้ ควรจัดการอภิปรายทั้งชั้นเรียนโดยใช้คำถาม ร่วมกับการใช้ผังเชื่อมโยงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนเข้าใจความหมาย และลักษณะการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบจะช่วยให้ให้นักเรียนเห็นภาพชัดเจนมากขึ้นว่าแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทำหน้าที่สอดคล้องกันอย่างไร ซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อ 1) พัฒนابทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 2) พัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ 3) เพื่อศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

สรุปผลการวิจัย

1. สรุปผลการพัฒนابทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

การพัฒนابทปฏิบัติการครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกบทปฏิบัติการมาเพียง 3 บทปฏิบัติการ คือ บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม การย่อยอาหารของไฮดรา และการย่อยอาหารของปลาน้ำจืด เนื่องด้วยบทปฏิบัติการดังกล่าวมีความซับซ้อนของวิธีทำปฏิบัติการ ใช้เวลาในการทำปฏิบัติการมากเกินไป ใช้สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ หรือเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ราคาสูงเกินกว่าจะนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการโรงเรียน มาทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษามากขึ้น ซึ่งผู้วิจัยพบว่า

1.1 ผลการศึกษาร้อยละการติดสีของยีสต์ โดยการย้อมด้วยสีคองโกเรด ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างกัน

การย้อมยีสต์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้สีย้อมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.10 (โดยมวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 15 นาที จะให้ค่าร้อยละการติดสีของยีสต์ที่มากที่สุด คือมีค่าร้อยละการติดสีเฉลี่ยอยู่ที่ 90.85 ± 0.97 ซึ่งมีค่ามากกว่าการย้อมที่อุณหภูมิและความเข้มข้นอื่น ๆ ผู้วิจัยจึงนำสภาวะการย้อมยีสต์ดังกล่าว ไปใช้ในการทำปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม ซึ่งยีสต์ย้อมสีเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารของพารามีเซียม โดยเมื่อยีสต์

ดังกล่าวเข้าไปอยู่ในแควิโอลย่อยอาหารของพารามีเซียม จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีแดง (สีของสีย้อมคองโกเรด) เป็นสีน้ำเงิน เนื่องจากค่า pH ภายในแควิโอลย่อยอาหารลดลง เนื่องจากการรวมตัวกันกับแอซิดโซมและไลโซโซม

1.2 ผลการศึกษาช่วงเวลาที่ใช้ตราขปากอาหารออกมาหลังจากกินอาหาร

ไฮดราส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 54.67 และ 25.33 จะขับถ่ายกากอาหารออกมาหลังจากที่กินไปแล้วนาน 7 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยลักษณะที่สังเกตได้ก่อนที่ไฮดราจะขับถ่ายกากอาหารนั้นจะเริ่มต้นจากการที่กากอาหารจะเคลื่อนที่จากบริเวณตอนกลางของลำตัวไปอยู่บริเวณลำตัวส่วนบนใกล้กับปาก จากนั้นจะสังเกตเห็นว่าปากจะเริ่มเปิดออกเป็นช่องว่างเล็ก ๆ จนกระทั่งมีกากอาหารบางส่วนทะลักออกมา จนท้ายที่สุดไฮดราจะหดตัวอย่างรุนแรงเพื่อบีบไล้กากอาหารทั้งหมดออกมาจากช่องว่างภายในลำตัว ดังนั้น ในการที่จะให้นักเรียนศึกษาการขับกากอาหารของไฮดรา จึงควรให้อาหารไฮดราไว้ล่วงหน้าประมาณ 6-7 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน เพื่อให้นักเรียนมีโอกาสดูปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ยากนี้

1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย้อมสีทางเดินอาหารของปลานาเรีย โดยใช้อาหารวันย้อมด้วยสีผสมอาหารที่ความเข้มข้นต่างกัน

การย้อมสีทางเดินอาหารของปลานาเรีย โดยการนำอาหารวันย้อมด้วยสีผสมอาหาร ซึ่งประกอบด้วย ตับบดผสมน้ำที่อัตราส่วน 1:2 จำนวน 830 ไมโครลิตร วันทำขนมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร) จำนวน 150 ไมโครลิตร และสีผสมอาหาร (สีส้มแดง) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 (โดยมวลต่อปริมาตร) จะทำให้สามารถมองเห็นโครงสร้างของทางเดินอาหารของปลานาเรียชัดเจน โดยผู้วิจัยได้นำปลานาเรีย 45 ตัว มาให้อาหารด้วยอาหารวันดังกล่าว พบว่า มีปลานาเรียกว่า 39 ตัว (ร้อยละ 86.66) ที่มีระดับประสิทธิภาพการมองเห็นสีในทางเดินอาหารในระดับดีที่สุด (ระดับ 3)

1.4 ผลการสร้างและพัฒนารูปแบบปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

หลังจากได้ผลการศึกษาในข้อ 1.1-1.3 และการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำมาสร้างและพัฒนารูปแบบปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นทั้งหมด 6 เรื่อง คือ 1) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยสลายอาหารของแบคทีเรีย 2) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม 3) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อย

อาหารของไฮดรา 4) บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของปลานาเรีย 5) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ และ 6) บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์ ผู้วิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการ ซึ่งพบว่าบทปฏิบัติการมีคุณภาพที่สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้ โดยมีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.60 - 1.00 และเมื่อนำบทปฏิบัติการดังกล่าวไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา เพื่อประเมินประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ พบว่า ประสิทธิภาพด้านที่ 1 ของบทปฏิบัติการ โดยภาพรวมอยู่ในระดับสูง เนื่องจากนักเรียนสามารถปฏิบัติงานได้ตามวัตถุประสงค์ ขณะที่ประสิทธิภาพด้านที่ 2 ของบทปฏิบัติการ ก็อยู่ในระดับสูงเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีนักเรียนมากกว่าร้อยละ 50 มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี

2. สรุปผลการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

หลังจากที่ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไปใช้ พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ มีนักเรียนกว่าร้อยละ 93.34 ที่สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม (ทั้งฉบับ) ได้ในระดับดี ซึ่งก่อนการจัดการเรียนรู้ไม่พบว่านักเรียนที่สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดังกล่าวเลย จึงทำให้นักเรียนกว่าร้อยละ 48.89 และ 51.11 มีพัฒนาการในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับสูงและระดับปานกลางตามลำดับ และหากแยกพิจารณารายองค์ประกอบจะพบว่า องค์ประกอบที่นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี คือ การสร้างข้อกล่าวอ้าง ซึ่งจากการวิเคราะห์แบบวัดทั้งฉบับพบว่า มีนักเรียนกว่าร้อยละ 100 ที่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องและสมบูรณ์ ขณะที่องค์ประกอบถัดมาที่นักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 75.56) มีความสามารถอยู่ในระดับดี คือ การระบุหลักฐาน ส่วนองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลนั้นยังพบว่านักเรียนกว่าร้อยละ 51.11 ที่ยังมีความสามารถอยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น

3. สรุปผลแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้วิจัยพบแนวปฏิบัติที่ดีในการใช้บทปฏิบัติการชีววิทยา เพื่อส่งเสริมความสามารถในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายทั้งสิ้น 4 แนวปฏิบัติ ประกอบด้วย

1) การอภิปรายและประเมินหาจุดแข็งหรือจุดอ่อนของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หลังดำเนินการสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์จะช่วยพัฒนาให้นักเรียนมีความรู้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มากขึ้น

2) การประยุกต์วิธีทำปฏิบัติการระดับมหาวิทยาลัยมาใช้ โดยการปรับให้เข้ากับบริบทและข้อจำกัดของโรงเรียน จะทำให้นักเรียนได้ดำเนินการสำรวจตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพและนำผลที่ได้มาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

3) การขยายความรู้โดยการนำผลการวิจัยทางวิทยาศาสตร์มาสรุปเป็นบทความสั้น ๆ ที่เข้าใจง่าย มาให้นักเรียนศึกษาและพิจารณาเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงและพัฒนาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้สมบูรณ์มากขึ้น อีกทั้งช่วยให้นักเรียนเข้าใจว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์นั้นจะต้องมาจากกระบวนการสำรวจตรวจสอบที่น่าเชื่อถือ

4) การอภิปรายทั้งชั้นเรียนในชั้นประเมินผลการเรียนรู้ร่วมกับการใช้ผังเชื่อมโยงให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และสามารถเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น

อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยครั้งนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น คือ 1) การพัฒนาบทปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ โดยในส่วนนี้จะเน้นอภิปรายถึงผลการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ผู้วิจัยได้ปฏิบัติเพื่อนำไปใช้ในการสร้างบทปฏิบัติการ และ 2) การนำบทปฏิบัติการไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยในส่วนนี้จะเน้นอภิปรายถึงผลการนำบทปฏิบัติการไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนชีววิทยาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งผู้วิจัยขอเสนอรายละเอียดดังนี้

1. การพัฒนาบทปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น มีทั้งสิ้น 6 บทปฏิบัติการ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกบทปฏิบัติการดังกล่าวมาเพียง 3 บทปฏิบัติการ คือ บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของ

พารามีเซียม การย่อยอาหารของไฮดรา และการย่อยอาหารของพลาเนเรีย เนื่องด้วย บทปฏิบัติการดังกล่าวมีความซับซ้อนของวิธีทำปฏิบัติการ ใช้เวลาในการทำปฏิบัติการมากเกินไป ใช้สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ หรือเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ราคาสูงเกินกว่าจะนำมาใช้ใน ห้องปฏิบัติการโรงเรียน มาทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้เหมาะกับบริบทของ โรงเรียนมากขึ้น

บทปฏิบัติการแรกที่ผู้วิจัยจะอภิปรายคือ บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของ พารามีเซียม ซึ่งเป็นบทปฏิบัติการที่นักเรียนจะได้ทำการติดฉลาก (Pulse labelling) พารามีเซียม ด้วยยีสต์ที่ย้อมสีของโกเรต เพื่อตรวจสอบกระบวนการย่อยอาหารภายในแวคิวโอลย่อยอาหารของ พารามีเซียม โดย Fok et al. (1982) ได้เสนอวิธีการย้อมยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ด้วย วิธีที่ซับซ้อนและใช้เวลานาน ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีย้อมยีสต์ใหม่ (ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3) โดย พบว่า การย้อมยีสต์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้ยีสต์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.10 (โดย มวลต่อปริมาตร) เป็นเวลา 15 นาที จะให้ค่าร้อยละการติดสีของยีสต์ที่มากที่สุด คือมีค่าร้อยละ การติดสีเฉลี่ยอยู่ที่ 90.85 ± 0.97 อย่างไรก็ตาม หากใช้อุณหภูมิในการย้อมต่ำกว่า 80 องศา เซลเซียสหรือที่สภาวะควบคุมนั้น จะไม่สามารถย้อมให้ยีสต์ติดสีย้อมได้ เนื่องด้วยยีสต์ที่มีชีวิต มี ผนังเซลล์ที่แข็งแรงและมีความสามารถในการป้องกันตัวเองจากความเครียดของสิ่งแวดล้อม (Environmental stress) (Bowman & Free, 2006) แต่เมื่อใดก็ตามที่เพิ่มความเครียดให้กับเซลล์ อาทิ ความเครียดจากความร้อน (Heat stress) หรือความเครียดออสโมติก (Osmotic stress) จนถึงจุดที่เรียกว่า Lethal heat shock (Holubarova, Muller, & Svoboda, 2000) หรือ Osmotic shock ที่ส่งผลให้โปรตีนต่าง ๆ ทั้งบนผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ และภายในเซลล์เสียหาย หรือทำให้เกิดการรั่วของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane leakage) ขึ้น (Ebrahimi, Csonka, & Alam, 2018) ยีสต์ของโกเรตจึงสามารถแทรกเข้าไปในเซลล์และไปย้อมติดโครงสร้างที่มีประจุลบเช่นโปรตีน บางชนิดหรือสารที่มีประจุบวกในไซโตพลาสซึม จึงทำให้เซลล์ยีสต์ย้อมติดสีแดงเข้มแทบจะทุก เซลล์ แต่หากใช้อุณหภูมิและความเข้มข้นในการย้อมนั้นน้อยเกินไป อาจทำให้การกระตุ้นนั้นเป็น เพียง Mild heat shock ก็อาจจะทำให้อัตราการติดสีของยีสต์นั้นต่ำมาก เพราะไม่สามารถทำให้สี ย้อมของโกเรตเข้าไปติดในโครงสร้างต่าง ๆ ภายในเซลล์ได้ (Holubarova, Mullur, & Svoboda, 2000) จากผลการทดลองดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเห็นว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการย้อม ยีสต์โดยการนำไปต้มที่ 100 องศาเซลเซียส กว่า 1 ชั่วโมง และย้อมด้วยยีสต์ของโกเรตที่ความ เข้มข้นถึงร้อยละ 0.5 (โดยมวลต่อปริมาตร) ตามที่ได้รายงานไว้ในงานวิจัยหลายฉบับ

ขณะที่บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของไฮดรา ซึ่งเป็นบทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยจะให้แก่นักเรียนนำไรทะเลที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตมาให้อาหารไฮดราสีเขียว (*Hydra viridissima*) กิน แล้วสังเกตพฤติกรรมการกิน ว่าไฮดราตอบสนองต่ออาหารดังกล่าวอย่างไร ที่สำคัญผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าการที่นักเรียนจะเข้าใจแนวคิดเรื่องสัตว์ที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์นั้น นักเรียนจะต้องได้เห็นจากของจริงว่าไฮดราขับถ่ายออกทางปาก ซึ่งเป็นทางเดียวกันกับทางเข้าของอาหารนั้นเป็นอย่างไร แต่กระบวนการดังกล่าวไม่มีการระบุว่าได้ทำการศึกษาในไฮดราสีเขียว ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาช่วงเวลาที่ไฮดราสีเขียว ขับกากอาหารออกมาหลังจากที่กินอาหารเข้าไป เพื่อจะได้นำไฮดราที่ให้อาหารไว้แล้วตามช่วงเวลาดังกล่าว มาศึกษาการขับถ่ายกากอาหาร เพื่อเพิ่มโอกาสที่จะสามารถสังเกตพฤติกรรมดังกล่าว ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ไฮดราส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 54.67 และ 25.33 จะขับถ่ายกากอาหารออกมาหลังจากที่กินไปแล้วนาน 7 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยลักษณะที่สังเกตได้ก่อนที่ไฮดราจะขับถ่ายกากอาหารนั้นจะเริ่มต้นจากการที่กากอาหารจะเคลื่อนที่จากบริเวณตอนกลางของลำตัวไปอยู่บริเวณลำตัวส่วนบนใกล้กับปาก จากนั้นจะสังเกตเห็นว่าปากจะเริ่มเปิดออกเป็นช่องว่างเล็ก ๆ จนกระทั่งมีกากอาหารบางส่วนค่อย ๆ ทะลักออกมา จนท้ายที่สุดไฮดราจะหดตัวอย่างรุนแรงเพื่อบีบไล่กากอาหารทั้งหมดออกมาจากช่องว่างภายในลำตัว ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Shimizu, Koizumi, & Fujisawa (2004) ที่ได้ค้นพบว่า *Hydra magnipapilata* จะขับถ่ายกากอาหารออกมา หลังจากกินอาหารไปแล้ว 6-9 ชั่วโมง ขณะที่ Murphy & Quinn (2018) ได้พบว่า *Hydra attenuata* จะขับถ่ายกากอาหารออกมาภายใน 8 ชั่วโมง หลังจากกินอาหาร ผู้วิจัยจึงเสนอว่าหากครูต้องการให้นักเรียนได้เห็นปรากฏการณ์ดังกล่าว ควรเตรียมไฮดราที่กินอาหารมาแล้วนาน 6-7 ชั่วโมง มาไว้ให้นักเรียนได้ศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ส่วนบทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพลาณาเรียว ที่นักเรียนจะได้นำอาหารที่ย้อมสีมาให้พลาณาเรียวกิน เพื่อย้อมสีให้มองเห็นทางเดินอาหารได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยได้พัฒนาอาหารวุ้นย้อมสีผสมอาหาร มาใช้แทนตับดมผสมสีคาร์มินที่มีราคาสูงและมีความเป็นพิษต่อเซลล์ ซึ่งผลการศึกษา พบว่า พลาณาเรียวมีการตอบสนองต่ออาหารที่ย้อมด้วยสีผสมอาหารมากกว่าอาหารที่ย้อมด้วยสีคาร์มิน โดยค่าเฉลี่ยร้อยละการตอบสนองต่ออาหารที่ย้อมด้วยสีผสมอาหาร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 84.44 ± 19.44 ขณะที่อาหารที่ย้อมด้วยสีคาร์มิน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 55.56 ± 16.67 ตามลำดับ ทั้งนี้ เป็นเพราะพลาณาเรียวมีระบบประสาทส่วนกลางที่ไวต่อสีคาร์มินมากกว่าสีผสมอาหาร (Inoue, Hoshino, Yamashita, Shimoyama, & Agata, 2015) จึงทำให้พลาณาเรียวไม่ค่อยเคลื่อนที่ไปในบริเวณอาหารที่ย้อมด้วยสีคาร์มินนั่นเอง อย่างไรก็ตาม การนำตับ

บดมาบดด้วยส้อมผสมอาหารอาจยังขาดประสิทธิภาพหากทิ้งอาหารไว้นาน เพราะส้อมผสมอาหารจะแพร่กระจายไปในน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่ง Ribeiro & Umbuzeiro (2014) พบว่า หากส้อมดังกล่าวปนเปื้อนออกมาในปริมาณมาก จะทำให้พลาสมาเรียมีการเคลื่อนที่ผิดปกติ ลำตัวบิดพริ้วไปมา หรืออาจทำให้มีการหลังเมือกออกมาป้องกันตัวในปริมาณมาก และทำให้พลาสมาเรียตายในที่สุด ผู้วิจัยจึงคิดที่จะนำวุ้นทำขนมมาเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารดังกล่าว เพื่อให้วุ้นกักเก็บน้ำสีไม่ให้แพร่กระจายออกมา ดังที่ Lahaye & Rochas (1991) ได้รายงานวุ้นโมเลกุลของอากาศไรสและอากาศไรเฟคตินในวุ้นที่มีลักษณะเป็นเกลียวสายคู่ที่มาจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนจะมีลักษณะเป็นร่างแห จะสามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างดังกล่าวได้ ซึ่งผู้วิจัยพบว่า ความเข้มข้นของวุ้นที่จะใส่ลงไปในการอาหารเพื่อเป็นตัวประสานส้อม ควรจะอยู่ที่ร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร) โดยที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวจะทำให้พลาสมาเรียสามารถดูดเอาอาหารวุ้นเข้าไปในทางเดินอาหารได้ง่าย โดยจะให้ค่าร้อยละของพลาสมาเรียที่มีระดับประสิทธิภาพการมองเห็นอาหารในทางเดินอาหารดีที่สุด กว่าร้อยละ 53.33 สอดคล้องกับที่ Lahrech, Safouane, & Peyrellasse (2005) กล่าวว่า วุ้นที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 (โดยมวลต่อปริมาตร) จะมีลักษณะพิเศษ คือ เป็นเจลวุ้น ซึ่งเปราะบางและแตกง่ายกว่าวุ้นที่มีความเข้มข้นระดับอื่น ๆ ทำให้พลาสมาเรียสามารถดูดกินอาหารวุ้นที่มีความเข้มข้นดังกล่าวได้ดี ส่วนความเข้มข้นของส้อมผสมอาหารที่ผู้วิจัยพบว่าทำให้การมองเห็นทางเดินอาหารของพลาสมาเรียมีความชัดเจนมากที่สุดคือที่ร้อยละ 10 (โดยมวลต่อปริมาตร) โดยจะให้ค่าร้อยละของพลาสมาเรียที่มีระดับประสิทธิภาพการมองเห็นสีในทางเดินอาหารดีที่สุด คือ ร้อยละ 86.66

2. การนำบทปฏิบัติการไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

หลังจากที่ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผนวกกลยุทธ์การสอนเพื่อส่งเสริมการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไปใช้ พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ มีนักเรียนกว่าร้อยละ 93.34 ที่สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม (ทั้งฉบับ) ได้ในระดับดี ซึ่งก่อนการจัดการเรียนรู้ไม่พบว่ามีนักเรียนที่สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดังกล่าวเลย จึงทำให้นักเรียนกว่าร้อยละ 48.89 และ 51.11 มีพัฒนาการในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับสูงและระดับปานกลางตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ สันติชัย อนุวรชัย (2553) ที่พบว่า นักเรียนที่ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับกลวิธีการโต้แย้ง มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบร่างกาย อยู่ในระดับดี ซึ่งสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เช่นเดียวกับ พันนิดา มีลา และร่มเกล้า อาจเดช (2560) ที่พบว่า

นักเรียนส่วนใหญ่มีพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มาอยู่ในระดับปานกลาง หลังผ่านการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งผลดังกล่าวแตกต่างจากก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ทั้งนี้ หากพิจารณาแยกรายองค์ประกอบ จะพบว่าองค์ประกอบที่นักเรียนส่วนใหญ่พัฒนาไปอยู่ในระดับดี หรือกล่าวได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่นักเรียนมีความชำนาญมากที่สุด คือ การสร้างข้อกล่าวอ้าง ซึ่งจากการวิเคราะห์แบบวัดทั้งฉบับพบว่า มีนักเรียนกว่าร้อยละ 100 ที่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องและสมบูรณ์ ขณะที่องค์ประกอบถัดมาที่นักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 75.56) มีความสามารถอยู่ในระดับดี คือ การระบุหลักฐานที่เพียงพอและสอดคล้องกับข้อกล่าวอ้างที่สร้างขึ้น ส่วนองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลนั้นยังพบว่า มีนักเรียนกว่าร้อยละ 51.11 ที่ยังมีความสามารถอยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น แต่ถึงอย่างนั้น ก็ยังมีนักเรียนอีกร้อยละ 48.89 ที่มีการให้เหตุผลพัฒนาขึ้นไปอยู่ในระดับดี ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับ พัดนิดา มีลา และ รมเกล้า อาจเดช (2560); McNeill & Krajcik (2008); Ruiz-Primo, Li, Tsai, & Schneider (2010) ที่พบว่า การสร้างข้อกล่าวอ้างเป็นองค์ประกอบที่นักเรียนส่วนใหญ่สามารถทำคะแนนได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม มีนักเรียนบางส่วนที่อาจยังไม่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องสมบูรณ์ เนื่องจากนักเรียนยังขาดหรือมีแนวคิดวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน สอดคล้องกับที่ McNeill & Krajcik (2006) ได้ค้นพบว่าการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความรู้ เนื้อหาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากผลการวิจัยข้างต้น จึงสะท้อนให้เห็นว่าการใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ผสมผสานยุทธศาสตร์การสอนเพื่อส่งเสริมความสามารถในการเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ สามารถส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในองค์ประกอบด้านการระบุหลักฐาน เนื่องด้วยบทปฏิบัติการดังกล่าวเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำการทดลองหรือปฏิบัติการที่เป็นวิทยาศาสตร์แท้ (Authentic science) (Hodson, 1998; Braund & Reiss, 2006) ทำให้นักเรียนได้สัมผัสกับหลักฐานที่น่าเชื่อถือ และยังเป็นหลักฐานชั้นแรก (First hand data) ทำให้นักเรียนรู้ข้อมูลลักษณะใดที่จัดว่าเป็นหลักฐานที่จะสามารถนำไปใช้สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ (Pecker & Wallace, 2009; กรรณก เลิศเดชาภัทร และ ปริณดา ลิ้มพานนท์, 2561) นอกจากนี้บทปฏิบัติการดังกล่าวยังเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ถึงสองครั้งในหนึ่งปฏิบัติการ โดยในครั้งแรกจะเป็นการสร้างคำอธิบายจากหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลองหรือปฏิบัติการ ขณะที่ครั้งที่สองนักเรียนจะได้ศึกษาบทความวิจัย

ที่ครูสรุปมาให้แล้วนำมาพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นในครั้งแรกว่าถูกต้องและสมบูรณ์หรือไม่ ซึ่งเป็นการเพิ่มพูนความรู้เนื้อหาเชิงลึกจากการอ่านงานวิจัย (Bogucka & Wood, 2009; Botelho, Lo, Bridges, McGrath, & Yiu, 2013) ทำให้นักเรียนได้ประเมินและปรับแก้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นใหม่ โดยเฉพาะการเพิ่มเติมหลักฐาน ทำให้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สมบูรณ์และน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งนี่ก็เป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่ทำให้นักเรียนมีพัฒนาการด้านการระบุหลักฐานอย่างก้าวกระโดด

อย่างไรก็ดีแม้ว่าการให้เหตุผลเป็นองค์ประกอบที่ค่อนข้างยากสำหรับนักเรียน เนื่องจากนักเรียนยังขาดการเชื่อมโยงการให้เหตุผลเข้ากับแนวคิดวิทยาศาสตร์และไม่เข้าใจลักษณะการเขียนเพื่อให้เหตุผลที่เชื่อมโยงว่าเหตุใดหลักฐานจึงสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง แต่ผลการวิจัยก็พบว่ามึนักเรียนจำนวนไม่น้อยที่มีการพัฒนาการให้เหตุผลมาอยู่ในระดับที่ดีขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะบทปฏิบัติการนี้ มีการสรุปและอภิปรายให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้ผังเชื่อมโยง ที่จะช่วยจัดระบบและเรียบเรียงความคิดของนักเรียนได้เป็นอย่างดี (Derbentseva, Safayeni, & Canas, 2007; Novak, McNeill, & Krajcik, 2009; Yang & Wang, 2014) ไม่เพียงเท่านี้ การที่นักเรียนสามารถให้เหตุผลอธิบายความสอดคล้องของข้อกล่าวอ้างและหลักฐานได้นั้น ก็เป็นผลมาจากการที่นักเรียนได้ประเมินและเห็นตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีและไม่ดี (McNeill & Krajcik, 2008)

จากที่กล่าวมาข้างต้น สะท้อนให้เห็นว่าเทคนิคหรือวิธีการต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในบทปฏิบัติการจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ ตลอดจนความรู้ในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Knowledge of general practice) ที่ดีขึ้น ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 2 นี้จะช่วยพัฒนาให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น สอดคล้องกับ Perkins & Salomon (1989); Kuhn, Schauble, & Garcia-Mila (1992); Bell & Linn (2000); Zimmerman (2000); Sandoval & Millwood (2005) ที่ได้ค้นพบว่าในการปฏิบัติงานหนึ่ง ๆ ทางวิทยาศาสตร์ (Science practices) ไม่ว่าจะเป็น การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ การให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ หรือการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ ให้สำเร็จลุล่วงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมี คือ ความรู้เนื้อหาที่จำเพาะกับงานที่กำลังปฏิบัติ และความรู้ทั่วไปสำหรับการปฏิบัติงาน

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพิ่มที่จะช่วยให้ผู้อ่านสามารถหยิบยกข้อเสนอแนะดังกล่าวไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้วิจัยจะขอแยกออกเป็น 2 ประเด็น คือ 1) ข้อเสนอแนะในการจัดการเรียนรู้ และ 2) ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการจัดการเรียนรู้

1.1 จากผลการวิจัยที่พบว่าการเปิดโอกาสให้นักเรียนอภิปรายและประเมินหาจุดแข็งและจุดอ่อนของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จะทำให้กรอบแนวคิดในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ชัดเจนขึ้น แต่หากจัดการประเมินดังกล่าวขณะที่นักเรียนไม่มีความรู้เดิม ก็อาจเป็นอุปสรรคทำให้นักเรียนไม่สามารถประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอแนะว่าควรควรทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนก่อนจัดกิจกรรมดังกล่าว หรือไม่ก็ย้ายกิจกรรมดังกล่าวไปจัดหลังขั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนจะมีความรู้พื้นฐานแล้ว

1.2 ในการวิจัยนี้พบว่าการประยุกต์ใช้บทปฏิบัติการระดับมหาวิทยาลัยมาใช้ จะทำให้นักเรียนได้ดำเนินการสำรวจตรวจสอบโดยวิธีที่น่าเชื่อถือ และนำมาซึ่งผลการทำปฏิบัติการที่สามารถนำไปใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ โดยที่ครูไม่ต้องกังวลเรื่องความพร้อมของอุปกรณ์ เนื่องจากสามารถหาวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาถูกมาใช้แทน เช่น ในงานวิจัยนี้ ที่ได้นำแผ่นซีดี กระดุม และเชือก มาประดิษฐ์เป็นเซนทรีฟิวจลูกหึ่งใช้แทนเครื่องเซนทรีฟิวจ

1.3 ในบทปฏิบัติการบางเรื่อง เช่น การย่อยอาหารของพารามีเซียม ไฮดรา และพลาณาเรีย เป็นการศึกษาการย่อยอาหารที่ต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ ดังนั้นครูควรฝึกนักเรียนให้มีความชำนาญในการใช้กล้องเป็นอย่างดี เพื่อให้แน่ใจว่านักเรียนจะสามารถทำปฏิบัติการครั้งนั้นได้ นอกจากนี้คุณภาพของกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการทำปฏิบัติการก็มีผลต่อการศึกษาดังกล่าวเช่นเดียวกัน อาทิ หากใช้กล้องที่คุณภาพต่ำก็จะส่งผลต่อความคมชัดของภาพ

1.4 เพื่อความรวดเร็วในการทำปฏิบัติการ ครูควรให้นักเรียนศึกษาขั้นตอนและวิธีการทำปฏิบัติการ พร้อมสรุปเป็นแผนผังการดำเนินงานมาที่บ้าน เมื่อถึงเวลาที่ต้องทำปฏิบัติการก็จะทำให้ไม่เสียเวลาในการทำความเข้าใจขั้นตอนและวิธีการทำปฏิบัติการในคาบเรียน เพื่อที่จะได้นำเวลาที่เหลือไปใช้ในการอภิปรายชั้นเรียน

1.5 สารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิบัติการบางเรื่อง เป็นสารอันตราย แม้ว่าผู้วิจัยจะเตรียมสารดังกล่าวที่ความเข้มข้นต่ำมาก ก็ไม่อาจละเลยการควบคุมความปลอดภัยในชั้นเรียนได้ ครูจึงต้องเตรียมความพร้อมในการช่วยเหลือ หากเกิดเหตุการณ์ไม่คาดคิดขึ้น และให้นักเรียนใส่อุปกรณ์ป้องกันตัว เช่น ถุงมือยาง หน้ากากอนามัย และแว่นตานิรภัย อย่างรัดกุม

1.6 เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการนี้มุ่งเน้นให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งอาจยังไม่ถึงเป้าหมายสูงสุดของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ต้องการให้นักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติรอบ ๆ ตัวได้ ดังนั้นครูอาจเพิ่มเติมชิ้นกิจกรรมให้นักเรียนได้ มาอธิบายปรากฏการณ์ที่ใกล้ตัว เพื่อการเรียนรู้ที่มีความหมายมากขึ้น นอกจากนี้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนปรับปรุงแล้ว ล้วนแต่เป็นคำอธิบายที่ถูกต้องและสมบูรณ์ ดังนั้นครูอาจจะให้นักเรียน ได้เผยแพร่คำอธิบายเหล่านั้นลงในสื่อออนไลน์เพื่อเป็นการให้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับผู้พบเห็น และให้นักเรียนเห็นประโยชน์ของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนรายบุคคลเพียงก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้เท่านั้น ซึ่งหากต้องการข้อมูลโดยละเอียดที่จะนำไปใช้สนับสนุนผลการวิจัยหรืออภิปรายผลการวิจัย ควรศึกษาพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนรายบุคคลระหว่างทางในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ด้วย

2.2 เนื่องจากในงานวิจัยนี้พบว่าทำให้เหตุผลเป็นองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาน้อยที่สุด ต่างจากการสร้างข้อกล่าวอ้างและการระบุหลักฐาน ที่มีความง่ายในการเขียนมากกว่า เนื่องจากไม่ต้องการใช้การเขียนเชื่อมโยงประโยคแบบการให้เหตุผล ซึ่งผลจากแบบวัดและอนุทินของนักเรียนส่วนใหญ่ก็สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนขาดความรู้ในการใช้ภาษาอาทิ ไม่สามารถเรียบเรียงประโยคที่เป็นเหตุเป็นผลกันได้ หรือใช้คำที่ไม่เป็นทางการ จึงทำให้ไม่สามารถให้เหตุผลได้ในระดับดี ดังนั้นในงานวิจัยต่อยอดจึงควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสององค์ประกอบนี้ ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ด้านการให้เหตุผลให้ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Akuma, F. V. (2017). *A Professional Development Framework for Supporting Inquiry-Based Practical Work in Resource Constrained Classrooms* (Doctoral dissertation). University of Pretoria, Pretoria.
- Allen, R. D., & Fok, A. K. (2000). Membrane trafficking and processing in *Paramecium*. *International Review of Cytology*, 198, 277-318.
- American Association for the Advancement of Science. (1991). *Science for All Americans*. Oxford: Oxford university.
- Bell, P., & Linn, M. C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797-817.
- Beyer, C. J., & Davis, E. A. (2008). Fostering second graders' scientific explanations: A beginning elementary teacher's knowledge, beliefs, and practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 17(3), 381-414.
- Bode, H. R. (2001). The role of *Hox* genes in axial patterning in *Hydra*. *American Zoologist*, 41(3), 621-628.
- Bogucka, R., & Wood, E. (2009). How to read scientific research articles: a hands-on classroom exercise. *Issues in Science and Technology Librarianship*, 59, 4-13.
- Bossert, P., & Galliot, B. (2012). How to use *Hydra* as a model system to teach biology in the classroom. *International Journal of Developmental Biology*, 56(6-7-8), 637-652.
- Botelho, M., Lo, E., Bridges, S., McGrath, C., & Yiu, C. (2013). Journal-based learning, a new learning experience building on PBL at HKU. *European Journal of Dental Education*, 17(1), 120-125.
- Bowman, S. M., & Free, S. J. (2006). The structure and synthesis of the fungal cell wall. *Bioessays*, 28(8), 799-808.
- Braund, M., & Reiss, M. (2006). Towards a more authentic science curriculum: The contribution of out-of-school learning. *International Journal of Science Education*, 28(12), 1373-1388.

- Bybee, R. W. (1990). Science for life & living: An elementary school science program from biological sciences curriculum study. *The American Biology Teacher*, 52(2), 92-98.
- Bybee, R. W. (2006). Scientific inquiry and science teaching. In *Scientific Inquiry and Nature of Science* (Chapter 1, p. 1-14). Dordrecht: Springer.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*. Colorado Springs: BSCS.
- Clackson, S., & Wright, D. (1992). An appraisal of practical work in science education. *School Science Review*, 74(266), 39-42.
- Derbentseva, N., Safayeni, F., & Canas, A., J. (2007). Concept maps: Experiments on dynamic thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(3), 448-465.
- Dickey, J. (2003). *Laboratory Investigations for Biology* (2nd ed.). San Francisco, CA: Benjamin-Cummings.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.
- Dryl, S. (1959). Antigenic transformation in *Paramecium aurelia* after homologous antiserum treatment during autogamy and conjugation. *The Journal of Protozoology*, 6, 25.
- Ebrahimi, A., Csonka, L. N., & Alam, M. A. (2018). Analyzing thermal stability of cell membrane of *Salmonella* using time-multiplexed impedance sensing. *Biophysical Journal*, 114(3), 609-618.
- Fok, A. K., Lee, Y., & Allen, R. D. (1982). The correlation of digestive vacuole pH and size with the digestive cycle in *Paramecium caudatum*. *The Journal of Protozoology*, 29(3), 409-414.
- Forsthoefel, D. J., Park, A. E., & Newmark, P. A. (2011). Stem cell-based growth, regeneration, and remodeling of the planarian intestine. *Developmental Biology*, 356(2), 445-459.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American*

Journal of Physics, 66(1), 64-74.

- Harris, C. J., McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Marx, R. W., & Krajcik, J. (2006). Usable assessments for teaching science content and inquiry standards. In M. McMahon, P. Simmons, R. Sommers, D. DeBaets, & F. Crowley (Eds.), *Assessment in Science: Practical Experiences and Education Research* (chapter 6, p. 67-88). Arlington, VA: NSTA.
- Hodson, D. (1998). *Teaching and Learning Science: Towards a Personalized Approach*. Philadelphia, PA: McGraw-Hill.
- Holubarova, A., Muller, P., & Svoboda, A. (2000). A response of yeast cells to heat stress: cell viability and the stability of cytoskeletal structures. *Scripta Medica*, 73(6), 381-392.
- Horn, M. H. (1989). Biology of marine herbivorous fishes. *Oceanography and Marine Biology*, 27, 167-272.
- Inoue, T., Hoshino, H., Yamashita, T., Shimoyama, S., & Agata, K. (2015). Planarian shows decision-making behavior in response to multiple stimuli by integrative brain function. *Zoological Letters*, 1(1), 7.
- Jenkins, E. (1998). The schooling of laboratory science. In Wellington, J. (Ed.), *Practical Work in School Science: Which Way Now* (chapter 3, p. 35-51). London: Routledge.
- Jensen, M. S., & Bainton, D. F. (1973). Temporal changes in pH within the phagocytic vacuole of the polymorphonuclear neutrophilic leukocyte. *The Journal of Cell Biology*, 56(2), 379-388.
- Kahlert, H., Meyer, G., & Albrecht, A. (2016). Colour maps of acid–base titrations with colour indicators: how to choose the appropriate indicator and how to estimate the systematic titration errors. *ChemTexts*, 2(2), 7.
- Kass-Simon, G., & Scappaticci, A. (2004). Glutamatergic and GABAergic control in the tentacle effector systems of *Hydra vulgaris*. *Hydrobiologia*, 530(1-3), 67-71.
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (1988). Introduction: the nature of action research. In S. Kemmis & R. McTaggart (Eds.), *The Action Research Planner* (chapter 1, p. 5-28).

Victoria: Deakin University.

Kodama, Y., & Fujishima, M. (2005). Symbiotic *Chlorella* sp. of the ciliate *Paramecium bursaria* do not prevent acidification and lysosomal fusion of host digestive vacuoles during infection. *Protoplasma*, 225(3-4), 191-203.

Kramer, D. L., & Bryant, M. J. (1995). Intestine length in the fishes of a tropical stream: Relationships to diet-the long and short of a convoluted issue. *Environmental Biology of Fishes*, 42(2), 129-141.

Kuhn, D., Schauble, L., & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 9(4), 285-327.

Kuslan, L. I., & Stone, A. H. (1968). *Teaching children science: An inquiry approach*. n.p.: Wadsworth.

Lahaye, M., & Rochas, C. (1991). *Chemical Structure and Physico-chemical Properties of Agar*. Paper presented at the International workshop on gelidium. Santander, Spain.

Lahrech, K., Safouane, A., & Peyrellasse, J. (2005). Sol state formation and melting of agar gels rheological study. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 358(1), 205-211.

Leach, J. (1998). Teaching about the world of science in the laboratory: The influence of students' ideas. In J. Wellington (Ed.), *Practical Work in School Science: Which Way Now* (chapter 4, p. 52-68). London: Routledge.

Lechtanski, V. L. (2000). *Inquiry-based Experiments in Chemistry*. Washington, D.C.: American Chemical Society.

Lenhoff, H. M., & Brown, R. D. (1970). Mass culture of *Hydra*: an improved method and its application to other aquatic invertebrates. *Laboratory Animals*, 4(1), 139-154.

Loomis, W. F. (1955). Glutathione control of the specific feeding reactions of *Hydra*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 62(9), 211-227.

Lunetta, V. N., Hofstein, A., & Clough, M. P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (chapter 2,

- p. 393-441). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2006). *Supporting students' construction of scientific explanation through generic versus context-specific written scaffolds*. Paper presented at The Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, United State.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations. In M. C. Lovett & P. Shah (Eds.), *Thinking with Data* (chapter 10, p. 233-265). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 53-78.
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191.
- Millar, R. (1998). Rhetoric and reality: What practical work in science education is really for. In J. Wellington (Ed.), *Practical Work in School Science: Which Way Now* (chapter 2, p. 16-31). London: Routledge.
- Millar, R. (2004). *The Role of Practical Work in the Teaching and Learning of Science*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Millar, R. (2010). *Analysing Practical Science Activities to Assess and Improve Their Effectiveness*. York: University of York.
- Millar, R., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. F. (2002). Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. In Psillos, D. & Niedderer, H (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (chapter 2, p. 9-20). Dordrecht: Springer.
- Miller, G. (1959). Modified DNS method for reducing sugars. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428.
- Murphy, F., & Quinn, B. (2018). The effects of microplastic on freshwater *Hydra attenuata* feeding, morphology & reproduction. *Environmental Pollution*, 234, 487-494.

- Murray, I., & Reiss, M. (2005). The student review of the science curriculum. *School Science Review*, 86(318), 83.
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, D.C.: National Academies.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. Washington DC: National Academies.
- National Research Council. (2013). *Next Generation Science Standards: for State, by State* Washington, DC: National Academies.
- Novak, A. M., McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2009). Helping students write scientific explanations. *Science Scope*, 33(1), 54.
- OECD. (2009). PISA 2006 Technical Report, PISA, OECD.
- Osborne, J. (1998). Science education without a laboratory. In J. Wellington (Ed.), *Practical Work in School Science: Which Way Now* (chapter 9, p. 156-173). London: Routledge.
- Patton, M. Q. (2005). Qualitative research. In B. Everitt & D. C. Howell (Eds.), *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science* (volume 3, M-Q). Hoboken, NJ: Wiley.
- Peker, D., & Wallace, C. S. (2011). Characterizing high school students' written explanations in biology laboratories. *Research in Science Education*, 41(2), 169-191.
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1989). Are cognitive skills context-bound?. *Educational Researcher*, 18(1), 16-25.
- Phornphisutthimas, S., Thamchaipenet, A., & Panijpan, B. (2007). Conjugation in *Escherichia coli*: A laboratory exercise. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 35(6), 440-445.
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2014). *Campbell Biology*: Boston, MA: Pearson.
- Ribeiro, A. R., & Umbuzeiro, G. (2014). Effects of a textile azo dye on mortality, regeneration, and reproductive performance of the planarian, *Girardia tigrina*.

Environmental Sciences Europe, 26(1), 22.

- Roels, J., & van Beynum, G. (1985). *Starch Conversion Technology*. NY :Marcel Dekker.
- Romey, W. (1968). A Soviet experiment in science education. *The Science Teacher*, 35(1), 43-45.
- Rossi, L., Salvetti, A., Batistoni, R., Deri, P., & Gremigni, V. (2008). Planarians, a tale of stem cells. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65(1), 16-23.
- Ruiz-Primo, M. A., Li, M., Tsai, S. P., & Schneider, J. (2010). Testing one premise of scientific inquiry in science classrooms: Examining students' scientific explanations and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 583-608.
- Samejima, M., Sugiyama, J., Igarashi, K., & Eriksson, K.-E. L. (1997). Enzymatic hydrolysis of bacterial cellulose. *Carbohydrate Research*, 305(2), 281-288.
- Sampson, V., & Clark, D. (2009). The impact of collaboration on the outcomes of scientific argumentation. *Science Education*, 93(3), 448-484.
- 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.
- Sazci, A., Erenler, K., & Radford, A. (1986). Detection of cellulolytic fungi by using Congo red as an indicator: a comparative study with the dinitrosalicylic acid reagent method. *Journal of Applied Bacteriology*, 61(6), 559-562.
- Schwab, J. J., & Brandwein, P. F. (1962). *The Teaching of Science as Enquiry*. Cambridge, MA: Harvard University.
- Sheiman, I., Zubina, E., & Kreshchenko, N. (2002). Regulation of the feeding behavior of the planarian *Dugesia Girardia tigrina*. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 38(4), 414-418.
- Shimizu, H., Koizumi, O., & Fujisawa, T. (2004). Three digestive movements in *Hydra* regulated by the diffuse nerve net in the body column. *Journal of Comparative Physiology A*, 190(8), 623-630.
- Sorgo, A., Hajdinjak, Z., & Briski, D. (2008). The journey of a sandwich: computer-based laboratory experiments about the human digestive system in high school biology teaching. *Advances in Physiology Education*, 32(1), 92-99.

- Sugiyama, T., & Fujisawa, T. (1977). Genetic analysis of developmental mechanisms in *Hydra*. Sexual reproduction of *Hydra magnipapillata* and isolation of mutants. *Development, Growth & Differentiation*, 19(3), 187-200.
- Teather, R. M., & Wood, P. J. (1982). Use of Congo red-polysaccharide interactions in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen. *Applied and Environmental Microbiology*, 43(4), 777-780.
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving Science Education: The Contribution of Research* (chapter 2, p. 27-47) Philadelphia, PA: Open University.
- Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument* (2 ed.). Cambridge: Cambridge University.
- Veel, R. (1997). Learning how to mean-scientifically speaking: Apprenticeship into scientific discourse in the secondary school. In F. Christie & J. R. Martin (Eds.), *Genre and Institutions: Social Processes in the Workplace and School* (p. 161-195). London: Cassell.
- Vollhardt, P., & Schore, N. (2011). *Organic Chemistry Structure and Function*. United State: W.H. Freeman.
- Wellington, J. (1989). Skills and processes in science education: an introduction. In J. Wellington (Ed.), *Skills and Processes in Science Education* (p. 5-20). London: Routledge.
- Wilby, O. (1988). *The Hydra Regeneration Assay*. Paper presented at the Proceedings of Workshop organised by Association Francaise de Teratologie. Royaumont, France.
- Wolf, S. J., & Fraser, B. J. (2008). Learning environment, attitudes and achievement among middle-school science students using inquiry-based laboratory activities. *Research in Science Education*, 38(3), 321-341.
- Wood, P., & Fulcher, R. (1978). Interaction of some dyes with cereal beta-glucans. *Cereal Chemistry*, 55(6), 952-966.
- Woodruff, L. L. (1908). The life cycle of *Paramecium* when subjected to a varied environment. *The American Naturalist*, 42(500), 520-526.
- Woolnough, B. E., & Allsop, T. (1985). *Practical Work in Science*. Cambridge: Cambridge

University.

Wu, H. P. P., & Persinger, M. A. (2011). Increased mobility and stem-cell proliferation rate in *Dugesia tigrina* induced by 880 nm light emitting diode. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 102(2), 156-160.

Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20(1), 99-149.

Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35-62.

กรกนก เลิศเดชาภัทร และ ปริณดา ลิ้มปานานท์. (2561). ผลของการสืบสอบแบบร่วมมือรวมพลังที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น. *วารสารครุศาสตร์*, 46(2), 1-20.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ณัฐชียา ธนานุสนธิ์. (2560). *การส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงแนวคิด เรื่อง ระบบย่อยอาหารของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้ยุทธวิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดตามมุมมองญาณวิทยาและมุมมองเชิงความรู้สึกล (ปริญญาณิพนธ์มหาบัณฑิต)*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทองกลด ไบยา. (2558). *การพัฒนาบทบาทปฏิบัติการเรื่องการเปลี่ยนแปลงพลังงานโดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี (ปริญญาณิพนธ์มหาบัณฑิต)*. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ทับ รุ่งเรือง. (2560). ไฮดรา (*Hydra*). สืบค้นจาก <https://sites.google.com/site/kmhydrabiology/home>

ธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์, มณฑรพ กากแก้ว, จารึก นาชัยเพิ่ม, และ แสงอรุณ เนืองสิทธิ. (2552). การกินอาหารของปลาสร้อยนกเขา ปลาแขยงใบข้าว และปลาแขยงข้างลาย ในแม่น้ำสงครามตอนล่าง. สืบค้นจาก <http://fisheries.go.th/if-center/web2/images/pdf/web4.pdf>

บพิณ จารุพันธุ์. (2545). *สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง*: กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญธิดา ไรจนคุณธรรม. (2558). *การพัฒนาแนวคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง ระบบ*

ย่อยอาหารและการสลายอาหารระดับเซลล์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.

บุษกร วงษ์ปาน. (2558). การพัฒนาแนวคิด เรื่อง ระบบย่อยอาหาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (ปริญญานิพนธ์ มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พัฒน์ดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช. (2560). การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานและการอธิบายทางวิทยาศาสตร์: การส่งเสริมการสร้างความหมายในชั้นเรียน. วารสาร ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 19(3), 1-15.

วิศิษฐ์ศรี โตศุกลวรรณ. (2556). การพัฒนาบทปฏิบัติการโดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ ด้วยตนเองเรื่องโครงสร้างและหน้าที่ของพืชดอก สำหรับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอน ปลาย (ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ศิวาพร ลงยันต์ และ ไพศาล สิทธิกรกุล. (2555). ไมโครเทคนิค Microtechniques. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สันติชัย อนุวรชัย. (2553). ผลของการเรียนการสอนชีววิทยาด้วยรูปแบบการเรียนการสอนสืบสอบ ร่วมกับกลวิธีการโต้แย้งที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และ ความมีเหตุผล ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย (ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.





ภาคผนวก ก

หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

MF-04-version-2.0

วันที่ 18 ต.ค. 61



หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยและยินยอม

หมายเลขข้อเสนอการวิจัย SWUEC- 388/2562E

ข้อเสนอการวิจัยนี้และเอกสารประกอบของข้อเสนอการวิจัยตามรายการแสดงด้านล่าง ได้รับการพิจารณาจาก คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒแล้ว คณะกรรมการฯ มีความเห็นว่าข้อเสนอการวิจัยที่จะดำเนินการมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและ ข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้

ชื่อโครงการวิจัยเรื่อง: การพัฒนาปฏิบัติการเรื่องระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเพื่อส่งเสริมความสามารถในการ
สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ชื่อผู้วิจัยหลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

สังกัด: คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารที่รับรอง:

1. แบบเสนอโครงการวิจัย
2. โครงการวิจัย
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เอกสารที่พิจารณาพบทวน

1. แบบเสนอโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 24 ก.พ. 2563
2. โครงร่างการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 24 ก.พ. 2563
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 24 ก.พ. 2563
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 24 ก.พ. 2563

(ลงชื่อ).....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิตรกุล)

กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ).....

(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/E-388/2562

วันที่ให้การรับรอง : 24/02/2563

วันหมดอายุใบรับรอง : 24/02/2564



ภาคผนวก ข

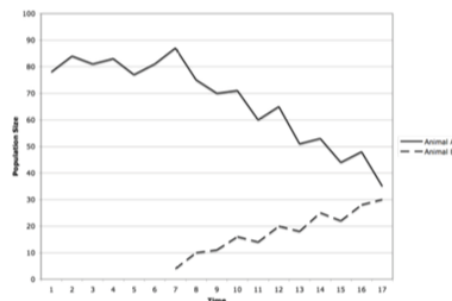
แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

**แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific explanation)
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย รายวิชาชีววิทยาเพิ่มเติม เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต**

คำชี้แจง แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตฉบับนี้ ประกอบด้วยแบบวัดทั้งหมด 6 ข้อ (ใช้เวลาในการทำแบบวัด 50 นาที)

- 1) การย่อยอาหารภายนอกและภายในเซลล์
- 2) สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์
- 3) ระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่กินพืชและสัตว์กินเนื้อ
- 4) ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต
- 5) ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน
- 6) ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน

แบบวัดแต่ละข้อจะกำหนดข้อมูลที่เป็นการศึกษาค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์ แล้วให้นักเรียนนำข้อมูลในส่วนนี้มาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ คือ 1) **ข้อกล่าวอ้าง (Claim)** เป็นคำตอบข้อยืนยัน หรือข้อสรุปเบื้องต้นของคำถามที่เกี่ยวข้อง กับสิ่งที่นักเรียนต้องการค้นคว้าคำตอบ 2) **หลักฐาน (Evidence)** เป็นข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ได้มาจากการสำรวจ ตรวจสอบ การทดลอง การสังเกต หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ นักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความถูกต้อง เหมาะสม และเพียงพอ เพื่อนำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตน และ 3) **การให้เหตุผล (Reasoning)** เป็นข้อความที่แสดงถึงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่าง



จากภาพ สัตว์ชนิด A อาศัยอยู่ในทุ่งหญ้า โดยสัตว์ชนิดนี้กินหญ้า รากพืชและวัชพืชเป็นอาหาร สัตว์ชนิด A อาศัยอยู่ในโพรงขนาดเล็กใต้ดิน ณ ช่วงเวลาที่ 7 สัตว์ชนิด B เข้ามาในสภาพแวดล้อมนี้ สัตว์ชนิด B มีขนาดใหญ่กว่าสัตว์ชนิด A และกินสัตว์ขนาดเล็ก แมลงและสัตว์เลื้อยคลานเป็นอาหาร ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่อธิบายรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์ทั้งสองชนิดนี้

ข้อกล่าวอ้าง:

สัตว์ชนิด A และ B มีความสัมพันธ์แบบผู้ล่ากับเหยื่อ

หลักฐาน:

- 1) เมื่อสัตว์ชนิด B เข้าไปอยู่ในสภาพแวดล้อมนี้ ขนาดประชากรของสัตว์ชนิด A จะลดลง 2) สัตว์ทั้งสองชนิดบริโภคอาหารต่างกัน ดังนั้นจะไม่มีการแข่งขันการบริโภคอาหาร 3) สัตว์ชนิด B บริโภคอาหารที่มีลักษณะเช่นเดียวกับสัตว์ชนิด A ดังนั้น สัตว์ชนิด B สามารถบริโภคสัตว์ชนิด A ได้

การให้เหตุผล:

เมื่อผู้ล่าเข้าไปในสภาพแวดล้อมใหม่ จะทำให้ประชากรเหยื่อลดลงอย่างฉับพลัน

แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง การย่อยอาหารภายนอกและภายในเซลล์ (Extracellular & Intracellular digestion)

คำชี้แจง

ให้นักเรียนศึกษา 1) การทดลองของ Teather & Wood (1982) ที่ทำการตรวจสอบการทำงานของเอนไซม์เซลล์ูลัสในแบคทีเรีย และ 2) การทดลองของ Fok & Allen (1982) ที่ทำการศึกษากการย่อยอาหารของพารามีเซียม แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง

การทดลองที่ 1

1. นำอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีส่วนผสมหลักเป็นเซลล์ูลัส มาเลี้ยงแบคทีเรียที่สามารถสร้างเซลล์ูลัสได้	2. นำเฟลตอาหารเลี้ยงเชื้อมาต้มด้วยสีคองโกเรต 15 นาที แล้วล้างสีส่วนเกินด้วยน้ำเกลือ (สีคองโกเรตจะย้อมติดส่วนของเซลล์ูลัสบนอาหารเลี้ยงเชื้อ)	3. สังเกตผลการทดลอง พบว่าเกิดวงใส (Clear zone) ที่ย้อมไม่ติดสีคองโกเรตขึ้น
--	---	--

การทดลองที่ 2

1. นำเซลล์ยีสต์ไปให้พารามีเซียมกิน	2. นำไปย้อมด้วยสีโกโมรี ซึ่งเป็นสีที่สามารถย้อมติดเอนไซม์จากไลโซโซมได้	3. บริเวณใดมีเอนไซม์จากไลโซโซมจะย้อมติดสีดำ	4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของแวนิวโอลอยย่อยอาหารพบว่าย้อมติดสีดำ

จากการทดลองให้นักเรียนอธิบายว่า “ลักษณะการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดเหมือนกันหรือต่างกันอย่างไร”

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้คุณคิดเช่นนั้น

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ (Complete and Incomplete digestive tract)

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาตารางแสดงกระบวนการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง

ตารางแสดงกระบวนการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด

สิ่งมีชีวิต	อาหารที่บริโภค	การนำอาหารเข้า	บริเวณที่เกิดการย่อย	การนำของเสียหรือกากอาหารออก
พารามีเซียม	แบคทีเรียและสาหร่ายขนาดเล็ก	ร่องปาก (Oral groove)	ไซโทพลาสซึม (Cytoplasm)	ไซโตพรอคท์ (Cytoproct)
ไฮดรา	ไรแดง ไรทะเล	ปาก (Mouth)	ช่องว่างภายในลำตัว (Gastrovascular cavity)	ปาก (Mouth)
พลาเนเรีย	อินทรีย์วัตถุ	ปาก (Mouth)	ช่องว่างภายในลำตัว (Gastrovascular cavity)	ปาก (Mouth)
ไส้เดือนดิน	อินทรีย์วัตถุ	ปาก (Mouth)	กึ๋น (Gizzard) และ ลำไส้ (Intestine)	ทวาร (Anus)
พยาธิตัวตืด	เลือด	ปากดูด (Sucker)	-	-

จากตาราง สิ่งมีชีวิตชนิดใดบ้างที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ตามลำดับ

.....

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

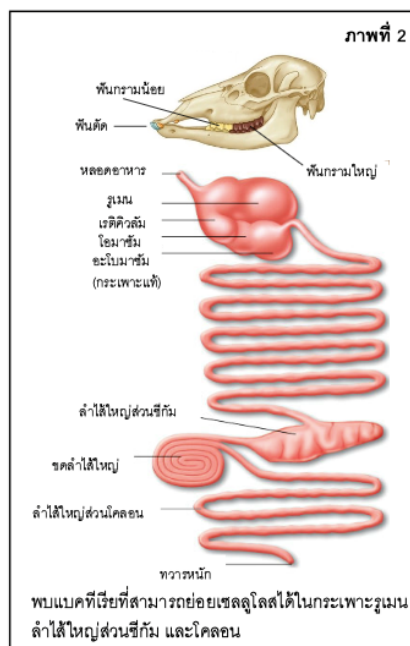
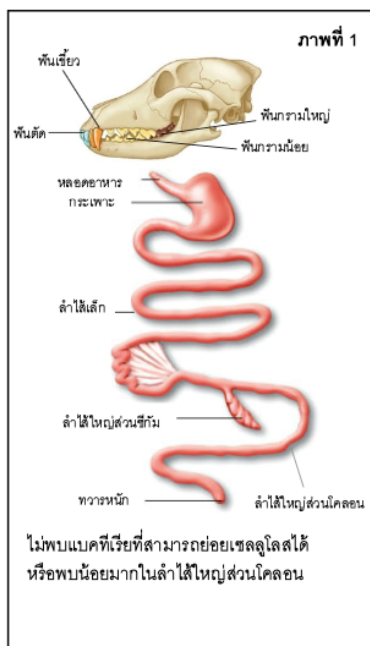
.....

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

.....

แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสัตว์กินพืชและสัตว์กินเนื้อ (Herbivorous and Carnivorous digestive system)

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาลักษณะฟัน ทางเดินอาหาร และการพบแบคทีเรียที่สามารถย่อยเซลลูโลส ในทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิตดังกล่าว แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง



จากข้อมูลที่กำหนดให้ นักเรียนคิดว่าภาพใดเป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคพืชและภาพใดเป็นสิ่งมีชีวิตที่บริโภคสัตว์

.....

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

.....

.....

.....

.....

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

.....

.....

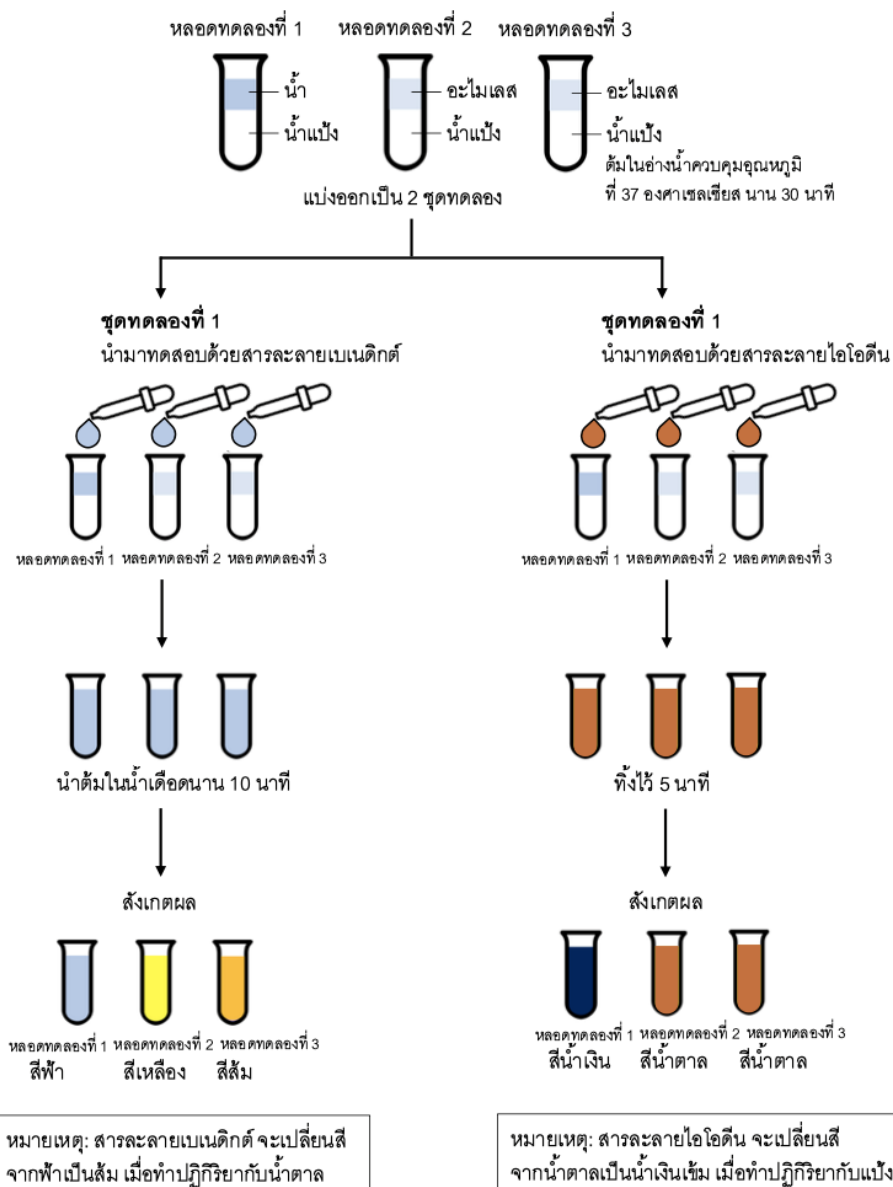
.....

.....

.....

แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (Digestion of carbohydrate)

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาการทดลองเรื่องการย่อยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (Dickey, 2003) แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง



จากผลการทดลอง "คาร์โบไฮเดรตเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"

.....

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

.....

.....

.....

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

.....

.....

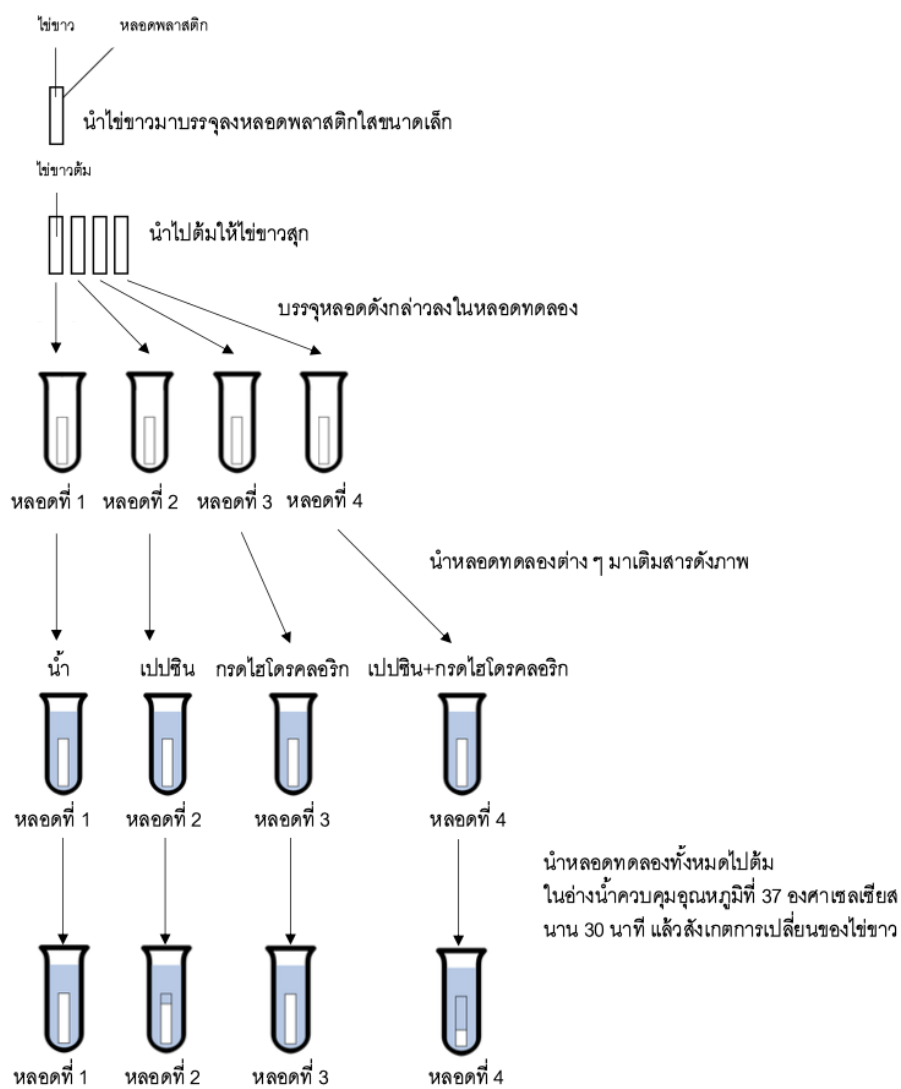
.....

.....

.....

แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทโปรตีน (Digestion of protein)

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาการทดลองเรื่องการย่อยอาหารประเภทโปรตีน (Dickey, 2003) แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง



ระดับไข่ขาวในหลอดทดลองที่ 4 มีปริมาณน้อยที่สุด รองลงมาคือหลอดทดลองที่ 2
 ส่วนหลอดทดลองที่ 1 และ 3 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

หมายเหตุ: ระดับของไข่ขาวในหลอดบ่งบอกถึงการย่อยของโปรตีนในไข่ขาว

จากผลการทดลอง "โปรตีนเกิดการย่อยขึ้นในหลอดทดลองใดบ้าง"

.....

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

.....

.....

.....

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

.....

.....

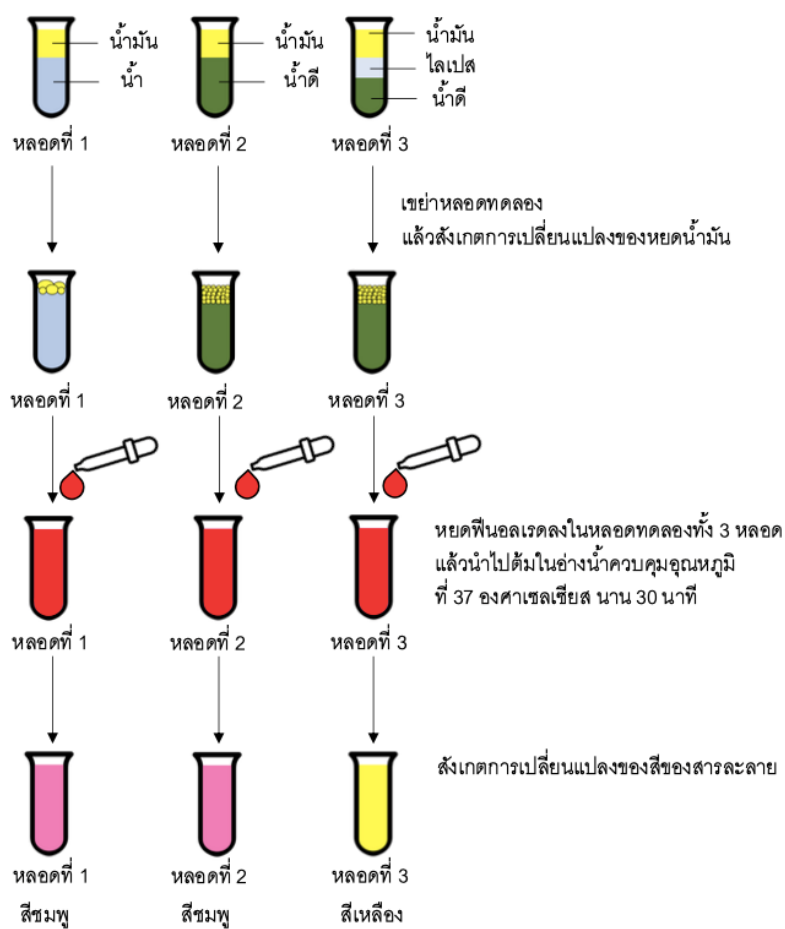
.....

.....

.....

แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
เรื่อง ระบบย่อยอาหารของมนุษย์: การย่อยอาหารประเภทไขมัน (Digestion of lipid)

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาการทดลองเรื่องการย่อยอาหารประเภทไขมัน (Dickey, 2003) แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง



หมายเหตุ: ฟีนอลเรดเป็น pH indicator โดยมีสีแดงที่ pH=7 มีสีชมพูที่ pH>7 และมีสีเหลืองที่ pH<7

จากผลการทดลอง "การย่อยไขมันเกิดขึ้นในหลอดทดลองได้บ้าง"

.....

อะไรคือหลักฐานที่ทำให้นักเรียนคิดเช่นนั้น

.....

.....

.....

ให้นักเรียนบอกเหตุผลว่าหลักฐานของนักเรียนสนับสนุนคำตอบข้อแรกอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....



ภาคผนวก ค
ตัวอย่างบทปฏิบัติการ

บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้างและกระบวนการย่อยอาหารของพารามีเซียมได้
2. ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในตรวจสอบการย่อยอาหารของพารามีเซียม
3. สร้างและปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการย่อยอาหารของพารามีเซียม
4. ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับ การย่อยอาหารของพารามีเซียม
5. มองว่ากระบวนการสืบเสาะจะช่วยให้ได้มาซึ่งคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ
6. มีส่วนร่วมในชั้นเรียน

กิจกรรมที่ 1 ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียมโดยการนำเซลล์ีสต์มาให้พารามีเซียมกินซึ่งได้ผลดังภาพ จากนั้นพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” แล้วตอบคำถามลงในช่องว่าง



คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ): พารามีเซียมใช้แอสิดโซม (Acidosome) และไลโซโซม (Lysosome) ในการย่อยอาหารภายในแวคิวโอลย่อยอาหาร

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง: มีเซลล์ีสต์อยู่ภายในแวคิวโอลย่อยอาหารของพารามีเซียม

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง: แอสิดโซมและไลโซโซมจะไปรวมตัวกับแวคิวโอลย่อยอาหารแล้วปล่อยน้ำกรดและเอนไซม์ทำให้เกิดการย่อย

จากคำอธิบายข้างต้น นักเรียนคิดว่าเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดีหรือไม่

(พิจารณาคำตอบทั้ง 3 ของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ แล้วทำเครื่องหมายถูกในกล่องสี่เหลี่ยมหน้าข้อที่นักเรียนเห็นด้วย พร้อมระบุเหตุผล)

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

☐ ถูกต้อง ☐ ถูกต้องบางส่วน ☐ ไม่ถูกต้อง

.....

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

- ☐ เหมาะสมและเพียงพอ ☐ เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอ ☐ ไม่เหมาะสม

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

- ☐ เหตุผลถูกต้องและแสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง
- ☐ เหตุผลถูกต้องแต่ไม่แสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง
- ☐ เหตุผลไม่ถูกต้อง

กิจกรรมที่ 2 สืบเสาะหาหลักฐาน

จากกิจกรรมที่ 1 นักเรียนจะเห็นได้ว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นเพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร?” ยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการศึกษาเพียงให้พารามีเซียมกินเซลล์ยีสต์เข้าไปยังไม่เพียงพอที่จะนำมาสร้างข้อกล่าวอ้างดังกล่าวได้ ส่งผลให้หลักฐานที่นำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างยังไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถให้เหตุผลที่ถูกต้องและเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้างได้ ดังนั้นนักเรียนคิดว่าเราจะมีวิธีดำเนินการสืบเสาะเพื่อตอบคำถามข้างต้นได้อย่างไร

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้ ก่อนจะออกแบบวิธีดำเนินการสืบเสาะเพื่อตอบคำถามที่สงสัย

1. แอซิโดโซม (Acidosome) เป็นถุงที่บรรจุน้ำกรด ส่วนไลโซโซม (Lysosome) เป็นถุงบรรจุเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลล์ของพารามีเซียม โครงสร้างทั้งสองนี้จะรวมตัวกับถุงอาหาร (Digestive vacuole) เพื่อช่วยในการย่อยอาหาร
2. สีย้อมคองโกเรด (Congo red) มีสีแดง มีคุณสมบัติเป็น pH indicator ที่สามารถตรวจวัดความเป็นกรด-เบสได้ โดยจะเปลี่ยนสีจากแดงเป็นน้ำเงินเมื่อความเป็นกรดสูงขึ้น ซึ่งสีดังกล่าวสามารถนำไปย้อมเซลล์ยีสต์ได้

วิธีดำเนินการสืบเสาะของนักเรียน

.....

.....

วิธีดำเนินการสืบเสาะอย่างนักวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง: ให้นักเรียนทำปฏิบัติการเรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียมโดยใช้อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการสืบเสาะดังนี้

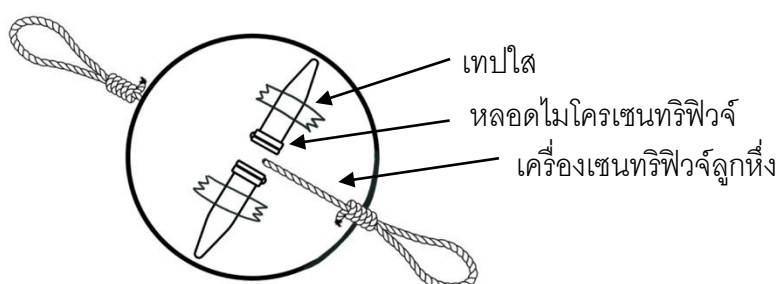
วัสดุอุปกรณ์

1. พารามีเซียม (*Paramecium* sp.)
2. ยีสต์ (*S. cerevisiae*)
3. สีย้อมคองโกเรดเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวลต่อปริมาตร
4. หลอดไมโครเซนทรีฟิวจ์
5. หลอดทดลอง
6. หลอดหยด
7. หม้อต้มน้ำหรือปิกเกอร์
8. สอทเพลตหรือตะเกียงแอลกอฮอล์
9. เทอร์โมมิเตอร์
10. เครื่องเซนทรีฟิวจ์ลูกหนึ่ง
11. กล้องจุลทรรศน์
12. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
13. สารละลายบัฟเฟอร์ฟอร์มาลีน (0.1%)
14. น้ำเปล่า

วิธีการดำเนินการสืบเสาะ

ขั้นที่ 1 ย้อมสีเซลล์ยีสต์ด้วยสีย้อมคองโกเรด

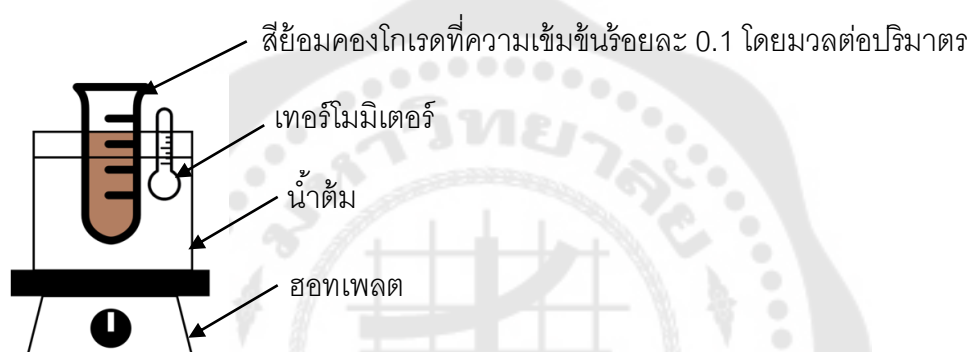
1. นำยีสต์ 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนทรีฟิวจ์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องเซนทรีฟิวจ์ลูกหนึ่ง



2. ใช้หลอดหยดดูดเอาของเหลว (Supernatant) ที่เหลือทิ้ง นักเรียนจะสังเกตเห็นตะกอนสีขาวของเซลล์ยีสต์อยู่ที่ก้นของหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์



3. นำสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 5 มิลลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองแล้วนำไปต้มผ่านน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



4. ใช้หลอดหยดดูดสีย้อม 500 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ที่มียีสต์อยู่ ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที

5. นำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์ลูกหนึ่ง จากนั้นใช้หลอดหยดดูดเอาของเหลวที่เหลือทิ้ง นักเรียนจะสังเกตเห็นตะกอนสีแดงของเซลล์ยีสต์อยู่ที่ก้นของหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์

6. หยดน้ำเปล่าลงไปในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ 500 ไมโครลิตร แล้วเขย่าให้ยีสต์และน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

7. ทำซ้ำตามข้อ 5-6 อีก 1-2 รอบ จะได้เซลล์ยีสต์ที่มีสีแดง

8. ตรวจสอบการติดสีของยีสต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400X แล้วบันทึกผลลงในช่องว่างที่กำหนดให้

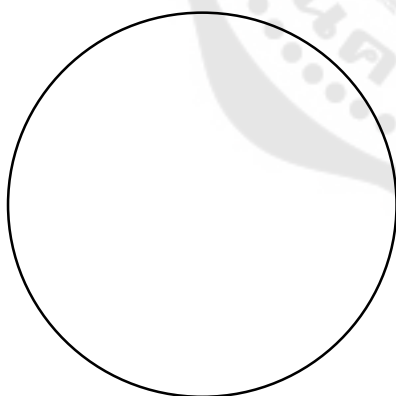
ขั้นที่ 2 ศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียม

1. นำยีสต์ที่ย้อมสีคองโกเรด 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ แล้วตามด้วยพารามีเซียม 400 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 1-2 นาที
2. หยดสารละลายบัฟเฟอร์ฟอร์มาลินความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (โดยมวลต่อปริมาตร) ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์จากข้อ 1
3. ใช้หลอดหยดดูดพารามีเซียมที่ให้อาหารแล้วหยดลงบนสไลด์ 1 หยด ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ แล้วนำไปศึกษาการย่อยอาหารภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400X เพื่อสังเกตการเปลี่ยนสีของยีสต์ที่ย้อมด้วยคองโกเรด
4. สังเกตการเปลี่ยนสีของยีสต์ที่ย้อมด้วยคองโกเรดที่ถูกบรรจุอยู่ในแวคิวโอลย่อยอาหารของพารามีเซียมที่ 5 นาที และ 10 นาที แล้วบันทึกผลลงในช่องว่างที่กำหนดให้

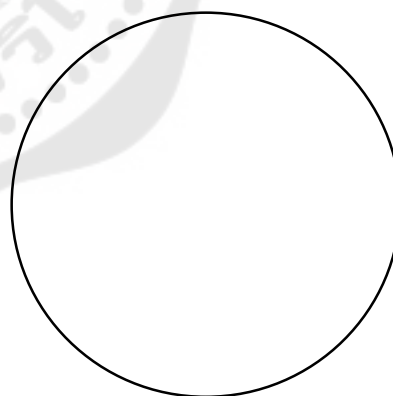
ผลการศึกษา

ขั้นที่ 1 การย้อมสีเซลล์ยีสต์ด้วยสีย้อมคองโกเรด

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของเซลล์ยีสต์ที่ถูกย้อมด้วยสีย้อมคองโกเรด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวลต่อปริมาตร โดยศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400X พร้อมวาดภาพและระบายสีลงในช่องว่างที่กำหนดให้



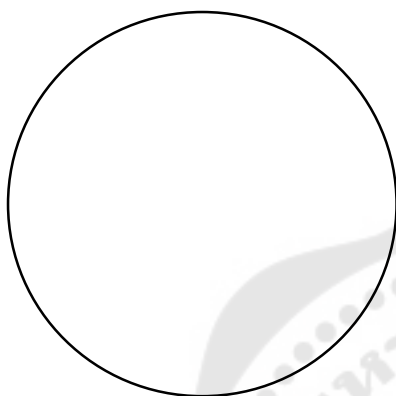
ก่อนย้อม



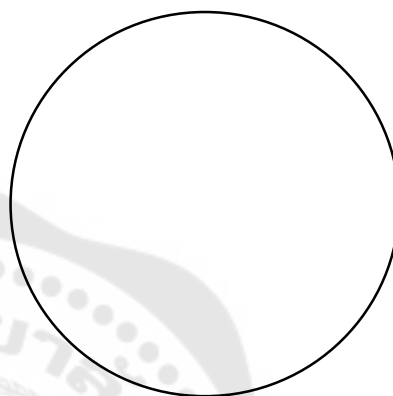
หลังย้อม

ขั้นที่ 2 ศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียม

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีของเซลล์ยีสต์ที่ถูกบรรจุภายในภายในแควิโอลย่อยอาหารของพารามีเซียม โดยศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400X พร้อมวาดภาพและระบายสีลงในช่องว่างที่กำหนดให้



5 นาที



10 นาที

สรุปผลการศึกษา

เซลล์ยีสต์ที่ถูกบรรจุอยู่ในแควิโอลย่อยอาหาร จะเปลี่ยนสีจากสี.....เป็นสี.....เนื่องจากภายในแควิโอลย่อยอาหารมี pH โดยมีสาเหตุมาจากการรวมตัวกับ.....และ..... ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่ย่อยอาหารภายในเซลล์ของพารามีเซียม

กิจกรรมที่ 3 สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากกิจกรรมที่ 1 ที่นักเรียนได้พิจารณาแล้วพบว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นนั้นยังไม่สมบูรณ์ ทั้งในองค์ประกอบของการสร้างข้อกล่าวอ้าง การให้หลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง และการให้เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง นักเรียนจึงได้ออกแบบวิธีการดำเนินการสืบเสาะใหม่ และได้ผลดังกิจกรรมที่ 2

คำชี้แจง: ให้นักเรียนใช้ผลจากการศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียมในกิจกรรมที่ 2 มาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร”

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

.....

.....

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

.....

.....

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

.....

.....

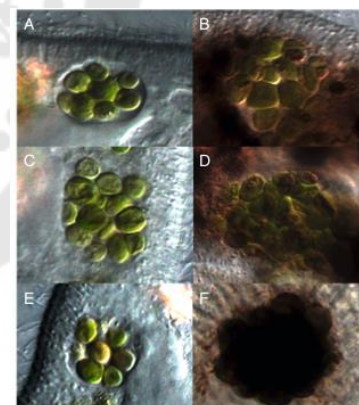
.....

กิจกรรมที่ 4 ปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

จากกิจกรรมที่ 3 นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นมาเพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร?” ในกิจกรรมที่ 4 นี้ได้เสนอข้อมูลเพิ่มเติม นั่นคือการศึกษาค้นคว้าของ Kodama & Fujishima (2005) ที่ได้นำสาหร่ายสีเขียว (*Chlorella* sp.) มาให้พารามีเซียมกิน จากนั้นนำไปย้อมสี Gomori (เป็นสีย้อมที่สามารถตรวจจับการทำงานของเอนไซม์ Acid phosphatase ซึ่งเป็นเอนไซม์ใน Lysosome ได้ โดยบริเวณใดมีเอนไซม์ชนิดนี้ จะย้อมติดสีดำ) ผลการศึกษพบว่า เมื่อนำเอาพารามีเซียมมาศึกษาได้กล้องจุลทรรศน์จะพบว่ามีกลุ่มฝุ่นสีดำค่อย ๆ เคลื่อนที่เข้าไปหาแวคิวโอลย่อยอาหารจนกระทั่งทำให้แวคิวโอลย่อยอาหารเป็นสีดำทั้งก้อนดังภาพ

ไม่ย้อมสี

ย้อมสี Gomori



ที่มาภาพ: Kodama & Fujishima (2005)

คำชี้แจง: ให้นักเรียนศึกษาการทดลองของ Kodama & Fujishima (2005) แล้วนำมาพิจารณา
คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นว่ายังคงสมบูรณ์หรือต้องแก้ไขเพิ่มเติมในทุก ๆ
องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

- ☐ คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของฉันถูกต้องและสมบูรณ์ในทุก ๆ องค์ประกอบ
- ☐ คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของฉันยังไม่ถูกต้องและไม่สมบูรณ์ในองค์ประกอบ
 - ☐ ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)
 - ☐ หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง
 - ☐ เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่แก้ไขแล้ว

ข้อกล่าวอ้าง (คำตอบ)

.....

.....

หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

.....

.....

เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง

.....

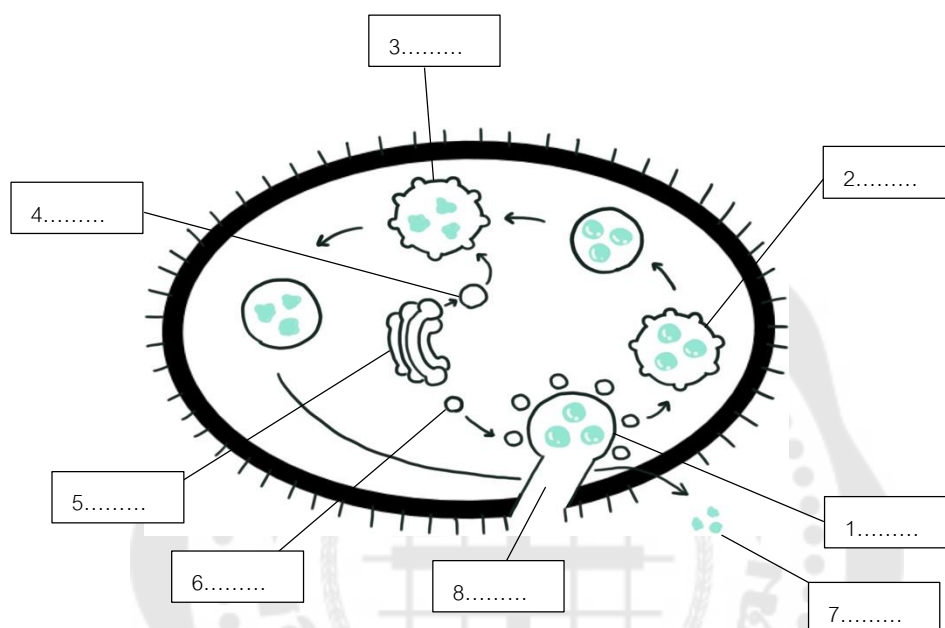
.....

.....

.....

กิจกรรมที่ 5 สรุปความรู้

คำชี้แจง: ให้นักเรียนนำความรู้จากการทำกิจกรรมที่ 1-4 มาตอบคำถามลงในช่องว่างให้ถูกต้อง โดยครูจะกำหนดข้อความ A-H แล้วให้นักเรียนนำมาเติมหน้าข้อที่นักเรียนเห็นว่าสอดคล้องกัน



- A. ไลโซโซม (Lysosome)
- B. ช่องปาก (Oral groove)
- C. กอลจิบอดี้ (Golgi body)
- D. แอซิโดโซม (Acidosome)
- E. สร้างแวคิวโอลย่อยอาหาร (Digestive vacuole formation)
- F. อาหารที่ถูกย่อยแล้วจะถูกขับออกมาทางไซโตพรอคท์ (Cytoproct)
- G. แวคิวโอลย่อยอาหาร (Digestive vacuole) กำลังรวมตัวกันกับไลโซโซม (Lysosome)
โดยไลโซโซมจะปล่อยเอนไซม์ เช่น Acid phosphatase ออกมาเพื่อย่อยอาหาร
- H. แวคิวโอลย่อยอาหาร (Digestive vacuole) กำลังรวมตัวกันกับแอซิโดโซม (Acidosome)
ซึ่งแอซิโดโซมจะปล่อยน้ำกรดออกมาเพื่อช่วยให้ย่อยอาหารได้ง่ายขึ้น



แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561

รหัสวิชา ว30256 รายวิชา ชีววิทยา 2

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม เวลา 2 คาบ

หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

1. ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม

สาระชีววิทยา

เข้าใจการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต การหายใจและแลกเปลี่ยนแก๊ส การลำเลียงสารและการหมุนเวียนเลือด ภูมิคุ้มกันของร่างกาย การขับถ่าย การรับรู้และการตอบสนอง การเคลื่อนที่ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต สอริโนกับการรักษาคุณภาพ และพฤติกรรมของสัตว์ รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

- 1) อธิบาย อภิปราย และเปรียบเทียบโครงสร้างและกระบวนการย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตที่มีการย่อยอาหารภายนอกเซลล์ (Extracellular digestion) และภายในเซลล์ (Intracellular digestion) เช่น แบคทีเรีย รา และพารามีเซียม
- 2) สร้าง ประเมิน และปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกระบวนการสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific investigation) เช่น การทำปฏิบัติการ (Practical work)

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

นักเรียนสามารถ

- 1) อธิบายโครงสร้างและกระบวนการย่อยอาหารของพารามีเซียมได้
- 2) ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสำรวจตรวจสอบการย่อยอาหารของพารามีเซียมจากการทำปฏิบัติการ
- 3) สร้างและปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารของพารามีเซียม
- 4) ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับ การย่อยอาหารของพารามีเซียม
- 5) มองว่ากระบวนการสืบเสาะจะช่วยให้ได้มาซึ่งคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ
- 6) มีส่วนร่วมในชั้นเรียน

3. สำคัญ

การย่อยอาหารของพารามีเซียม คือ กระบวนการที่พารามีเซียมนำอาหารเข้าไปภายในเซลล์ในรูปของแควิวโอล แล้วปล่อยเอนไซม์จากไลโซโซมมาย่อยอาหารภายในแควิวโอลดังกล่าว ซึ่งจัดเป็นการย่อยอาหารภายในเซลล์ (Intracellular digestion) ให้ได้สารอาหารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ ส่วนกากอาหารที่เหลือจะถูกขับออกทางไซโตพรอคท์

4. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

1. ความสามารถในการคิด
2. ความสามารถในการสื่อสาร

5. สาระการเรียนรู้

พารามีเซียมเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีการย่อยอาหารแบบภายในเซลล์ (Intracellular digestion) พารามีเซียมนำอาหารเข้าสู่เซลล์โดยใช้ Cilia ที่อยู่รอบเซลล์ โบกพัดอาหาร เช่น แบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเข้าไปในช่องปาก (Oral groove หรือ Vestibulum) โดยอาหารเหล่านี้จะเคลื่อนที่เข้าไปในไซโทฟาริงซ์ (Cytopharynx) ที่มีลักษณะเป็นท่อ โดยที่ปลายสุดของท่อจะเกิดกระบวนการคอดเข้าของเยื่อหุ้มเซลล์โอบล้อมอาหารหรือที่เรียกว่ากระบวนการเอนโดไซโทซิส (Endocytosis) กลายเป็นแควิวโอย่อยอาหาร (Digestive vacuole หรือ Phagosome) ขณะเดียวกันแอซิโดโซม (Acidosome) หรือถุงที่บรรจุน้ำกรด จะเข้ามารวมกับแควิวโอย่อยอาหารดังกล่าว ทำให้ระดับ pH ภายในแควิวโอย่อยอาหารลดลงเพื่อทำลายโครงสร้างเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ถูกเอนโดไซโทซิสเข้ามา รวมถึงช่วยกระตุ้นเอนไซม์จากไลโซโซม (Lysosomal enzyme) ที่จะเข้ามารวมตัวกับแควิวโอย่อยอาหารในขั้นตอนต่อไป หลังจากแควิวโอย่อยอาหารได้รวมตัวกับแอซิโดโซมแล้ว จะทำการรวมตัวกับไลโซโซมที่อยู่ในบรจุเอนไซม์ เช่น โปรตีเอส (Protease) ดีเอ็นเอส (DNase) อาร์เอ็นเอส (RNase) หรือแอซิดฟอสฟาเตส (Acid phosphatase: AcPase) ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายสิ่งมีชีวิตที่ถูกเอนโดไซโทซิสเข้ามา และเมื่อกระบวนการย่อยเสร็จสิ้นสารอาหารที่ได้จากการย่อยนี้จะแยกออกมาจากแควิวโอย่อยอาหารในลักษณะของเวสิเคิล (Vesicle) ขนาดเล็ก ส่วนของเสียที่เหลือในแควิวโอย่อยอาหารจะถูกลำเลียงออกนอกเซลล์ทางไซโตพรอคท์ (Cytoproct) (Allen & Fok, 2000)

ในการทำปฏิบัติการเกี่ยวกับการย่อยอาหารของพารามีเซียมมักจะใช้วิธีการของ Fok & Allen (1982) และ Kodama & Fujishima (2005) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการรวมตัวและระยะเวลาที่ใช้ในการรวมตัวของแควิวโอย่อยอาหารเข้ากับแอซิโดโซม (Acidosome) และไลโซ

ไลโซโซม (Lysosome) ในการศึกษาเกี่ยวกับการรวมตัวของแควคิวโอลย่อยอาหารเข้ากับแอซิดโอโซม *P. multimicronucleatum* *P. bursaria* และ *P. caudatum* ถูกนำมาติดฉลากกับยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ที่ถูกย้อมสีด้วยสีย้อมที่มีคุณสมบัติเป็น pH indicator อาทิ Congo red ซึ่งผลการศึกษพบว่ายีสต์ที่ถูกย้อมด้วย Congo red จะเปลี่ยนจากสีแดง (pH=5) เป็นสีม่วงหรือน้ำเงิน (pH=2.4-3.0) การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าค่า pH ภายในแควคิวโอลย่อยอาหารมีค่าลดลงในช่วง 2-3 นาที หลังจากทำการติดฉลาก หลังจากนั้น 1-2 นาที ค่า pH ภายในแควคิวโอลย่อยอาหารจะมีค่าประมาณ 6.4-7.0 จึงสรุปได้ว่าแควคิวโอลย่อยอาหารได้รวมตัวเข้ากับแอซิดโอโซมในขณะที่แควคิวโอลย่อยอาหารอยู่ในระยะที่ 2 ทำให้ค่า pH ต่ำลง ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับการรวมตัวและระยะเวลาที่ใช้ในการรวมตัวของแควคิวโอลย่อยอาหารกับไลโซโซม *P. multimicronucleatum* และ *P. bursaria* ได้ถูกนำมาใช้เป็นโมเดล โดยนำพารามีเซียมดังกล่าวมาทำการติดฉลากกับสาหร่ายสีเขียว (*Chlorella* sp.) จากนั้นนำไปย้อมสี Gomori (Gomori stain acid phosphatase method) เพื่อตรวจจับการทำงานของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเตส (Acid phosphatase) ในไลโซโซม ผลการศึกษพบว่า ในเวลา 3-4 นาทีหลังจากติดฉลากและย้อมสี จะตรวจพบการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวในแควคิวโอลย่อยอาหาร โดยจะย้อมแควคิวโอลย่อยอาหารให้มีสีดำ จึงสรุปได้ว่าแควคิวโอลย่อยอาหารได้รวมตัวเข้ากับไลโซโซมในขณะที่แควคิวโอลย่อยอาหารอยู่ในระยะที่ 3

6. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นสร้างความสนใจผ่านการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (10 นาที)

1. นักเรียนแบ่งกลุ่มเป็น 10 กลุ่ม (กลุ่มละ 4-5 คน) โดยแต่ละกลุ่มจะต้องลดความสามารถของนักเรียน (พิจารณาจากผลการสอบก่อนเรียน) แล้วนั่งหันหน้าเข้าหากันเป็นกลุ่ม
2. ครูใช้ภาพพารามีเซียมที่นำยีสต์เข้าไปในแควคิวโอลย่อยอาหารพร้อมคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันพิจารณา แล้วทำการประเมินว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ดังกล่าวถูกต้องสมบูรณ์ในทุกองค์ประกอบ (ข้อกล่าวอ้าง, หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง, และเหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง) หรือไม่ (แนวคำตอบ: คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ยังไม่ถูกต้องและไม่สมบูรณ์ เนื่องจาก 1) หลักฐานที่ให้มาไม่สามารถนำไปสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ และ 2) เหตุผลที่ไม่สามารถเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง)
3. ครูชี้แจงว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นเพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” ยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการศึกษาข้างต้นยังไม่เพียงพอที่จะนำมา

สร้างข้อกล่าวอ้างดังกล่าวได้ ส่งผลให้หลักฐานที่นำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างยังไม่เหมาะสมและเพียงพอ ทำให้ไม่สามารถให้เหตุผลที่เชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้างได้

4. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายทั้งชั้นเรียนเพื่อหาวิธีดำเนินการสำรวจตรวจสอบให้ได้มาซึ่งคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” โดยให้นักเรียนศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องก่อนออกแบบวิธีดำเนินการสืบเสาะเพื่อตอบคำถามดังกล่าว พร้อมเขียนคำตอบลงในบทปฏิบัติการ โดยแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่กำหนดให้ประกอบด้วย 1) แอซิโดโซมเป็นถุงที่บรรจุน้ำกรด ส่วนไลโซโซมเป็นถุงบรรจุเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลล์ของพารามีเซียม โครงสร้างทั้งสองนี้จะรวมตัวกับถุงอาหารเพื่อช่วยในการย่อยอาหารและ 2) สีย้อมคองโกเรดมีสีแดง มีคุณสมบัติเป็น pH indicator ที่สามารถตรวจวัดความเป็นกรด-เบสได้ โดยจะเปลี่ยนสีจากแดงเป็นน้ำเงินเมื่อความเป็นกรดสูงขึ้น ซึ่งสีดังกล่าวสามารถนำไปย้อมเซลล์ยีสต์ได้ (แนวคำตอบ: นำสีย้อมคองโกเรด ไปย้อมยีสต์ซึ่งเป็นอาหารของพารามีเซียม จากนั้นนำไปให้พารามีเซียมกิน แล้วสังเกตการเปลี่ยนสีของยีสต์ที่ย้อมสี pH indicator ที่อยู่ในแควิวโอล่อย่อยอาหารของพารามีเซียมว่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร)

ขั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ (40 นาที)

ขั้นที่ 1 ย้อมสีเซลล์ยีสต์ด้วยสีย้อมคองโกเรด

1. นำยีสต์ 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์ลูกหึ่ง ใช้หลอดหยดดูดเอาของเหลว (Supernatant) ที่เหลือทิ้ง นักเรียนจะสังเกตเห็นตะกอนสีขาวของเซลล์ยีสต์อยู่ที่ก้นของหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์
2. นำสีย้อมคองโกเรดที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองแล้วนำไปต้มผ่านน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
3. ใช้หลอดหยดดูดสีย้อม 500 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ที่มียีสต์อยู่ ที่ไว้ประมาณ 15 นาที
4. นำไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่องเซนทริฟิวจ์ลูกหึ่ง จากนั้นใช้หลอดหยดดูดเอาของเหลวที่เหลือทิ้ง นักเรียนจะสังเกตเห็นตะกอนสีแดงของเซลล์ยีสต์อยู่ที่ก้นของหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์
5. หยดน้ำเปล่าลงไป ในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ 500 ไมโครลิตร แล้วเขย่าให้ยีสต์และน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
6. ทำซ้ำตามข้อ 5-6 อีก 1-2 รอบ จะได้เซลล์ยีสต์ที่มีสีแดง
7. ตรวจสอบการติดสีของยีสต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400X แล้วบันทึกผลลงในช่องว่างที่กำหนดให้

ขั้นที่ 2 ศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียม

1. นำยีสต์ที่ย้อมสีคองโกเรด 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์ แล้วตามด้วยพารามีเซียม 400 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 1-2 นาที
2. หยดสารละลายบัฟเฟอร์ฟอร์มาลินความเข้มข้นร้อยละ 0.1 (โดยมวลต่อปริมาตร) ลงในหลอดไมโครเซนทริฟิวจ์จากข้อ 1
3. ใช้หลอดหยดดูดพารามีเซียมที่ให้อาหารแล้วหยดลงบนสไลด์ 1 หยด ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์แล้วนำไปศึกษาการย่อยอาหารภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400X เพื่อสังเกตการเปลี่ยนสีของยีสต์ที่ย้อมด้วยคองโกเรด
4. สังเกตการเปลี่ยนสีของยีสต์ที่ย้อมด้วยคองโกเรดที่ถูกบรรจุอยู่ในแควิโอลย่อยอาหารของพารามีเซียมที่ 5 นาที และ 10 นาที แล้วบันทึกผลลงในช่องว่างที่กำหนดให้

ขั้นเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (20 นาที)

1. นักเรียนแต่ละคนใช้ผลจากการศึกษาการย่อยอาหารของพารามีเซียมในขั้นสำรวจตรวจสอบเชิงวิทยาศาสตร์ มาสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของตนเองเพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร”
2. นักเรียนแต่ละคนนำเสนอคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้สมาชิกในกลุ่มฟัง ร่วมกันวิพากษ์อย่างเป็นกัลยาณมิตร และร่วมกันสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของกลุ่มขึ้นมาแล้วบันทึกลงในบทปฏิบัติการ
3. ครูแสดงตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบให้นักเรียนดู และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แก้ไขตามให้ถูกต้อง (แนวคำตอบ: ข้อกล่าวอ้าง คือ พารามีเซียมใช้แอสิดโซม และไลโซโซมในการย่อยอาหารภายในแควิโอลย่อยอาหาร, หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง คือ ยีสต์ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมคองโกเรด เปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน, และ เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง คือ ยีสต์สีแดงที่ถูกย้อมด้วยสีย้อมคองโกเรด ที่อยู่ในแควิโอลย่อยอาหาร จะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งบ่งบอกว่า pH ภายในแควิโอลย่อยอาหารนั้นต่ำลง ทั้งนี้เป็นเพราะแควิโอลย่อยอาหารได้รวมตัวเข้ากับแอสิดโซม และไลโซโซม)

ชั้นขยายความรู้เพื่อปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (15 นาที)

1. ครูชี้แจงว่าในชั้นเขียนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ขึ้นมาเพื่อตอบคำถามว่า “พารามีเซียมสามารถย่อยอาหารได้อย่างไร” เสร็จสิ้นแล้ว ในชั้นนี้ ครูจะเสนอข้อมูลเพิ่มเติมซึ่งเป็นผลจากงานวิจัยที่น่าเชื่อถือ ที่จะสามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงและพัฒนาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้น

2. นักเรียนศึกษาผลการทดลองของ Kodama & Fujishima (2005) ที่ได้นำพารามีเซียมมาติดฉลากกับสสารยีสเขียว (*Chlorella* sp.) จากนั้นนำไปย้อมสี Gomori (Gomori stain acid phosphatase method) เพื่อตรวจจับการทำงานของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเตส (Acid phosphatase) ในไลโซโซม ผลการศึกษาพบว่า หลังจากติดฉลากและย้อมสี จะตรวจพบการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวในแวคิวโอลย่อยอาหาร โดยจะย้อมแวคิวโอลย่อยอาหารให้มีสีดำ จึงสรุปได้ว่าแวคิวโอลย่อยอาหารได้รวมตัวเข้ากับไลโซโซมนั่นเอง ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวที่แสดงในบทปฏิบัติการ

3. หลังจากนักเรียนศึกษาการทดลองของ Kodama & Fujishima (2005) แล้ว ให้นำมาพิจารณาคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นว่ายังคงสมบูรณ์หรือต้องแก้ไขเพิ่มเติมในองค์ประกอบใดบ้างของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (แนวคำตอบ: คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ยังไม่สมบูรณ์เนื่องจาก หลักฐานที่ให้มาซึ่งนั่นก็คือการเปลี่ยนสีของยีสต์ยังไม่เพียงพอ เนื่องจากหลักฐานดังกล่าวสนับสนุนข้อกล่าวอ้างในส่วนของการรวมตัวของแวคิวโอลย่อยอาหารกับแอซิดโซมเท่านั้น)

4. นักเรียนแต่ละกลุ่มปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของตนเองให้ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น จากนั้นครูสุ่มตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน 2-3 กลุ่ม มาให้นักเรียนกลุ่มอื่น ๆ ร่วมกันวิพากษ์และอภิปรายอย่างเป็นกัลยาณมิตร เพื่อให้ได้คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องสมบูรณ์ (แนวคำตอบ: ข้อกล่าวอ้าง คือ พารามีเซียมใช้แอซิดโซม และไลโซโซมในการย่อยอาหารภายในแวคิวโอลย่อยอาหาร, หลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง คือ ยีสต์ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมคองโกเรด เปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน และแวคิวโอลย่อยอาหารย้อมติดสีดำของสี Gomori, และ เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง คือ ยีสต์สีแดงที่ถูกย้อมด้วยสีย้อมคองโกเรด ที่อยู่ภายในแวคิวโอลย่อยอาหาร จะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งบ่งบอกว่า pH ภายในแวคิวโอลย่อยอาหารนั้นต่ำลง ทั้งนี้เป็นเพราะแวคิวโอลย่อยอาหารได้รวมตัวเข้ากับแอซิดโซม ขณะที่และแวคิวโอลย่อยอาหารย้อมติดสีดำของสี Gomori เนื่องจากภายในแวคิวโอลย่อย

อาหารมีเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเตสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในไลโซโซม นั้นหมายถึงแควคิวโอลย่อยอาหารได้รวมตัวกันกับไลโซโซมด้วยนั่นเอง)

ขั้นประเมินผลการเรียนรู้ (15 นาที)

1. ครูทำการประเมินนักเรียนด้านความรู้ผ่านการทำกิจกรรมสรุปความรู้ท้ายบทปฏิบัติการ โดยนักเรียนจะต้องนำความรู้จากการจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 1-4 มาตอบคำถามลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

2. ครูทำการประเมินความสามารถในการประเมินและสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน จากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในชั้นสร้างความสนใจผ่านการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และชั้นขยายความรู้เพื่อปรับปรุงคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามลำดับ

3. นักเรียนทำการประเมินการเรียนรู้ของตนเองผ่านการเขียนอนุทินสะท้อนคิดหลังจากการจัดการเรียนรู้ (แนวคำถาม: 1) นักเรียนคิดว่าตนเองมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในระดับดี พอใช้ หรือปรับปรุง พร้อมให้เหตุผลประกอบ 2) นักเรียนคิดว่ากิจกรรมใดบ้างในบทปฏิบัติการที่ช่วยส่งเสริมให้ตนเองมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น และ 3) ปัญหาหรืออุปสรรคที่ทำให้นักเรียนยังไม่สามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีเท่าที่ควร)

7. สื่ออุปกรณ์และแหล่งเรียนรู้

1. ห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการ
2. คอมพิวเตอร์
3. โปรเจคเตอร์และจอภาพ
4. โปรแกรมนำเสนอ Microsoft office Power Point
5. หนังสือเรียนชีววิทยา
6. บทปฏิบัติการ เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม
7. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
 - 1) พารามีเซียม (*Paramecium* sp.)
 - 2) ยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*)
 - 3) สีย้อมคongoเรด 0.1%
 - 4) หลอดไมโครเซนทรีฟิวจ์
 - 5) หลอดทดลอง

- 6) หลอดหยด
- 7) หม้อต้มน้ำหรือปิกเกอร์
- 8) ฮอทเพลตหรือตะเกียงแอลกอฮอล์
- 9) เทอร์โมมิเตอร์
- 10) เครื่องเซนทริฟิวก์ลูกเหวี่ยง
- 11) กล้องจุลทรรศน์
- 12) สไลด์และกระจกปิดสไลด์
- 13) สารละลายบัฟเฟอร์ฟอร์มาลีน (0.1%)
- 14) น้ำเปล่า



8. การวัดและการประเมินผล

แบบประเมินด้านความรู้

เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม

วิชา ชีววิทยา 2

หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4/.....

วันที่.....

คำชี้แจง ผู้สอนตรวจกิจกรรมสรุปความรู้ท้ายบทปฏิบัติการและทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่กำหนด

ชื่อ/ กลุ่ม	วัตถุประสงค์ด้านความรู้					รวม
	บอกโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารของพารามีเซียมได้ (A. - D.)	เข้าใจกระบวนการนำอาหารเข้าสู่เซลล์ของพารามีเซียม (E.)	เข้าใจกระบวนการรวมตัวของแวคิวโอลย่อยอาหารกับแอซิโตโซม (G.)	เข้าใจกระบวนการรวมตัวของแวคิวโอลย่อยอาหารกับไลโซโซม (H.)	เข้าใจกลไกการขับของเสียของพารามีเซียม (F.)	

เกณฑ์การประเมิน

ระดับดี หมายถึง นักเรียนที่บรรลุวัตถุประสงค์ด้านความรู้ 4-5 ข้อ

ระดับพอใช้ หมายถึง นักเรียนที่บรรลุวัตถุประสงค์ด้านความรู้ 2-3 ข้อ

ระดับปรับปรุง หมายถึง นักเรียนที่บรรลุวัตถุประสงค์ด้านความรู้ 1 ข้อ หรือไม่บรรลุวัตถุประสงค์

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินทักษะด้านการทดลองทางวิทยาศาสตร์

เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม

วิชา ชีววิทยา 2

หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4/.....

วันที่.....

คำชี้แจง ผู้สอนสังเกตพฤติกรรมนักเรียนและทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่กำหนด

ชื่อ/ กลุ่มที่	ทักษะด้านการทดลองทางวิทยาศาสตร์			ระดับทักษะ ด้านการ ทดลองทาง วิทยาศาสตร์
	ดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบตาม ขั้นตอนที่วางแผนไว้	ใช้วัสดุอุปกรณ์ ทางวิทยาศาสตร์ ได้ถูกต้อง ตามหลักการ	ได้ผลการทดลอง สอดคล้องกับ ทฤษฎี	

เกณฑ์การประเมิน

ระดับดี หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 3 ข้อ

ระดับพอใช้ หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 2 ข้อ

ระดับปรับปรุง หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 1 ข้อ หรือไม่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้อย่างกล่าว

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

เรื่อง การย่อยอาหารของพารามีเซียม

วิชา ชีววิทยา 2

หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4/.....

วันที่.....

คำชี้แจง ผู้สอนตรวจคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างและปรับปรุงขึ้นในบทปฏิบัติการ และกรอกคะแนนลงในช่องที่กำหนด

ชื่อ/ กลุ่มที่	ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์			ระดับ ความสามารถ ในการสร้าง คำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์
	ข้อกล่าวอ้าง	หลักฐานที่ สนับสนุนข้อกล่าว อ้าง	เหตุผลเชื่อมโยง ระหว่าง หลักฐานและข้อ กล่าวอ้าง	

เกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบของ คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
ข้อกล่าวอ้าง (Claim) ข้อยืนยันหรือคำตอบ ของคำถาม	ไม่สร้างข้อกล่าว อ้างหรือสร้างข้อ กล่าวอ้างไม่ ถูกต้อง	สร้างข้อกล่าวอ้าง ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ เช่น พารามีเซียมใช้แอส ซิโดโซม หรือไลโซโซม ในการย่อยอาหาร ภายในแวคิวโอล ย่อยอาหาร (ตอบ เพียง 1 ประเด็น)	สร้างข้อกล่าวอ้างถูกต้องและ สมบูรณ์ เช่น พารามีเซียมใช้ แอสซิโดโซม และไลโซโซมในการ ย่อยอาหารภายใน แวคิวโอลย่อยอาหาร
หลักฐาน (Evidence) ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ซึ่งต้องเหมาะสมและ	ไม่แสดงหลักฐาน สนับสนุนข้อ กล่าวอ้างหรือใช้ หลักฐานไม่	ใช้หลักฐานในการ สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ได้เหมาะสมแต่ไม่ เพียงพอ เช่น 1) ยีสต์	ใช้หลักฐานได้อย่างเหมาะสม และเพียงพอต่อการสนับสนุน ข้อกล่าวอ้าง เช่น 1) ยีสต์ที่ย้อม สีด้วยสีย้อมคองโกเรด เปลี่ยนสี

องค์ประกอบของ คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน		
	ปรับปรุง (0)	พอใช้ (1)	ดี (2)
เพียงพอที่จะสนับสนุน ข้อกล่าวอ้าง	เหมาะสมต่อการ สนับสนุนข้อ กล่าวอ้าง	ที่ย้อมสีด้วยสีย้อม คองโกเรด เปลี่ยนสี จากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน หรือ 2) แวคิวโอลย่อย อาหารย้อมติดสีด้า ของสี Gomori (ตอบ เพียง 1 ประเด็น)	จากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน และ 2) แวคิวโอลย่อยอาหารย้อมติด สีด้าของสี Gomori
การให้เหตุผล (Reasoning)	ไม่มีการให้ เหตุผลหรือ	มีการให้เหตุผลแสดง การเชื่อมโยงระหว่าง	ให้เหตุผลถูกต้องและสมบูรณ์ แสดงการเชื่อมโยงระหว่าง
ข้อความแสดงความ เชื่อมโยงระหว่างข้อ กล่าวอ้างกับหลักฐาน	เหตุผลที่ใช้ไม่ แสดงความ เชื่อมโยงระหว่าง หลักฐานและข้อ กล่าวอ้าง	หลักฐานและข้อกล่าว อ้าง อาจมีการอ้างอิง หลักการทาง วิทยาศาสตร์แต่ไม่ เพียงพอ เช่น ยีสต์สี แดงที่ถูกย้อมด้วยสี ย้อมคองโกเรด ที่อยู่ ภายในแวคิวโอลย่อย อาหาร จะเปลี่ยนสีจากสีแดง เป็นสีน้ำเงิน ซึ่งบ่ง บอกว่า pH ภายใน แวคิวโอลย่อยอาหาร นั้นต่ำลง ขณะที่ และแวคิวโอลย่อย อาหารย้อมติดสีด้า ของสี Gomori เนื่องจากภายในแวคิว โอลย่อยอาหารมี เอนไซม์แอซิดฟอสฟา เตสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ พบในไลโซโซม	หลักฐานและข้อกล่าวอ้างโดยมี การอ้างอิงหลักการทาง วิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมและ เพียงพอ เช่น ยีสต์สีแดงที่ถูก ย้อมด้วยสีย้อมคองโกเรด ที่อยู่ ภายในแวคิวโอลย่อยอาหาร จะเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีน้ำ เงิน ซึ่งบ่งบอกว่า pH ภายในแว คิวโอลย่อยอาหารนั้นต่ำลง ทั้งนี้เป็นเพราะแวคิวโอลย่อย อาหารได้รวมตัวเข้ากับแอซิด โซม ขณะที่และแวคิวโอลย่อย อาหารย้อมติดสีด้าของสี Gomori เนื่องจากภายในแวคิว โอลย่อยอาหารมีเอนไซม์แอซิด ฟอสฟาเตสซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบ ในไลโซโซม นั้นหมายถึงแวคิว โอลย่อยอาหารได้รวมตัวกัน กับไลโซโซมด้วยนั่นเอง

เกณฑ์การประเมิน

ระดับดี หมายถึง นักเรียนได้คะแนนจากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ มากกว่า 4 คะแนน

ระดับพอใช้ หมายถึง นักเรียนได้คะแนนจากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ระหว่าง 3-4 คะแนน

ระดับปรับปรุง หมายถึง นักเรียนได้คะแนนจากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ น้อยกว่า 3 คะแนน

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินความสามารถในการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

เรื่อง การสลายอาหารของแบคทีเรีย

วิชา ชีววิทยา 2

หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4/.....

วันที่.....

คำชี้แจง ผู้สอนสังเกตพฤติกรรมนักเรียนและทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่กำหนด

ชื่อ/ กลุ่มที่	ความสามารถในการประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์						ระดับ ความสามารถ ในการ ประเมิน คำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์
	วิพากษ์จุดแข็งและจุดอ่อน ของคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ในแต่ละ องค์ประกอบ			ให้เหตุผลประกอบได้ว่าจุด แข็งและจุดอ่อนของ คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในแต่ละองค์ประกอบ			
	ข้อกล่าวอ้าง	หลักฐาน	ให้เหตุผล	ข้อกล่าวอ้าง	หลักฐาน	ให้เหตุผล	

เกณฑ์การประเมิน

ระดับดี หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 5-6 ข้อ

ระดับพอใช้ หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 3-4 ข้อ

ระดับปรับปรุง หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 1-2 ข้อ หรือไม่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ดังกล่าว

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบสังเกตการมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมในชั้นเรียน

เรื่อง การสลายอาหารของแบคทีเรีย

วิชา ชีววิทยา 2

หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ระบบย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิต

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4/.....

วันที่.....

คำชี้แจง ผู้สอนสังเกตพฤติกรรมนักเรียนและทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่กำหนด

ชื่อ/ กลุ่มที่	การมีส่วนร่วมในชั้นเรียน					ระดับการมีส่วนร่วม ในชั้นเรียน
	สนใจทำ กิจกรรม	กล้าถาม คำถามเมื่อ เกิดความ สงสัย	แสดงความ คิดเห็นเมื่อ มีการ อภิปราย กลุ่มหรือ ชั้นเรียน	รับฟังความ คิดเห็นของ เพื่อน	งานเสร็จ ตามเวลาที่ กำหนด	

เกณฑ์การประเมิน

ระดับดี หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 4-5 ข้อ

ระดับพอใช้ หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 2-3 ข้อ

ระดับปรับปรุง หมายถึง นักเรียนที่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ 1 ข้อ หรือไม่แสดงพฤติกรรมบ่งชี้ดังกล่าว

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ฉลองวุฒิ จันทร์หอม
วัน เดือน ปี เกิด	10 กรกฎาคม 2537
สถานที่เกิด	จังหวัดสุรินทร์
วุฒิการศึกษา	ศษ.บ. (การสอนวิทยาศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ 2 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	259 หมู่ 1 บ้านกระโพ ตำบลกระโพ อำเภอท่าตูม จังหวัดสุรินทร์
ผลงานตีพิมพ์	1) ฉลองวุฒิ จันทร์หอม และ จีระวรรณ เกษสิงห์. (2560). การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาแบบ 6E Learning. นิตยสารสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 46(212), 32-36. 2) ฉลองวุฒิ จันทร์หอม, จุฬารภรณ์ ทองสินธุ์, และ จีระวรรณ เกษสิงห์. (2560). ฉันจะพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมแห่งศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาได้อย่างไร. ใน เรื่องเล่างานวิจัยในชั้นเรียน (น. 25-37). กรุงเทพฯ: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 3) ฉลองวุฒิ จันทร์หอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2563). การสำรวจความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. รายงานการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 21. 2563(21). 644-654.
รางวัลที่ได้รับ	ชนะเลิศการประกวดนำเสนองานวิจัยในชั้นเรียน เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ของนิสิตนักศึกษาครู ประจำปี 2561