

5000

การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจ
ระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
โรงเรียนดาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

นางรวีวรรณ ทองศรีแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต
แขนงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

พ.ศ. 2550

**Construction of a Biology Electronic Book on the Topic of Cellular Respiration
for Mathayom Suksa V Students at Dara Academy in Chiang Mai Province**

Mrs. Raviwan Thongsrikeaw

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Education in Curriculum and Instruction

School of Educational Studies

Sukhothai Thammathirat Open University

2007

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจ
ระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวีทยาลัย
จังหวัดเชียงใหม่

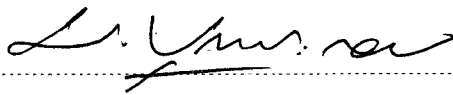
ชื่อและนามสกุล นางรวีวรรณ ทองศรีแก้ว

แขนงวิชา หลักสูตรและการสอน

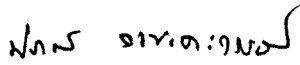
สาขาวิชา ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

อาจารย์ที่ปรึกษา 1. รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี สังขะตะววรรณ
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จินदानุรักษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว



..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.มนัส บุญประกอบ)

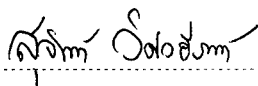


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี สังขะตะววรรณ)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จินदानุรักษ์)

คณะกรรมการบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชา
หลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช



..... ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ วิสวธีรานนท์)

วันที่ 13 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

ชื่อวิทยานิพนธ์ การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่อง การหายใจระดับเซลล์
 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนดาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่
ผู้วิจัย นางรวีวรรณ ทองศรีแก้ว **ปริญญา** ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต (หลักสูตรและการสอน)
อาจารย์ที่ปรึกษา (1) รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณี สังขะตะววรรณ (2) รองศาสตราจารย์
 ดร.ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ **ปีการศึกษา** 2550

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนดาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ และ(2) ศึกษาความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2550 โรงเรียนดาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 49 คน โดยการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นจากนักเรียน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า (1) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่สร้างขึ้นได้รับการประเมินจากนักเรียนว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับดี โดยในด้านการใช้ภาษามีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ส่วนนำของบทเรียน และด้านเนื้อหาของบทเรียน สำหรับผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มีคุณภาพอยู่ในระดับดี โดยในด้านการออกแบบการสอนมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ส่วนนำของบทเรียน และด้านเนื้อหาของบทเรียน และ(2) ด้านความคิดเห็นของกลุ่มนักเรียน พบว่า มีความเหมาะสมที่สุดในเรื่องเวลาที่ใช้ในการอ่านแต่ละหน้าเหมาะสมกับเนื้อหา สำหรับผู้เชี่ยวชาญ พบว่า มีความเหมาะสมที่สุดในด้านการปฏิสัมพันธ์ได้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ

คำสำคัญ หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ชีววิทยา การหายใจระดับเซลล์ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

Thesis title: Construction of a Biology Electronic Book on the Topic of Cellular Respiration for Mathayom Suksa V Students at Dara Academy in Chiang Mai Province

Researcher: Mrs. Rawiwan Thongsrikaew; **Degree:** Master of Education (Curriculum and Instruction); **Thesis advisors:** (1) Dr. Pranee Sungkatavat, Associate Professor; (2) Dr. Tweesak Chindanurak, Associate Professor; **Academic year:** 2007

ABSTRACT

The purposes of this research were to: (1) construct a biology electronic book on the topic of Cellular Respiration for Mathayom Suksa V students at Dara Academy in Chiang Mai Province; and (2) study opinions of students toward the biology electronic book on the topic of Cellular Respiration.

The research sample consisted of 49 purposively selected Mathayom Suksa V students studying in the 2007 academic year at Dara Academy in Chiang Mai Province. The employed instrument for quality assessment of the electronic book was a questionnaire to assess opinions of the students. Statistics for data analysis were the percentage, mean, and standard deviation.

Research findings showed that (1) the constructed electronic book on the topic of Cellular Respiration for Mathayom Suksa V students had quality at the good level, as assessed by the students, with language usage receiving the top rating mean, followed by the introduction part, and the content part respectively; as for results of experts' assessment, it was found that the overall quality was at the good level, with instructional design aspect receiving the top rating mean, followed by the introduction part, and the content part respectively; and (2) for students' opinions toward the constructed electronic book, the time required for reading each page was rated as being most appropriate; while experts rated the regular interaction with students as being most appropriate.

Keywords: Electronic book, Biology, Cellular Respiration, Mathayom Suksa V student

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี สังขะตะววรรณ และรองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ แห่งงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้อย่างใกล้ชิดตลอดมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

กราบขอบพระคุณคณาจารย์แห่งงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับผู้วิจัย

กราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน ที่สละเวลาตรวจสอบเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์เสาวลักษณ์ ดีแก้ว ที่ได้อนุเคราะห์ให้ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในคาบสอนของท่าน รวมทั้งขอขอบคุณนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/3 โรงเรียนคาราวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูล และการทดลองใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณคุณกสิพงศ์ ทองศรีแก้ว ที่ให้โอกาสในการศึกษา และให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโท แห่งงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอมอบความสำเร็จในวันนี้ให้กับ บิดา มารดา ที่เสียสละทุกอย่าง เป็นกำลังใจให้ลูกเสมอมา ขอมอบคุณความดีทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แด่บุพการีทั้งสองท่านตลอดไป

รวีวรรณ ทองศรีแก้ว

ตุลาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์การวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
นิยามศัพท์	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544	5
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์	7
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	29
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	29
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	29
การสร้างเครื่องมือในการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล	30
การวิเคราะห์ข้อมูล	39
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	40
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	48
สรุปการวิจัย	48
อภิปรายผล	50
ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	59
ก รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ.....	60
ข แบบประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์.....	62
ค ตารางวิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหาเรื่องการหายใจระดับเซลล์.....	65
ง หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ วิชาชีววิทยา ช่วงชั้นที่ 4.....	99
ประวัติผู้วิจัย.....	150

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการประเมินคุณภาพหนังสือ อิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบวัดความคิดเห็น โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวินาลัย จังหวัดเชียงใหม่	40
ตารางที่ 4.2 แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับหนังสือ อิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็น จากนักเรียนที่เรียน วิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวินาลัย จังหวัดเชียงใหม่	43
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการประเมินคุณภาพหนังสือ อิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบวัดความคิดเห็น โดยนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจ ระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวินาลัย จังหวัดเชียงใหม่	44
ตารางที่ 4.4 แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะของนักเรียนเกี่ยวกับหนังสือ อิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็น จากนักเรียนที่เรียน วิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวินาลัย จังหวัดเชียงใหม่	47

ญ

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4	31

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาของไทยในยุคปัจจุบันได้วิวัฒนาการได้อย่างรวดเร็วและกว้างขวางเพื่อพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสโลกาภิวัตน์ เพราะการศึกษามีส่วนช่วยในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์และ โดยเฉพาะทักษะการอ่าน ซึ่งนับว่ามีความสำคัญต่อการเรียนการสอน ผู้เรียนจะต้องนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการแสวงหาความรู้ทั้งในและนอกห้องเรียน การสร้างหนังสือจึงเป็นการส่งเสริมการอ่านและเป็นแนวทางที่จะส่งเสริมและสนับสนุนการจัดกระบวนการสอนให้บรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้ยิ่งขึ้น (อรพินท์ มุจลินทร์, 2546)

ปัจจุบันการจัดการศึกษามุ่งส่งเสริมให้นักเรียนค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง โดยการค้นคว้าเพิ่มเติมจากสื่อวัสดุการเรียนต่าง ๆ โดยเฉพาะหนังสือเป็นสื่อการเรียนการสอนหลักที่ยังคงมีความสำคัญอยู่ (นุชนารถ ยิ้มจันทร์, 2546 : 1)

หนังสือเป็นชุมทรัพย์ทางปัญญา เป็นสื่อพื้นฐานที่ครูใช้ในการเรียนการสอน เป็นแหล่งความรู้ความบันเทิงที่ทำให้ผู้อ่านได้มีความรู้ใหม่ ช่วยส่งเสริมและปลูกฝังนิสัยรักการอ่านรักการค้นคว้าและการใช้ประโยชน์ การอ่านหนังสือช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ทันต่อเหตุการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ความรู้ของนักเรียนจะกว้างขวางยิ่งขึ้นด้วยการอ่านหนังสือเพิ่มเติมในระดับสูงขึ้น จึงกล่าวได้ว่าหนังสือจึงมีบทบาทสำคัญในการเรียนการสอน (จันทรา ทองสมัคร, 2541 : 1-2)

สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2544 : 23) ได้สำรวจพฤติกรรมการอ่านหนังสือของประชากร พบว่า ประชากรไทยโดยเฉลี่ยอ่านหนังสือเพียง 2.99 นาทีต่อปี กลุ่มอายุระหว่าง 10-14 ปี โดยเฉลี่ยอ่านหนังสือเพียง 1.28 นาทีต่อปี คนไทยอ่านหนังสือปีละแค่ 8 บรรทัด ในขณะที่คนอเมริกันอ่านหนังสือโดยเฉลี่ยสัปดาห์หนึ่งไม่ต่ำกว่า 2 เล่ม หากพิจารณาเฉพาะคนไทยที่อ่านหนังสือ พบว่า คนไทยอ่านหนังสือเฉลี่ย 67.49 นาทีต่อวัน หรือประมาณวันละ 1 ชั่วโมง การสำรวจพฤติกรรมการอ่านหนังสือของประชากรไทยโดยวิธีสัมภาษณ์ สรุปได้ว่า ผู้มีอายุ 6 ขวบขึ้นไป จำนวน 57.8 ล้านคน เป็นผู้ชอบอ่านหนังสือ 34.4 ล้านคน หรือ 61.2% เป็นผู้ไม่ชอบอ่าน

หนังสือ 22.4 ล้านคน หรือ 38.8% ในจำนวนดังกล่าว ชอบอ่านหนังสือพิมพ์สูงสุด รองลงมาคือ นวนิยาย การ์ตูน หนังสืออ่านเล่น และตำราเรียน พฤติกรรมของผู้ไม่ชอบอ่านหนังสือมีเหตุผลต่าง ๆ กัน คือ 57.4% เพราะชอบฟังวิทยุดูโทรทัศน์มากกว่าการอ่าน 48.1% ไม่มีเวลาอ่าน และ 45.5% ไม่ชอบอ่านหรือไม่สนใจการอ่าน

ผลการสำรวจพฤติกรรมการอ่านหนังสือของประชากรไทย ในปี 2548 พบว่า วัยเด็กมีการอ่านหนังสือมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 87.7 รองลงมาคือวัยรุ่น (ร้อยละ 83.1)วัยทำงาน (ร้อยละ 65.0)และผู้สูงอายุ (ร้อยละ 37.4) ทั้งนี้สาเหตุของการไม่อ่านหนังสือของประชากรมาจากการชอบฟังวิทยุ/ดูทีวีมากกว่าการอ่าน

วัยเด็ก อ่านหนังสือประเภทตำราเรียนตามหลักสูตรมากที่สุด เนื่องจากยังอยู่ในวัยของการศึกษาภาคบังคับ รองลงมาคือ นวนิยาย/การ์ตูน/หนังสืออ่านเล่น และตำรา/หนังสือเกี่ยวกับความรู้ วัยรุ่น อ่านหนังสือพิมพ์มากที่สุดถึงร้อยละ 68.9 ในปี 2546 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 77.5 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2548)

การอ่านจึงมีความสำคัญกับนักเรียน โดยเฉพาะการอ่านผ่านสื่อสิ่งพิมพ์ หนังสือ ตำราเรียน ซึ่งผู้เรียนหาอ่านได้ง่ายและเป็นแหล่งศึกษาหาความรู้ที่สำคัญ วิชาชีววิทยาเป็นวิชาที่มีเนื้อหาค่อนข้างมากและต้องอาศัยการอ่านในการศึกษาหาความรู้ ตำราเรียนทั่วไปมีจำนวนน้อย และยังขาดความทันสมัย ไม่สร้างความสนใจผู้เรียนซึ่งอยู่ในวัยรุ่น สาเหตุหลักของการไม่อ่านหนังสือของประชากร คือ ชอบฟังวิทยุ ดูทีวีมากกว่าการอ่าน เนื่องจากมีการนำเสนอทั้งภาพและเสียง ซึ่งสร้างความสนใจมากกว่าการอ่านหนังสือ

ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงครั้งยิ่งใหญ่ต่อทุกวงการทั่วโลก รวมทั้งวงการศึกษา ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกต่างหันมาให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้เรียนในทุกระดับ มีการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และสื่ออิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น ผู้เรียนรุ่นใหม่จะเป็นผู้เรียนที่มีความคิด รักการเรียนรู้ มีหลักในการศึกษาค้นคว้าอย่างเป็นระบบ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ มีความรู้และทักษะที่จำเป็นในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองมากขึ้น (ลัดดาวัลย์ เพชรโรจน์, 2539 : 122)

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เป็นสื่อที่มีการผสมสื่อหลายรูปแบบเข้าด้วยกัน อีกทั้งยังมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาวิชาได้เร็วขึ้น (เย็น กุวรรวรรณ, 2538 : 24) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์มีความสามารถในการเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก มีลักษณะทางกายภาพที่แข็งแรงทนทาน หากมีการใช้และเก็บรักษาอย่างถูกวิธี (เพ็ญประภา พัทธชนม์, 2544 : 4)

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์มีความสามารถในการเชื่อมโยงกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถอ่านพร้อม ๆ กันได้ครั้งละหลาย ๆ คน ทำให้สามารถเผยแพร่ข้อมูลไปได้ไม่จำกัดระยะทาง มีความสามารถเชื่อมโยงไปสู่โฮมเพจและเว็บไซต์ต่าง ๆ อย่างที่หนังสือที่เป็นเอกสารไม่มีคุณสมบัตินี้ ที่สำคัญหนังสืออิเล็กทรอนิกส์สนับสนุนการเรียนรู้ทั้งการศึกษารายบุคคลและกลุ่มเล็ก อีกทั้งยังสามารถออกแบบให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมกับกลุ่มใหญ่ สนับสนุนการเรียนการสอนแบบห้องเรียนเสมือน (Virtual Classroom) ห้องสมุดเสมือน (Virtual Library) และห้องสมุดดิจิทัล (Digital Library) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ช่วยเชื่อมโยงความรู้ที่เกี่ยวข้องกันให้อยู่ด้วยกันโดยคุณสมบัติของ ไฮเปอร์เท็กซ์ (Hypertext) การสืบค้นข้อมูลสามารถทำได้ง่ายด้วยคุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ สะดวกต่อการปรับปรุงให้ทันสมัย สะดวกต่อการใช้และการพกพา เนื่องจากเก็บในซีดีรอมได้ ปัจจุบันแนวโน้มราคาซีดีรอมถูกลงมาก จนกล่าวได้ว่าซีดีรอมจะเป็นสื่อที่นำมาใช้แทนกระดาษที่มีแนวโน้มที่แพงขึ้น (เย็น กุวรรวรรณ , 2538 : 27)

การแปลงข้อมูลในหน้ากระดาษให้อยู่ในรูปอิเล็กทรอนิกส์จะทำให้การค้นหาข้อมูลทำได้ง่ายขึ้น และสะดวกต่อการทำความเข้าใจในเนื้อหามากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับธรรมชาติของมนุษย์ที่ไม่ชอบคิดอะไรต่อเนื่องยาว ๆ อยู่เพียงเรื่องเดียว (ครรรชิต มาลัยวงศ์ , 2538 : 16) อีกทั้งยังเหมาะสมกับผู้เรียน ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายซึ่งชอบเรียนรู้จากคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเป็นสื่อที่มีสีสัน ทันสมัย แปลกใหม่ท้าทาย จูงใจให้นักเรียนเข้าใจในบทเรียนที่มีเนื้อหายาก

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์เหมาะที่จะเป็นสื่อเสริมในการศึกษา เพราะเป็นสื่อที่ทันสมัยในสังคมสารสนเทศ เมื่อเชื่อมโยงกับเครือข่ายทั่วโลกได้แล้ว (ไพโรจน์ ติรณธนากุล, ไพบูลย์ เกียรติโกมล และ เสกสรร แยมพิณี, 2546) เพิ่มแรงจูงใจจากผู้เรียน สามารถนำเสนอเนื้อหาที่ซับซ้อนและยากต่อการทำความเข้าใจ การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นการส่งเสริมการเรียนการสอนให้เป็นระบบและเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้แก่ผู้เรียน

การหายใจระดับเซลล์ เป็นบทเรียนหนึ่งในวิชาชีววิทยา ในช่วงชั้นที่ 4 ประกอบด้วยกระบวนการสำคัญ 4 กระบวนการ คือ วิถีไกลโคไลซิส การสร้างเอซิติลโคเอนไซม์ เอ วิดูล์เจอร์เครบส์ และระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน ทั้ง 4 ขั้นตอนเกิดอย่างต่อเนื่องและมีความซับซ้อนซึ่งยากแก่การจดจำและการเข้าใจ เพื่อช่วยกระตุ้นความสนใจ และเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนการสอน นักเรียนสามารถจดจำบทเรียนได้ดีขึ้น และนำความรู้ที่ถูกต้องไปปรับใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่ศึกษาและพัฒนาการทำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อใช้ในการเรียนการสอนให้เกิดประสิทธิภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

2.2 เพื่อศึกษาความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

3. ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เพื่อสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์

4. นิยามศัพท์

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ที่นำเสนอเนื้อหาที่เป็นตัวหนังสือ รูปภาพ หรือเสียงได้ มีกระบวนการสร้างที่ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ผู้เรียนสามารถศึกษาโดยผ่านทางอินเทอร์เน็ต หรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพาอื่นๆ

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ชีววิทยา

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544
2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์
3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

1. หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544

กระทรวงศึกษาธิการ (2544) กล่าวว่า หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544 เป็นหลักสูตรที่มุ่งเน้นให้สังคมไทยเจริญก้าวหน้าทันต่อการเปลี่ยนแปลง และก้าวไปสู่สังคมความรู้ได้ทันการณ์ โดยมีจุดเน้นของหลักสูตรหลายประการ ประการหนึ่งคือการจัดหลักสูตรและการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ยังไม่สามารถผลักดันให้ประเทศไทยเป็นผู้นำทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีในภูมิภาค จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการเรียนการสอนให้คนไทยมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติที่ดีทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความคิดสร้างสรรค์ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์มีการจัดการเรียนการสอนตามหลักสูตรการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับการศึกษาของชาติ และพัฒนาคุณภาพของการศึกษาต่อไป

การจัดการศึกษาตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน และหลักสูตรสถานศึกษามุ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยตนเอง เรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต และใช้เวลาอย่างสร้างสรรค์ รวมทั้งมีความยืดหยุ่น สนองต่อความต้องการของผู้เรียน ชุมชน สังคม ประเทศชาติ ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ทุกเวลา ทุกสถานที่ และเรียนรู้ได้จากสื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้ทุกประเภท รวมทั้งเครือข่ายการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่น ชุมชนและแหล่งอื่น ๆ เน้นสื่อที่ผู้เรียนและผู้สอนใช้ศึกษาค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง ผู้เรียน ผู้สอนสามารถจัดทำสื่อและพัฒนาสื่อการเรียนรู้ขึ้นเองหรือนำสื่อต่าง ๆ ที่มีอยู่รอบตัว และในระบบสารสนเทศมาใช้ในการเรียนรู้

โดยใช้วิจารณ์ญาณในการเลือกใช้สื่อ และแหล่งความรู้ โดยเฉพาะหนังสือเรียน ควรมีเนื้อหาสาระครอบคลุมตลอดช่วงชั้น สื่อสิ่งพิมพ์ ควรจัดให้มีอย่างเพียงพอ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2544 : 14)

ลักษณะของสื่อการเรียนรู้ที่จะนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ ควรมีความหลากหลายทั้งสื่อธรรมชาติ สื่อสิ่งพิมพ์ สื่อเทคโนโลยี และสื่ออื่น ๆ ซึ่งช่วยเสริมการเรียนรู้เป็นไปอย่างมีคุณค่า น่าสนใจ ชวนคิด ชวนติดตาม เข้าใจง่าย และรวดเร็วขึ้น รวมทั้งกระตุ้นให้ผู้เรียนรู้จักวิธีแสวงหาความรู้ เกิดการเรียนรู้อย่างกว้างขวาง ลึกซึ้งและต่อเนื่องตลอดเวลา เพื่อให้การใช้สื่อการเรียนรู้เป็นไปตามแนวการจัดการเรียนรู้ และพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง โดยการศึกษาค้นคว้าวิจัย เพื่อพัฒนาสื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียน

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542 หมวดที่ 9 เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา ได้กล่าวเกี่ยวกับการผลิตหนังสือทางวิชาการและการพัฒนาผู้ใช้เทคโนโลยี โดยมีรายละเอียดดังนี้

มาตรา 64 รัฐต้องส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการผลิต และพัฒนาแบบเรียน ตำรา หนังสือทางวิชาการ สื่อสิ่งพิมพ์อื่น วัสดุอุปกรณ์ และเทคโนโลยีเพื่อการศึกษาอื่น โดยเร่งรัดพัฒนาขีดความสามารถในการผลิต จัดให้มีเงินสนับสนุนการผลิตและมีการให้แรงจูงใจแก่ผู้ผลิต และพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการศึกษา ทั้งนี้ โดยเปิดให้มีการแข่งขันโดยเสรีอย่างเป็นธรรม

มาตรา 65 ให้มีการพัฒนาบุคลากรทั้งด้านผู้ผลิต และผู้ใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา เพื่อให้มีความรู้ ความสามารถ และทักษะในการผลิต รวมทั้งการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม มีคุณภาพและประสิทธิภาพ

มาตรา 66 ผู้เรียนมีสิทธิได้รับการพัฒนาขีดความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษาในโอกาสแรกที่ทำได้ เพื่อให้มีความรู้และทักษะเพียงพอที่จะใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษาในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองได้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต

มาตรา 68 ให้มีการระดมทุน เพื่อจัดตั้งกองทุนพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการศึกษาจากเงินอุดหนุนของรัฐ ค่าสัมปทาน และผลกำไรที่ได้จากการดำเนินกิจการด้านสื่อสารมวลชน เทคโนโลยีสารสนเทศ และโทรคมนาคมจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และองค์กรประชาชน รวมทั้งให้มีการลดอัตราค่าบริการเป็นพิเศษในการใช้เทคโนโลยีดังกล่าว เพื่อการพัฒนาคนและสังคม

จากพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542 หมวดที่ 9 เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา ในมาตรา 64 มาตรา 65 มาตรา 66 และมาตรา 68 แสดงให้เห็นว่าการผลิตหนังสือทางวิชาการ และการพัฒนาผู้ใช้เทคโนโลยีมีความสำคัญมากต่อการจัดการศึกษา การผลิตหนังสือทางวิชาการ เป็นสื่อที่สามารถใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ

หนังสือทางวิชาการจึงควรใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการผลิตหนังสือทางวิชาการ

หลักสูตรสถานศึกษาได้จัดการศึกษาในช่วงชั้นที่ 4 มีการจัดเวลาเรียนเป็นรายภาค และเป็นการเริ่มเข้าสู่การเรียนเฉพาะสาขาวิชา จึงให้มีการเลือกเรียนในบางรายวิชาของแต่ละกลุ่มสาระการเรียนรู้ และจัดทำหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมใหม่ ซึ่งเป็นรายวิชาที่น่าสนใจและมีความยากในระดับสูงขึ้นไป ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ช่วงชั้นที่ 4 ได้จัดให้มีการเรียนการสอนวิชาชีววิทยา ซึ่งเป็นรายวิชาเพิ่มเติมสำหรับนักเรียนที่เลือกเรียนในสายวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยจะครอบคลุมในสาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม และสาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การจัดการเรียนรู้เพื่อนำเข้าสู่เฉพาะทางมากยิ่งขึ้น มุ่งเน้นความสามารถ ความคิดระดับสูง ความถนัด และความต้องการของผู้เรียน โดยเฉพาะการศึกษาต่อในระดับสูงต่อไป ในการจัดทำหลักสูตรและนำหลักสูตรไปใช้จำเป็นต้องมีสื่อการเรียนรู้ โดยเฉพาะเอกสาร ตำรา และสื่ออื่น ๆ เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้อย่างกว้างขวาง

การหายใจระดับเซลล์ เป็นบทเรียนหนึ่งในวิชาชีววิทยา ในช่วงชั้นที่ 4 ในการจัดการเรียนการสอนตามกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ ช่วงชั้นที่ 4 สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต มาตรฐานที่ 1.1 เข้าใจหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตความสัมพันธ์ของโครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ทำงานสัมพันธ์กัน มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิตของตนเองและดูแลสิ่งมีชีวิต และตามมาตรฐานการเรียนรู้ ช่วงชั้นที่ 4 ตำรวจตรวจสอบ อภิปราย และอธิบายการรักษาคุณภาพของเซลล์และร่างกาย พืช สัตว์ กลไกในการควบคุมคุณภาพของร่างกายมนุษย์ และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตและการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม

2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์นั้นมีผู้เขียนหลายคน ซึ่งได้กล่าวถึงการหายใจระดับเซลล์ในหัวข้อ ความหมายของการหายใจระดับเซลล์ บริเวณที่เกิดการหายใจระดับเซลล์ และขั้นตอนต่าง ๆ ของการหายใจระดับเซลล์ โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

กรณี อุทโยภาส (2541) กล่าวว่า เมื่ออาหารเข้าสู่ร่างกายเพื่อให้เกิดพลังงาน 3 ขั้นตอน ดังนี้ คือ

ขั้นที่ 1 อาหารจะถูกย่อยในทางเดินอาหารให้มีโมเลกุลขนาดเล็กที่สุดที่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้

ขั้นที่ 2 โมเลกุลที่ได้จากการย่อยขั้นที่ 1 จะถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์แล้วจะถูกสลายให้มีขนาดเล็กโดยกระบวนการไกลโคไลซิส ในไซโทพลาสซึม ได้กรดไพรูวิก จะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่เรียกว่า เอซิติลโคเอนไซม์ เอ

ขั้นที่ 3 เป็นขั้นเมตาบอลิซึม เข้าสู่วัฏจักรเครปส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ความหมายของการหายใจระดับเซลล์ เป็นกระบวนการที่สิ่งมีชีวิตเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีอยู่ในสารประกอบอินทรีย์ให้เป็นพลังงานที่จะนำไปใช้ในเซลล์ได้ การหายใจอาจเปรียบได้กับการเผาไหม้ทั่ว ๆ ไป เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วได้พลังงานออกมา การหายใจระดับเซลล์มีส่วนที่แตกต่างจากการเผาไหม้ทั่ว ๆ ไป คือ

1. การหายใจเป็นการเผาไหม้ที่ควบคุมได้โดยเอนไซม์ ซึ่งจะควบคุมให้สารเริ่มต้นหรือเชื้อเพลิงค่อย ๆ สลายตัว ทำให้พลังงานถูกปล่อยออกมาทีละน้อย เซลล์จะสามารถนำไปสร้างเป็นสารประกอบสะสมไว้ได้

2. พลังงานที่ได้จากการหายใจนั้นเซลล์จะเก็บไว้ในรูปของสารเคมีที่มีพลังงานสูงคือ ATP จึงไม่ทำให้อุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้นจนถึงขั้นเป็นอันตราย (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2527)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ (2546) กล่าวว่า การหายใจระดับเซลล์ คือ การสลายพันธะของคาร์บอนดีในโมเลกุลของอาหารเพื่อปลดปล่อยพลังงานให้แก่สารเก็บพลังงานของเซลล์ คือ ATP เพื่อสะดวกต่อการใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ในเซลล์

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีโครงสร้างที่เกี่ยวกับการหายใจระดับเซลล์ คือ

1. ไซโทพลาสซึม เป็นส่วนที่อยู่ในเซลล์ทั้งหมด ยกเว้นนิวเคลียส ไซโทพลาสซึมเป็นของเหลว มีความข้นโปร่งแสง ประกอบด้วย น้ำประมาณ 75 - 90 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นสารชนิดอื่น เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลาย ส่วนสารอินทรีย์ มักอยู่ในรูปของคอลลอยด์ จะประกอบด้วย

1.1 ไซโตซอลส่วนที่เป็นคอลลอยด์ ไซโตซอล จะเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์หรืออวัยวะของเซลล์

1.2 อินคลูชันหรือส่วนไม่มีชีวิต(ผลึกหรือสารต่างๆ) ไซโตซอล จะเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์หรืออวัยวะของเซลล์

หน้าที่ของไซโทพลาสซึม ได้แก่ เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีของเซลล์ สลายวัตถุดิบเพื่อให้ได้พลังงานและสิ่งที่จำเป็นสำหรับเซลล์ สังเคราะห์สารที่จำเป็นสำหรับเซลล์

เป็นที่เก็บสะสมวัตถุดิบสำหรับเซลล์ และทำหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขับถ่ายของเสียของเซลล์

2. ไมโทคอนเดรีย เป็นออร์แกเนลล์ที่มีระบบเมมเบรนห่อหุ้ม ประกอบด้วยเมมเบรน 2 ชั้น เมมเบรนแต่ละชั้นเป็นยูนิตเมมเบรน คือ มีชั้นไขมันอยู่ตรงกลางและห่อหุ้มด้วยโปรตีน ไมโทคอนเดรียจะมี DNA ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับ DNA ของนิวเคลียสทั่วไป ไมโทคอนเดรีย มีรูปร่างและจำนวนของไมโทคอนเดรียไม่แน่นอน จะเปลี่ยนไปตามหน้าที่และกิจกรรมของเซลล์ ไมโทคอนเดรียจะอยู่กระจัดกระจายทั่วไปในไซโตพลาสซึม โครงสร้างที่ต้องการพลังงานมากจะมีไมโทคอนเดรียรอบโครงสร้างนั้น (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2526)

อรรถพ วราอัสวปิติ (2526) กล่าวว่า ส่วนประกอบต่าง ๆ ของไมโทคอนเดรียแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ

1. เยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer Membrane) มีไขมันคอเลสเตอรอลมาก มีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการย่อยเริ่มต้นของไขมันและกรดอะมิโน มีโปรตีนชื่อว่า พอรินส์ (Porins) ทำหน้าที่เป็นช่องสำหรับให้โมเลกุลขนาดเล็กผ่านได้อย่างอิสระ

2. ช่องอินเตอร์เมมเบรน พบเอนไซม์หลายชนิด

3. เยื่อหุ้มชั้นใน (Inner Membrane) มีโปรตีนหลายชนิด เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ ATP มีโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอน และโปรตีนขนส่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวพาสารผ่านเยื่อหุ้มชั้นใน

4. แมทริกซ์ (Matrix) มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันไพรูเวต วัฏจักรเครปส์ มี DNA, RNA และ ไรโบโซม

เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรียจะม้วนงอเข้าไปด้านในเรียกว่า คริสตี (Cristae) ซึ่งจะม้วนงอมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานของเนื้อเยื่อ ด้านในของเยื่อชั้นในมีตุ่มเล็กๆ เกาะติดอยู่ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการขนส่งอิเล็กตรอน และออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน

หน้าที่ของไมโทคอนเดรียมีหลายประการ ดังนี้

1. เยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer Membrane) มีหน้าที่ในการสังเคราะห์ฟอสโฟลิปิดส์ การเติมพันธะคู่กรดไขมัน และการยึดยาวของกรดไขมัน

2. ช่องอินเตอร์เมมเบรน มีหน้าที่เกี่ยวกับฟอสโฟรีเลชันของนิวคลีโอไทด์

3. เยื่อหุ้มชั้นใน (Inner Membrane) มีหน้าที่ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน และการขนส่งเมแทบอลิท (Metabolites)

4. แมทริกซ์ (Matrix) มีหน้าที่ การออกซิเดชันไพรูเวท วัฏจักรของกรดซิตริก เบต้าออกซิเดชันของไขมัน การจำลอง DNA การสังเคราะห์ RNA (Transcription) และการสังเคราะห์โปรตีน

การหายใจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การหายใจแบบใช้ออกซิเจนและการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration)

การหายใจเป็นการสลายโมเลกุลของอาหารเพื่อให้เกิดพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลของกลูโคส การทำให้อะตอมทุกอะตอมของกลูโคสหรือของอาหารอื่นแตกตัวจนเสร็จสมบูรณ์ จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานออกมาอยู่ในรูปของ ATP ถ้าตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเป็นออกซิเจน เรียกการหายใจนี้ว่า การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration)

โมเลกุลของอาหารที่จะสลายเพื่อให้เกิดพลังงาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ดังนั้นการหายใจระดับเซลล์จึงแบ่งตามการสลายโมเลกุลของอาหารได้ดังนี้

1. การสลายกลูโคส
2. การสลายไขมัน
3. การสลายโปรตีน

การสลายกลูโคส

มุกดา วุฒิสุต (2525) การสลายกลูโคสในกระบวนการหายใจ มีปฏิกิริยาหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน ปฏิกิริยาเหล่านี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ไกลโคไลซิส (Glycolysis)
2. การสร้างอะซิติลโคเอ (Acetyl Coenzyme A)
3. วัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle)
4. ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน (Electron Transport system)

การสลายไขมัน

ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน ไขมันจะถูกย่อยโดยน้ำย่อยไลเปสให้เป็น กลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมัน (fatty acid)

กลีเซอรอลที่ได้จากการย่อยสลายไขมันเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารตัวกลางในกระบวนการไกลโคไลซิส คือ กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (glyceraldehyde-3-phosphate) ซึ่งจะสลายตัวต่อไปในกระบวนการไกลโคไลซิสและวัฏจักรเครปส์ต่อไป

การสลายกรดไขมัน กรดไขมัน (เก็บพลังงานส่วนใหญ่ของไขมันไว้) จะผ่านกระบวนการที่เรียกว่าเบต้า-ออกซิเดชัน (β -oxidation) เพื่อสร้างเป็นแอซิติล โคเอ เพื่อเข้าไปในวัฏจักรเครบส์โดยตรง (สรีรย์ ฟุตระกูล, 2527)

การสลายโปรตีน

สารอาหารประเภทโปรตีน จะถูกย่อยก่อน เพื่อให้ได้เป็นกรดอะมิโนต่างๆ ชนิด เซลล์นำกรดอะมิโนไปใช้สร้างโปรตีนชนิดอื่นๆ ที่ร่างกายต้องใช้ แต่ถ้ามีมากก็จะถูกเปลี่ยนเป็นสารที่สามารถเข้าไปในวิถีไกล โคลิซิสและวัฏจักรเครบส์ได้ แต่ทั้งนี้ต้องมีการเอาหมู่อะมิโน (NH_2) ออกไปก่อน กรดอะมิโนบางชนิดสามารถเปลี่ยนเป็นไพรูเวตได้ บางชนิดเปลี่ยนเป็นแอซิติล โคเอ บางชนิดเปลี่ยนเป็นสารตัวกลางอื่นๆ ในวัฏจักรเครบส์ เช่น ออกซาโลแอซิติต เป็นต้น

การสลายตัวของสารอาหารประเภทต่างๆ เพื่อให้ได้พลังงานในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ หน่วยย่อยของสารอาหาร ได้แก่ กรดอะมิโนของโปรตีน กลีเซอรอล และกรดไขมันของไขมัน และน้ำตาลของคาร์โบไฮเดรต จะสามารถเข้าสู่วิถีไกล โคลิซิสและวัฏจักรเครบส์ที่จุดต่างๆ ดังแสดงในรูป ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อไกล โคลิซิสแบ่งในรูปของไกลโคเจน (และ starch ซึ่งเป็นแป้งในพืช) และน้ำตาลอื่นๆ สามารถเข้าสู่วิถีไกล โคลิซิสโดยเปลี่ยนเป็นสารตัวกลางต่างๆ ในวิถีไกล โคลิซิส (ประสงค์ หล้าสะอาด, 2546)

2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration) มีขั้นตอนดังนี้

2.1 ไกลโคไลซิส ในกรณีที่ไม่มีออกซิเจน ATP ที่ได้จะมาจากกระบวนการ substrate-level phosphorylation ขณะที่กลูโคสเปลี่ยนเป็นไพรูเวต จากนั้นผลผลิตสุดท้ายของไกลโคไลซิส คือ ไพรูเวต ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อจะออกซิไดซ์ NADH กลับไปเป็น NAD^+ ซึ่งสามารถถูกนำกลับไปใช้ใหม่ในวิถีไกล โคลิซิส

2.2 กระบวนการหมัก ผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการหมัก อาจจะเป็นแอลกอฮอล์ (ethanol) หรือแลกเตต (lactate) ซึ่งเป็น lactic acid ในรูปที่แตกตัว (ionized)

จุลินทรีย์บางชนิด รวมทั้งยีสต์และแบคทีเรียหลายชนิด สามารถเลือกใช้ทั้งสองกระบวนการนี้ในการสร้างพลังงาน จุลินทรีย์จำพวกนี้เรียกว่า facultative anaerobes

ในระดับเซลล์ กล้ามเนื้อก็สามารถใช้ทั้งสองกระบวนการดังกล่าวเช่นกัน ขึ้นกับระดับพลังงานที่กล้ามเนื้อต้องการใช้ ในขณะที่กล้ามเนื้อทำงานตามปกติ ไพรูเวตจะเปลี่ยนเป็นแอซิติล โคเอ (acetyl CoA) และเกิดการออกซิเดชันต่อในวัฏจักรเครบส์ ในสภาวะที่กล้ามเนื้อทำงานหนักมากและต้องใช้พลังงานมาก อัตราของการเกิดไกล โคลิซิสจะสูงเกินกว่าที่วัฏจักรเครบส์จะรับช่วงต่อได้ ดังนั้นไพรูเวตส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นแลกเตต กล่าวคือ ไพรูเวตจะเปลี่ยนบทบาทตัวเองไปทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เพื่อสร้าง NAD^+ (จากการออกซิไดซ์ NADH) สำหรับไว้ใช้ในวิถี

ไกลโคลิซิส แลกเตตที่ได้จากกระบวนการหมักในกล้ามเนื้อนั้นเป็นของเสียที่กล้ามเนื้อจะต้องส่งออกสู่กระแสเลือดไปยังตับ ซึ่งตับจะมีความสามารถในการเปลี่ยนแลกเตตให้กลับเป็นกลูโคสได้อีก กระบวนการนี้เรียกว่า กลูโคเนโอเจเนซิส (gluconeogenesis) การที่กลูโคสเปลี่ยนเป็นแลกเตตในกล้ามเนื้อ และตับนำแลกเตตนี้มาสร้างเป็นกลูโคสใหม่ เพื่อส่งให้กล้ามเนื้อใช้ (ในกรณีที่กล้ามเนื้อทำงานหนัก) วนเวียนไปมาเช่นนี้เกิดเป็นวัฏจักรที่มีชื่อเรียกว่า วัฏจักรคอรีย์ (Cori cycle) ซึ่งเป็นการตั้งชื่อตามชื่อนักวิทยาศาสตร์รางวัลโนเบลสามิและภรรยา (Larl และ Gerly Cori) ที่ค้นพบวัฏจักรนี้ (ประสงค์ หล้าสะอาด, 2546)

3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์มีการจัดทำโดยใช้หลักการเดียวกับการทำหนังสือ ในที่นี้ได้นำเสนอในหัวข้อต่อไปนี้

- 3.1 ประเภทของหนังสือ
 - 3.2 ส่วนประกอบของหนังสือ
 - 3.3 วิธีการเขียนเอกสารทางวิชาการ
 - 3.4 การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
- โดยมีรายละเอียดในแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 ประเภทของหนังสือ

หนังสือเป็นสื่อพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นยิ่งในวงการศึกษา แม้ปัจจุบันจะมีสื่อในรูปแบบต่าง ๆ ที่น่าสนใจมากมายแต่หนังสือก็ยังเป็นสื่อที่มีลักษณะเฉพาะ ที่เอื้ออำนวยในการสื่อสารให้ไปถึงผู้รับจำนวนมาก มีความยืดหยุ่นสามารถใช้ได้ในทุกโอกาสและสถานที่ หนังสือจึงเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง ด้วยเหตุนี้การเรียนรู้ และการทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนต่าง ๆ ในการจัดทำหนังสือที่มีคุณภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญของผู้ผลิตหนังสือ

หนังสือเป็นเสมือนคลังแห่งความรู้ ความคิด และวิทยาการทุกด้านของมนุษย์ ที่บันทึกเป็นลายลักษณ์อักษร เป็นผลให้มนุษย์มีการพัฒนาทางปัญญา จากพัฒนาการที่ยาวนานของหนังสือและการพิมพ์ และเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากมาย

ตามพระราชบัญญัติการพิมพ์ พุทธศักราช 2484 ได้ให้ความหมาย ไว้ในมาตรา 4 ดังนี้ “สิ่งพิมพ์” หมายความว่า สมุด แผ่นกระดาษ หรือวัตถุที่พิมพ์ขึ้น รวมตลอดทั้งบทเพลง แผนที่ แผนภาพ ภาพวาด ภาพระบายสี ใบประกาศ แผ่นเสียง หรือสิ่งอื่นใด อันมีลักษณะเช่นเดียวกัน

สิ่งพิมพ์จึงมีหลายรูปแบบ ในที่นี้แบ่งประเภทสิ่งพิมพ์ตามลักษณะการใช้งานได้
ดังนี้

1. สิ่งพิมพ์ประเภทหนังสือ
2. สิ่งพิมพ์เพื่อเผยแพร่ข่าวสาร
3. สิ่งพิมพ์เพื่อการบรรจุกิจกรรม
4. สิ่งพิมพ์มีค่า
5. สิ่งพิมพ์อื่น ๆ

ในวงการศึกษาส่งพิมพ์ที่มีความจำเป็นในการจัดการศึกษา และถือว่าเป็นสื่อการเรียนการสอนที่สำคัญ คือ สิ่งพิมพ์ประเภทหนังสือ ซึ่งมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับนำไปใช้ประโยชน์ โดยหนังสือสำหรับเด็กแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้ (ฉวีวรรณ คูหาภินันท์, 2527 : 70-71)

1. หนังสือสารคดี เป็นเอกสารที่ประกอบด้วยความรู้ทั่วไป เช่น หนังสือประวัติศาสตร์ วรรณคดี การใช้ภาษา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ดาราศาสตร์ เป็นต้น ผู้เขียนจะต้องใช้ภาษาง่าย อธิบายให้เด็กเกิดภาพพจน์ และง่ายต่อการจำ ข้อเท็จจริงต้องถูกต้อง ผู้เขียนต้องค้นคว้ามาอย่างดี ควรมีรูปภาพ แผนที่ แผนภูมิ ตาราง แสดงให้ชัดเจน ถ้าเป็นการทดลองควรมีภาพแสดงตามลำดับขั้น ส่วนต่าง ๆ ของหนังสือสารคดี ได้แก่ สารบัญ สารบัญภาพ เนื้อเรื่อง อภิธานศัพท์ ดัชนี และบรรณานุกรม ในการเขียนควรมีการวางโครงเรื่องก่อน

2. หนังสือที่ให้ความเพลิดเพลิน เป็นเอกสารที่ประกอบด้วย หนังสือภาพ หนังสือบทกลอนต่าง ๆ หนังสือนิทาน หนังสือนวนิยาย ควรจะเลือกเรื่องที่เป็นการสอนใจเด็ก มุ่งให้เด็กเป็นคนดีเสียสละ ขยัน กตัญญู ซื่อสัตย์ วิธีการเขียนไม่เป็นการสอนโดยตรง แต่เป็นการสอนทางอ้อม

หนังสือนวนิยาย เป็นเรื่องที่แต่งขึ้น เลียนแบบชีวิตจริง ผู้เขียนจะต้องสร้างตัวละครให้อยู่ในวัยเดียวกับเด็ก จะต้องสร้างโครงเรื่องให้เหมาะสมกับฉากเหตุการณ์ต่าง ๆ ให้สมจริง เป็นเรื่องที่ก่อให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ทำให้เด็กได้ทั้งความสนุกสนานและได้รับความรู้ไปด้วย ทำให้เด็กสามารถนำไปแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันในทางที่ถูกต้อง

3. หนังสืออ้างอิง เป็นหนังสือซึ่งใช้ประโยชน์ในการค้นคว้าต่าง ๆ ได้ ผู้เขียนต้องค้นคว้าข้อเท็จจริงมาอย่างถูกต้อง เขียนด้วยภาษาง่าย ๆ มีภาพประกอบที่สวยงาม มีการเรียงลำดับเรื่องที่ค้นคว้าได้สะดวก เช่น การเรียงลำดับอักษร มีสารบัญ ดัชนี และบรรณานุกรม

4. หนังสือเสริมประสบการณ์ เป็นหนังสือที่มีแบบฝึกหัด มีกิจกรรมต่าง ๆ ตรงตามหลักสูตรของแต่ละระดับชั้น

5. หนังสือการ์ตูน เป็นเอกสารที่มีการเขียนและวาดภาพอย่างมีศิลปะ และ ประณีต ไม่หยาบคาย ภาษาและตัวสะกดการันต์ถูกต้อง เนื้อเรื่องให้ความรู้ ความสนุกสนานแก่ เด็ก ส่งเสริมจินตนาการและความคิดสร้างสรรค์

6. วารสาร หรือนิตยสาร เป็นเอกสารที่บรรจุเรื่องที่อยู่ในความสนใจของเด็ก มีนวนิยายจบในฉบับ มีข่าว บทความ ศิลปะ ความรู้ นิทาน การ์ตูน ตอบปัญหาต่าง ๆ

7. หนังสือพิมพ์รายวัน เป็นเอกสารที่มีข่าวที่ถูกต้อง บทความที่เป็นความรู้

8. หนังสือแปล เป็นเอกสารที่ผู้แปลแปลด้วยฝีมือประณีต ไม่ลอกเลียนแบบ ไม่ ละเมิดลิขสิทธิ์ ส่วนวนที่ใช้ไม่วกวน เลือกเรื่องที่จะแปลให้เหมาะสมกับความสนใจ ไม่เปลี่ยนชื่อ ตัวละคร ไม่เปลี่ยนแปลงเรื่อง ถ้ามีการดัดแปลงจะต้องบอกเค้าโครงเรื่องมาจากไหน ถ้าเป็นการ แปลสารคดีต้องศึกษาข้อเท็จจริงให้ถูกต้อง

9. หนังสือแบบเรียน เป็นเอกสารวิชาการที่ผู้เขียนต้องมีประสบการณ์การสอน ด้วย และมีความรู้เฉพาะวิชาที่เขียน ศึกษาค้นคว้าข้อเท็จจริง เนื้อหาที่บรรจุต้องทันสมัยต่อ เหตุการณ์ ไม่ผิดพลาด ทั้งตัวสะกด การันต์ ตอนท้ายบทเรียนจะต้องมีกิจกรรมเสนอแนะ และมี แบบฝึกหัด ถ้ามีคำศัพท์ยาก ๆ จะต้องมื่อธิฐานศัพท์ มีบรรณานุกรม ก่อนนำไปใช้ผู้ทำแบบเรียน จะต้องทดลองใช้ก่อน ก่อนเขียนต้องศึกษาหลักสูตร และเขียนให้ตรงตามหลักสูตร

แบบเรียน มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า Text book หรือ Lesson ในภาษาไทยอาจ เรียกได้หลายอย่าง เช่น หนังสือเรียน หนังสืออ่าน หนังสือประกอบการเรียน แบบสอนอ่าน

ข้อความแนบท้ายคำสั่งของกระทรวงศึกษาธิการ ที่ วก 419 / 2522 กล่าวถึง "หนังสือสำหรับนักเรียน" ประกอบด้วย หนังสือเรียน หนังสือเสริมประสบการณ์ และ แบบฝึกหัด

หนังสือเรียน คือ หนังสือที่กระทรวงศึกษาธิการกำหนดให้ใช้สำหรับการเรียน มี สาระตรงตามที่ระบุไว้ในหลักสูตรอย่างถูกต้อง อาจจะมีลักษณะเป็นเล่ม เป็นแผ่น หรือเป็นชุด

หนังสือเสริมประสบการณ์ คือ หนังสือที่กระทรวงศึกษาธิการอนุญาตให้ใช้ใน โรงเรียน แต่มิได้กำหนดให้เป็นหนังสือเรียน หนังสือประสบการณ์แบ่งเป็นประเภท ดังนี้

1. หนังสืออ่านนอกเวลา คือ หนังสือที่กระทรวงศึกษาธิการกำหนดให้ใช้ในการ เรียนวิชาใดวิชาหนึ่งตามหลักสูตรนอกเหนือจากหนังสือเรียน สำหรับให้นักเรียนอ่านนอกเวลา โดยถือว่ากิจกรรมการเรียนเกี่ยวกับหนังสือเป็นส่วนหนึ่งของการเรียน

2. หนังสือเรียนอ่านเพิ่มเติม คือ หนังสือที่มีสาระอิงหลักสูตร สำหรับให้ นักเรียนศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม ตามความเหมาะสมของวัยและความสามารถในการอ่านของแต่ละ บุคคล

3. หนังสืออุเทศ คือ หนังสือสำหรับใช้ในการค้นคว้าอ้างอิงเกี่ยวกับการเรียน การเรียบเรียงหนังสือประเภทนี้เป็นเชิงวิชาการ

4. หนังสือส่งเสริมการอ่าน คือ หนังสือที่จัดทำขึ้นเพื่อให้มีวัตถุประสงค์ในการ ส่งเสริมให้ผู้อ่านเกิดทักษะในการอ่าน และมีนิสัยรักการอ่านมากยิ่งขึ้น

แบบฝึกหัด เป็นสื่อการเรียนที่จัดขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติ ช่วยเสริมให้เกิด ทักษะและความแตกฉานในบทเรียน

สิ่งพิมพ์มีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีวิธีการสร้างเฉพาะตัว โดยเฉพาะการ เขียนหนังสือวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ โดยทั่วไปหมายถึงหนังสือที่มีเนื้อหาวิชาการที่ เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต การเขียนควรมีสำนวนเรียบง่ายไม่ยึดติดกับภาษาต่างประเทศเกินไป แม้ว่าจะ เป็นตำราในระดับลึก และมีความต้องการความเป็นสากลและจำเป็นต้องอิงตำราต่างประเทศก็ตาม หนังสือที่มีความรู้ที่ถูกต้อง และมีการเขียนที่ใช้ภาษาสละสลวย มีความประณีตในการจัดทำ รูปเล่ม จะได้หนังสือที่มีคุณค่าแก่ผู้ใช้หนังสือ

ตำราในสาขาวิทยาศาสตร์ มีลักษณะทั่วไปเหมือนตำราในสาขาอื่น จะต้องมีข้อ ควรคำนึงในการเขียนตำรา คือ การใช้ภาษาไทยของผู้เขียน และการใช้ศัพท์เฉพาะทาง วิทยาศาสตร์ ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะเฉพาะของสาขาวิทยาศาสตร์

3.2 ส่วนประกอบของหนังสือ

หนังสือโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ประกอบด้วย

1. ชื่อหนังสือ (Title)
2. สารบัญ (Table of content)
3. สารบัญภาพและคำย่อ
4. คำนิยม (Foreword)
5. คำนำ (Preface)
6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ส่วนที่ 2 ประกอบด้วย

1. บทนำ (Introduction)
2. เนื้อหา (Text)

ส่วนที่ 3 ประกอบด้วย

1. ภาคผนวก (Appendix)
2. บรรณานุกรม (Bibliography)

3. อภิธานศัพท์ (Glossary)

4. ครรชนี (Index)

3.3 วิธีการเขียนเอกสารทางวิชาการ

การเขียนเอกสารทางวิชาการหรือหนังสือเรียนมีวิธีการเขียนหลายรูปแบบ ถวัลย์ มาศจำรัส (2547) ได้เสนอวิธีการเขียนหนังสือเรียนดังนี้ สารระการเขียนหนังสือเรียนมาจากการวิเคราะห์หลักสูตร ซึ่งจะกำหนดเนื้อหาที่จะเรียนได้ในแต่ละระดับชั้น แต่ละช่วงชั้น ได้อย่างชัดเจน จึงทำให้ผู้เขียนหนังสือประกอบการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ สามารถกำหนดกรอบการเขียนได้จากสิ่งที่หลักสูตรกำหนดไว้ โดยอาจจะเพิ่มเติมสิ่งที่เห็นว่าเป็นประโยชน์สอดแทรกลงไปอีกเพียงเล็กน้อยให้เหมาะสมกับวัย และความต้องการของผู้เรียน

สาระและมาตรฐานการเรียนรู้เป็นตัวบ่งชี้ในการเขียนหนังสือประกอบการเรียนตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544 จะเป็นกรอบกว้าง ๆ ให้เราทราบว่ามีผู้เรียนในแต่ละช่วงชั้น ต้องเรียนรู้เรื่องอะไร ซึ่งจะเป็นเนื้อหาสาระที่สำคัญในการเขียนหนังสือประกอบการเรียน และหนังสืออ่านเพิ่มเติม

คณะวิทยากร นวจท. (2544 :9) กล่าวว่า วิธีการการเขียนเอกสารทางวิชาการ เป็นการเขียนที่มีวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ชัดเจนอยู่ในตัว การเขียนหนังสือเพื่อเป็นตำราเรียนสำหรับผู้เรียนในระดับชั้น และช่วงชั้น ตามที่ผู้เขียนกำหนดโดยมีเนื้อหาสาระสอดคล้องตามที่หลักสูตรกำหนด ดังนั้น เมื่อจะเขียนหนังสือเรียนจึงต้องเริ่มต้นตามลำดับดังนี้

1. ศึกษาหลักสูตรระดับชั้นหรือช่วงชั้นที่เราจะเขียน มีสาระการเรียนรู้ในเรื่องใดบ้าง โดยศึกษาเอกสารดังต่อไปนี้

1.1 หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544

1.2 หลักสูตรสถานศึกษา

1.3 มาตรฐานและสาระการเรียนรู้ใน 8 กลุ่มสาระการเรียนรู้ และกิจกรรม

พัฒนาผู้เรียน

1.4 ผังมโนทัศน์ และสาระการเรียนรู้แกนกลาง

1.5 เอกสารประกอบหลักสูตรสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544

2. เอกสารทั้ง 5 ชุด ดังกล่าวได้กำหนดสาระรายละเอียดไว้อย่างสมบูรณ์ เมื่อจะเขียนหนังสือเรื่องอะไรก็เลือกหัวข้อเรื่อง และสาระที่จะเขียนเรียงลำดับความยากง่ายเหมาะสมกับระดับชั้นและช่วงชั้น โดยมีสาระครบถ้วนตามที่หลักสูตรกำหนด

3. กำหนดเนื้อหาสาระที่เหมาะสมกับช่วงชั้น แบ่งเนื้อหาเป็นบทโดยการวิเคราะห์ความยากง่ายที่เหมาะสมกับระดับชั้นและช่วงชั้น

4. การรวบรวมข้อมูล คือ การรวบรวมวัตถุดิบ เนื้อหาสาระ และองค์ความรู้ต่างๆ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยหากหลายแหล่ง
5. การจัดทำรอบการเขียนหนังสือเรียน โดยมีกรอบที่ชัดเจน และกะทัดรัด
6. การเขียนหนังสือรูปแบบการเขียนจะมีรูปแบบมาตรฐาน ได้แก่ สาระสำคัญ ผลการเรียนรู้ เนื้อหาสาระ สรุป กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้ กิจกรรมคำถาม
7. การอ้างอิง ในการเขียนหนังสือมีการอ้างอิงหลายรูปแบบ เช่น การเขียนเชิงอรรถ การเขียนบรรณานุกรม และเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ

ข้อจำกัดของหนังสือ

แม้ว่าหนังสือจะเป็นประโยชน์มากทางการศึกษา เพราะช่วยให้ผู้เรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง มีความประหยัด สร้างประสบการณ์พื้นฐานทางการศึกษา แต่หนังสือก็มีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา ดังนี้

1. หนังสือสามารถสื่อสารได้เฉพาะผู้ที่อ่านหนังสือออก และผู้เขียนต้องมีความสามารถในการใช้สำนวนภาษาที่สื่อสารให้ผู้อ่านเข้าใจ ดีความได้ตามที่ต้องการ หากผู้อ่านอ่านแล้วไม่เข้าใจก็ไม่เกิดประโยชน์
2. หนังสือไม่สามารถสื่อให้ทันต่อเหตุการณ์และเวลาที่กำลังดำเนินอยู่ ไม่เหมือนวิทยุ โทรทัศน์ และอินเทอร์เน็ต ที่สามารถเกาะสถานการณ์ได้ตลอดเวลาที่เปลี่ยนแปลง
3. หนังสือมีข้อจำกัดในเรื่องระบบการพิมพ์ เพราะการพิมพ์แต่ละระบบมีค่าใช้จ่ายแตกต่างกัน และมีความเหมาะสมกับลักษณะงานตามจำนวนและคุณภาพที่ต้องการแตกต่างกัน
4. รูปแบบเนื้อหาสาระที่จะนำเสนอในหนังสือเพื่อให้ผู้อ่านสนใจค่อนข้างยาก
5. บุคคลทั่วไปไม่สามารถมีส่วนร่วมกับสื่อสิ่งพิมพ์ได้ตามต้องการ และไม่สามารถแสดงความคิดเห็นและโต้ตอบได้

3.4. กระบวนการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์เป็นหนังสือประเภทหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะต่างจากหนังสือทั่วไป ในการศึกษาเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในที่นี้จะกล่าวถึงหัวข้อต่อไปนี้

- 2.2.1 ความหมายและธรรมชาติของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
- 2.2.2 รูปแบบของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
- 2.2.3 ข้อดีและข้อจำกัดของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
- 2.2.4 การใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในการเรียนการสอน
- 2.2.5 การผลิตหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

ในที่นี้จะได้อธิบายถึงรายละเอียดของแต่ละหัวข้อดังนี้

3.3.1 ความหมายและธรรมชาติของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

1) ความหมายของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง การนำหนังสือหนึ่งเล่มหรือหลายเล่ม มาออกแบบใหม่ให้อยู่ในรูปของอิเล็กทรอนิกส์โดยปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของตัวอักษร , ภาพนิ่ง , ภาพเคลื่อนไหว , เสียง , ลักษณะโต้ตอบกันได้ (Interactive) และการเชื่อมโยงแบบไฮเปอร์เท็กซ์ สามารถทำบุ๊คมาร์กและหมายเหตุประกอบตามที่ผู้ใช้ต้องการได้ โดยอาศัยหนังสือเล่มเป็นหลัก

2) ธรรมชาติของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ มีโครงสร้างเหมือน ๆ กับหนังสือทั่วไป โดยจะประกอบด้วยปกหน้า ปกหลัง สารบัญ เนื้อหาภายในเล่ม และดัชนี เนื้อหาภายในเล่มอาจจะแบ่งออกเป็นบท ๆ แต่ละบทจะมีจำนวนหน้ามากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละหน้าประกอบด้วยตัวอักษร , ภาพนิ่ง , ภาพเคลื่อนไหว , เสียง (อาจจะแสดงทันทีหรือปรากฏเป็นปุ่มไว้ให้กดเรียกได้) มีการพลิกหน้าได้ โดยไม่ได้มีการพลิกหน้าจริง หากเป็นไปในลักษณะซ้อนทับกัน สิ่งที่แตกต่างกันจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์กับหนังสือทั่วไปที่เห็นอย่างเด่นชัดคือ การมีปฏิสัมพันธ์ และความเป็นพลวัต (Barker , 1966 :14)

3.3.2 รูปแบบของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

1) รูปแบบตามลักษณะการเข้าถึงข้อมูลและการอ่าน (Collis , 1991 :356) เป็นการแบ่งประเภทของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ได้ชัดเจนมาก แบ่งออกเป็น

(1) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์อ้างอิง (Automated Reference Book) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบอ้างอิงใช้ในลักษณะการสุ่ม (Random) ผู้อ่านจะค้นหาคำที่ต้องการทราบและอ่านจบเนื้อหา นั้น จากนั้นจึงค้นหาที่ต้องการทราบต่อไป หนังสืออิเล็กทรอนิกส์อ้างอิงสามารถดูภาพจากฐานข้อมูลเอนไซโคลปีเดีย จัดเป็นแหล่งทรัพยากรซึ่งผู้ใช้สามารถค้นหาหรือเลือกอ่านหนังสือที่มีอยู่ได้ง่ายมาก

(2) หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ (Automated Textbook Book) หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ มีลักษณะการเข้าถึงข้อมูลส่วนใหญ่แบบอ่านไปตามลำดับ (Sequence) จากนั้นก็จะมี การอ่านเนื้อหาเหล่านั้นไปเรื่อย ๆ จนจบบท และอาจอ่านบทต่อไปตามลำดับหรือเลือกหัวข้อใหม่ตามความสนใจของผู้อ่าน หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์จะแตกต่างจากหนังสืออ้างอิงอิเล็กทรอนิกส์ รูปแบบนี้จะเป็นตัวเสริมค่านิยมของหนังสือ โดยขยายความรู้ความเข้าใจให้กับผู้เรียนทางอ้อมโดยใช้สื่อหลากหลายชนิด

2) รูปแบบของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบ่งตามช่องทางของการสื่อสาร (Barker , 1991 , quoted in Baker , 1992 : 140-141) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ช่องทางการสื่อสารทางเดียว หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้อ่านสามารถรับสารได้เพียงช่องทางเดียว เช่น ใช้ตาดูอย่างเดียว ได้แก่ หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ (Text book) ,หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ภาพนิ่ง (Picture book)

(2) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ช่องทางการสื่อสารหลายทาง เป็นหนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้อ่านสามารถได้รับข่าวสารหลายช่องทาง ได้แก่ หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์สื่อประสม (Multimedia book) ,หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์รวมสื่อ (Poly Media Books) , หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ไฮเปอร์มีเดีย (Hypermedia Books) เป็นต้น

3) รูปแบบของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบ่งตามหน้าที่ แบ่งได้ 4 รูปแบบ ดังนี้

(1) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์สำหรับเก็บเอกสารสำคัญ (Archival) จะมีที่เก็บข้อมูลข่าวสารขนาดใหญ่ในรูปแบบของฐานข้อมูล วิธีใช้งานผู้ใช้ขั้นปลายสามารถใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ สารานุกรมโกรเลียร์ (Grolier Encyclopedia), สารานุกรมมัลติมีเดียคอมพิวตัน (Compton's Multimedia Encyclopedia) เป็นต้น

(2) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ให้ข่าวสารความรู้ (Information) จะมีลักษณะคาบเกี่ยวกับหนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์รูปแบบแรก แต่ข่าวสารจะกินความแคบกว่าแบบแรก และมีลักษณะเฉพาะมากกว่า มีความสัมพันธ์กับหัวข้อเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะ ได้แก่ หนังสือเรียนแพทยออกซ์ฟอร์ดบนซีดีรอม เป็นต้น

(3) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อการสอน (Instructional) เป็นหนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพ และมีประโยชน์อย่างมากในการถ่ายทอดความรู้ความชำนาญ เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้และการอบรม ผู้เรียนจะได้รับความรู้และทราบความก้าวหน้าในการเรียนของตน หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทนี้บางส่วนจะมีการประเมินและประยุกต์ตามรูปแบบการเรียนรู้ของแต่ละคน จะมีการนำเสนอให้เหมาะสมกับผู้เรียนแต่ละคน ได้แก่ หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการออกแบบหน้าจอสำหรับคอมพิวเตอร์พื้นฐานการอบรม (Computer – Based Training) เป็นต้น

(4) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบบตั้งคำถาม (Interogational) หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์เพื่อมีจุดมุ่งหมายเพื่อการทดสอบ ,สอบย่อย และประเมินผลกิจกรรม โดยวัดจากความรู้ที่ได้จากการศึกษาหัวข้อที่เกี่ยวข้อง

4) รูปแบบของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์แบ่งตามชนิดของข้อมูลข่าวสารและเครื่องอำนวยความสะดวก สามารถแบ่งได้ 10 ประเภท ดังนี้

(1) หนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์ (Text book) ในระยะแรกจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงมีโครงสร้างเป็นตัวอักษร ต่อมาจะมีลักษณะที่เป็นมัลติมีเดียมากขึ้น โดยใช้คุณสมบัติของไฮเปอร์เท็กซ์ในการนำเสนอ

(2) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ภาพนิ่ง (Static Picture Books) ประกอบด้วยภาพนิ่งหลาย ๆ ชนิดมารวมกัน ภาพแต่ละภาพจะมีคุณภาพที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของงาน

(3) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ภาพเคลื่อนไหว (Moving Picture Books) มีโครงสร้างจากภาพเคลื่อนไหวสั้น ๆ (Animation Clips) หรือภาพวิดีโอ (Motion Video Segment) หรือทั้งสองอย่างรวมกัน

(4) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์หลายภาษา (Talking Books) มีลักษณะเป็นเนื้อหาประกอบคำบรรยาย เพื่อให้ง่ายต่อการรับรู้ของผู้อ่าน

(5) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์สื่อประสม (Multimedia Books) เป็นการรวมช่องทางการสื่อสารสองทางหรือมากกว่านั้นเข้าด้วยกันเพื่อเข้ารหัสข่าวสาร เป็นการรวมตัวอักษร ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหวมารวมกันไว้ตามโครงสร้างแบบเส้นตรง เมื่อผลิตเสร็จสื่อจะออกมาในรูปของสื่อเดียว

(6) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์รวมสื่อ (Poly Media Books) มีลักษณะตรงกันข้ามกับหนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์สื่อประสม โดยใช้การรวมสื่อที่แตกต่างกัน

(7) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ไฮเปอร์มีเดีย (Hypermedia book) มีลักษณะคล้ายกับหนังสือเรียนอิเล็กทรอนิกส์สื่อประสม คือใช้การสื่อสารหลายช่องทาง โดยจะมีโครงสร้างแบบใยแมงมุม

(8) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ผู้เชี่ยวชาญ (Intelligent Electronic Books) มีการบรรจุเทคนิคการใช้ปัญญาเทียม เช่น ระบบผู้เชี่ยวชาญ และระบบเครือข่ายประสาท ซึ่งสามารถทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และประยุกต์ให้เข้ากับพฤติกรรมของผู้เรียนแต่ละคนที่มีความแตกต่างกัน

(9) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์สื่อทางไกล (Telemedia Electronic Books) ต้องอาศัยการสื่อสารทางไกลช่วยในการนำเสนอเนื้อหา เช่น การส่งข้อความทางอีเมลล์ ห้องสมุดดิจิทัล

(10) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ไซเบอร์บุ๊ก (Cyberbook Electronic Books) ใช้เทคนิคของความจริงเสมือน (Virtual Reality) ในการสร้างสถานการณ์จำลองเพื่อให้ผู้เรียนรู้สึกเหมือนได้เข้าไปอยู่ในประสบการณ์จริง

3.3.3 ข้อดีและข้อจำกัดของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

1) ข้อดีของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ มีดังต่อไปนี้

- (1) เป็นสื่อที่รวมเอาจุดเด่นของสื่อแบบต่าง ๆ มารวมอยู่ในสื่อตัวเดียว คือสามารถแสดง ภาพ แสง เสียง ภาพเคลื่อนไหว และการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้
- (2) ช่วยให้ผู้เรียนเกิดพัฒนาการเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาวิชาได้เร็วขึ้น
- (3) ครูสามารถใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในการชักจูงผู้เรียนในการอ่าน , การเขียน การฟัง และการพูดได้
- (4) มีความสามารถในการออนไลน์ผ่านเครือข่าย และเชื่อมโยงไปสู่ โสมเพจ และเว็บไซต์ต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถอ้างอิงในเชิงวิชาการได้
- (5) หากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือ อินทราเน็ต จะทำให้การกระจายสื่อทำได้อย่างรวดเร็ว และกว้างขวางกว่าสื่อที่อยู่ในรูปของ สิ่งพิมพ์
- (6) สนับสนุนการเรียนการสอนแบบห้องเรียนเสมือน ห้องสมุดเสมือน และห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์
- (7) มีลักษณะไม่ตายตัว สามารถแก้ไขปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ ตลอดเวลา อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงไปยังข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ความสามารถของไฮเปอร์เท็กซ์
- (8) การพิมพ์ทำได้รวดเร็วกว่าแบบใช้กระดาษ สามารถทำสำเนาได้ เท่าที่ต้องการ ประหยัดวัสดุในการสร้างสื่อ
- (9) ในการสอนหรืออบรมนอกสถานที่ การใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ จะช่วยทำให้เกิดความคล่องตัวดีขึ้น
- (10) มีความทนทาน และสะดวกต่อการเก็บรักษา ลดปัญหาการจัดเก็บ เอกสาร
- (11) ช่วยให้นักวิชาการและนักเขียนสามารถแพร่ผลงานเขียนได้อย่าง รวดเร็ว

2) ข้อจำกัดของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ถึงแม้ว่าหนังสืออิเล็กทรอนิกส์จะมี ข้อดีสนับสนุนมากมาย ด้านการเรียนการสอน แต่ยังมีข้อจำกัดด้วยดังต่อไปนี้

- (1) คนไทยส่วนใหญ่ยังชินกับการใช้สื่อกระดาษ อีกทั้งหนังสือ อิเล็กทรอนิกส์ยังไม่สามารถใช้งานได้ง่ายเมื่อเทียบกับสื่อสิ่งพิมพ์ และความสะดวกในการอ่านก็ น้อยกว่า

(2) หากโปรแกรมสื่อมีขนาดใหญ่มาก ๆ จะทำให้การเปลี่ยนหน้าจอ
ล่าช้า

(3) การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพ ผู้สร้างต้องมีความรู้
และความชำนาญในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการสร้างสื่อที่ดีพอสมควร

(4) ผู้ใช้สื่ออาจไม่ใช่ผู้สร้างสื่อ การปรับปรุงสื่อจึงทำได้ยาก

(5) ใช้เวลาในการออกแบบนาน เพราะต้องใช้ทักษะอย่างดี เพื่อให้ได้
สื่อที่มีคุณภาพ

3.3.4 การใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในการเรียนการสอน

การใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในการเรียนการสอน นอกจากผู้เรียนจะได้รับ
ความรู้จากตัวหนังสือแล้ว ยังสามารถหาความรู้เพิ่มเติมจากเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อกระตุ้นผู้เรียน
ให้เกิดการค้นคว้า ซึ่งเหมาะสมกับผู้เรียนทุกระดับ

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์เป็นสื่อที่ทันสมัยและมีคุณค่า แต่ต้องผ่านการ
จัดระบบเป็นอย่างดี จะช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียน ครูสามารถนำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์มา
ใช้ในการเรียนการสอนได้หลายรูปแบบ หลังจากการค้นคว้าแล้วควรมีการอภิปรายและสรุป
บทเรียน เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้ที่ถูกต้อง

3.3.5 การผลิตหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

ปัจจุบันการผลิตสื่ออิเล็กทรอนิกส์มีโปรแกรมประยุกต์หลายโปรแกรมที่
สนับสนุนการทำสื่อตัวนี้ ในการออกแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ จะต้องคำนึงถึงการเชื่อม
ประสานกับผู้อ่าน โดยยึดหลักการของหนังสือ และโครงสร้างของหน้าหนังสือในการออกแบบ
แต่ละหน้าจะต้องคำนึงถึง ยุทธศาสตร์การนำเสนอ ยุทธศาสตร์การเรียนรู้ การออกแบบปุ่มควบคุม
แบบฝึกหัดเพื่อกระตุ้นความสนใจ

การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพนั้นควรประกอบด้วยบุคลากร
ทั้ง 3 ฝ่าย ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา นักออกแบบสื่อ และ โปรแกรมเมอร์ โดยผู้เชี่ยวชาญด้าน
เนื้อหาจะต้องมีความรู้ในเนื้อหาวิชา และมีความรู้เกี่ยวกับลักษณะผู้เรียน นักออกแบบสื่อจะต้องมี
ความเข้าใจในหลักการเรียนรู้ในระหว่างการเรียนการสอนและ นักเขียนโปรแกรมจะต้องสามารถ
อธิบายถึงความสามารถของการทำงานของโปรแกรมได้ ก่อนผลิตสื่อต้องมีความเข้าใจตรงกัน
จากนั้นผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา นักออกแบบสื่อจะช่วยกันผลิตสตอรี่บอร์ด เพื่อส่งให้
โปรแกรมเมอร์ผลิตบทเรียนขึ้นมา เมื่อสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เสร็จแล้ว จึงมีการประเมินสื่อ
และปรับปรุงบทเรียน จากนั้นจึงนำไปทดลองใช้และแก้ไขข้อบกพร่องที่พบจนได้เป็นชิ้นงานที่
สำเร็จ

3.3.6 คนตรีกับการเรียนรู้

ในการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้รูปแบบการนำเสนอน่าสนใจ และทำให้เกิดการเรียนรู้จึงมีการแทรกเสียงประกอบและดนตรี โดยมีการรายละเอียดของการแทรกเสียงประกอบดังนี้

ณรุทธ์ สุทธิจิตต์ (พ.ศ.2542) กล่าวว่า คนตรินั้นมีคุณค่าและประโยชน์ต่อผู้ฟังทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฟังดนตรีนั้นทำให้ผู้ฟังเกิดสุนทรียภาพและพัฒนาสมองควบคู่กันไป โดยคุณค่าของคนตรีมีประโยชน์ ดังนี้

1. พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ คนตรี การฟังดนตรี สามารถสร้างเสริมจินตนาการของเด็กได้อย่างดี และการเรียนรู้ดนตรีสามารถใช้กระบวนการสร้างสรรค์ โดยการสร้างทำนอง จังหวะง่าย ๆ จนถึงการประพันธ์เพลงขั้นสูง สิ่งเหล่านี้มีกฎเกณฑ์ และต้องใช้พลังสร้างสรรค์เป็นอย่างมาก
2. พัฒนาด้านอารมณ์ ความรู้สึก คนตรี เป็น โสตศิลป์ที่ปลูกเร้าให้มนุษย์เกิดอารมณ์ต่าง ๆ เป็นผลให้เกิดพัฒนาการทางอารมณ์ ความรู้สึกได้
3. พัฒนาด้านภาษา เพลงร้อง ประกอบด้วยภาษาหลากหลาย ที่ได้รับการประพันธ์ไว้อย่าง ไพเราะ การเรียนรู้เพลง ด้วยการขับร้อง เป็นการช่วยพัฒนาการทางภาษาอย่างได้ผล
4. พัฒนาด้านร่างกาย การสนองตอบต่อดนตรี ด้วยการเคลื่อนไหวลักษณะต่าง ๆ เป็นกิจกรรมที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเด็ก ซึ่งมีผลโดยตรงต่อพัฒนาการด้านร่างกาย
5. พัฒนาด้านปัญญา คนตรี เป็นเรื่องของวิชาการที่ลึกซึ้งมาก มีการศึกษาจนถึงระดับปริญญาเอก การเรียนดนตรีอย่างถูกแบบแผน จึงเป็นการพัฒนาด้านปัญญาอย่างลึกซึ้งเช่นเดียวกับวิชาการด้านอื่น ๆ
6. พัฒนาด้านความเป็นเอกบุคลิก การแสดงออกทางดนตรี หรือการสนองตอบต่อดนตรี เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องโดยตรง กับความคิดการกระทำของแต่ละบุคคล การเรียนดนตรี จึงเป็นการพัฒนา ความเป็นเอกบุคลิก อย่างถึงแก่น นอกจากนี้ การเล่นดนตรีเป็นวง สามารถช่วยพัฒนาความเป็นองค์กร ที่มีเอกลักษณ์ด้วย
7. พัฒนาด้านสุนทรีย์ คนตรี เป็นเรื่องของสุนทรีย์ของเสียง การเรียนรู้ และมีประสบการณ์ทางดนตรีที่ดี ประทับใจ ทำให้ผู้ศึกษา เกิดพัฒนาการทางสุนทรีย์ได้เป็นอย่างดี ทำให้ชีวิตของเด็กสมบูรณ์ขึ้น เมื่อเป็นผู้ใหญ่ต่อไป ในวันข้างหน้า

การฟังดนตรี สามารถช่วยสร้างจินตนาการ และพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ได้อย่างไร้ขอบเขตกล่าวได้ว่า คนตรี เป็นส่วนหนึ่งของเด็ก ทำให้เด็กมีการพัฒนาด้านสมอง ช่วยให้

เด็กสามารถคิดได้อย่างมีเหตุผล และคิดอย่างสร้างสรรค์ ช่วยพัฒนาด้านอารมณ์ ทำให้เด็กเข้าใจ และเข้าถึงความรู้สึกของตน ช่วยพัฒนาความรู้ความสามารถทางกาย สร้างเสริมพัฒนาการทางสังคม ช่วยให้เข้าใจวัฒนธรรม และอารยธรรมของมนุษย์ และที่สำคัญยิ่ง คือ ดนตรีเปิดโลกของเด็กให้เห็นความงดงามของโสตศิลป์ ทำให้มนุษย์เห็นคุณค่าของมนุษย์ และช่วยให้มนุษย์ชาติดำรงอยู่

ดนตรีสำหรับเด็ก

ดนตรีทำให้เด็กมีการสนองตอบต่างกันออกไป ทำนอง และจังหวะ เป็นองค์ประกอบสำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อการสนองตอบของเด็ก ดนตรีที่มีจังหวะกระชับ รวดเร็ว ทำนองเร้าใจ ทำให้นักเรียนสนใจ ครึกครื้น ดนตรีที่มีจังหวะช้า ทำนองงดงามเด่นชัด ทำให้นักเรียนสงบ แต่อาจจะไม่ทำให้นักเรียนสนใจในระยะแรก เนื่องจากต้องใช้สมาธิ หรือความพร้อมในด้านการฟังมาก เพลงร้อง ควรมีเนื้อหาของเพลงใกล้ตัว การร้องชัดเจน ดนตรีบรรเลง สร้างจินตนาการได้ดีกว่า ดนตรีที่มีการร้อง

ดนตรีที่มีองค์ประกอบสมบูรณ์แบบ เกิดจากการสร้างสรรค์ของมนุษย์ ด้วยความรัก ความพยายาม ย่อมมีคุณค่าในตัวเอง และเป็นสิ่งที่มนุษย์ด้วยกันเองควรจะได้ชื่นชม (ณรุทธ์ สุทธิจิตต์, 2542) การสัมผัสกับดนตรี ควรเริ่มมาแต่เด็ก เพื่อสร้างเสริม และพัฒนาความเข้าใจ ความซาบซึ้งอย่างแท้จริง นอกเหนือจากความงดงามที่มนุษย์จะได้จากดนตรีแล้ว ความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนทักษะ ที่ได้จากการฝึกฝนดนตรีมาตั้งแต่เด็ก มีผลในการสร้างเสริมความสามารถ ทั้งทางด้านสติปัญญา ความรู้สึก และพัฒนาการด้านอื่นๆ ด้วย การเรียนดนตรี จึงมีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่อเด็ก ซึ่งจะเติบโตเป็นผู้ใหญ่ที่มีคุณภาพของประเทศ และสังคมโลกต่อไป

จากผลการวิจัยทำให้ทราบว่า สมองมีหน้าที่ในการคิด และควบคุมการทำงานของร่างกาย สมองแบ่งเป็นสองส่วน คือ ซีกซ้าย และซีกขวา ซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกัน แต่ทำงานร่วมกัน จากการศึกษาทราบว่า สมองซีกขวา ทำหน้าที่โดยตรง เกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ ดนตรีมีอิทธิพลต่อการรับรู้ ดนตรีเบา ๆ สบาย ๆ มีโครงสร้างซับซ้อน ทำให้การรับรู้สิ่งต่าง ๆ ง่ายขึ้น การสร้างสรรค์เกิดขึ้นได้ดีในสภาพเช่นนี้ ดนตรีมีส่วนช่วยพัฒนาเขาวีปัญญาในเด็ก จากการศึกษาทดลองของ Dr.Rauscher ในเด็กระหว่างอายุ 3-4 ปี สองกลุ่มที่ประกอบกิจกรรมดนตรี และไม่มีกิจกรรมดนตรี พบว่า เด็กกลุ่มแรก มีการรับรู้ของเขาวีปัญญา เรื่องที่ว่าง ได้ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด หลังจากทำการทดลองสี่เดือน (ณรุทธ์ สุทธิจิตต์ (2542) นอกจากนั้นในการศึกษาท่วงทำนอง largo และ adagio ของดนตรีสมัย Baroque มีจังหวะที่ใกล้เคียงกับการเต้นของหัวใจหรือประมาณ 60 ครั้งต่อ 1 นาที ทำให้เกิดความรู้สึกสงบ ผ่อนคลายของร่างกายแต่กระตุ้นการทำงานของสมองและช่วยในด้านของความทรงจำ

Christine Ward and Jan Daley (2549) กล่าวว่าดนตรีของนักประพันธ์ในยุค *Baroque* อื่น ๆ ช่วยลดความเครียด ช่วยในการกำหนดจุดมุ่งหมาย ช่วยให้ความคิดชัดเจน ได้แก่

1. ดนตรีของ *Vivaldi* ที่ช่วยให้เกิดแนวคิด ช่วยกระตุ้นความคิด
2. ดนตรีของ *Handel* ที่ช่วยในการคิดเชิงบวก ช่วยในการทำงานเป็นทีม ความคิดเกิดขึ้นเป็นรูปธรรม
3. ดนตรีของ *Bach* ช่วยให้สามารถเข้าใจในสิ่งที่ซับซ้อนได้ง่าย ทำให้คิดได้อย่างชัดเจน

ดนตรียุคคลาสสิกและยุค โรแมนติกสามารถกระตุ้นสภาวะของร่างกายและสมองในการทำงานและการเรียนรู้ได้อย่างหลากหลาย จากผลการวิจัยพบว่าท่วงทำนองที่สลับซับซ้อนในดนตรีของ Mozart ส่งผลกระทบต่อสภาวะทางสมองและร่างกายของผู้ฟัง ดนตรีของท่านช่วยในการเก็บรวบรวมและจัดหมวดหมู่สาระข้อมูล ช่วยในการคิดเชิงตรรกะ การคิดอย่างเป็นเหตุเป็นผลในเชิงคณิตศาสตร์ การเขียน การคำนวณและการออกแบบ ดนตรียุคคลาสสิกและยุค โรแมนติก ได้แก่

1. ดนตรีของ *Mozart* ที่ช่วยในการจัดเก็บและจัดหมวดหมู่ข้อมูล ช่วยในการทำงานอย่างเป็นระบบและช่วยในการสร้างความเชื่อมั่น ดนตรีของ *Mozart* ที่เป็นทีกล่าวขวัญอย่างยิ่ง ได้แก่ *K448* เหมาะที่จะใช้เป็นแบคราวด์ในการทำงาน
2. ดนตรีของ *Beethoven* เป็นดนตรีที่ช่วยในการควบคุมตนเอง สร้างความเชื่อมั่นในตนเอง ให้พลัง ความกล้าหาญ และผลสัมฤทธิ์
3. ดนตรีของ *Brahms* ช่วยในการนิยาม และมุ่งเน้นในเรื่องที่เป็นพื้นฐาน ได้แก่
4. ดนตรีของ *Haydn* สร้างความกระหายใคร่รู้ในการค้นคว้าสำรวจ ช่วยในเรื่องของการวางแผนในทางบวก
5. ดนตรีของ *Mendelssohn* ช่วยในเรื่องของความกล้าหาญ ความคิดก้าวหน้า ช่วยในเรื่องของจินตภาพและความทรงจำ
6. ดนตรีของ *Tchaikovsky* เพื่อการเพิ่มพูนจินตนาการ เพื่อความรักในการเรียนรู้และการสื่อสาร (Christine Ward and Jan Daley ,2549)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยงานวิจัยของผู้วิจัยหลายท่านดังต่อไปนี้

ทิพย์มณฑา สดชื่น (2544) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่องการถ่ายภาพเบื้องต้น กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเป็นนักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ผลการวิจัยดังนี้ หนังสืออิเล็กทรอนิกส์เรื่องการถ่ายภาพเบื้องต้นมีประสิทธิภาพ 87.5/83.44 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาหลังเรียนด้วยหนังสืออิเล็กทรอนิกส์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .01 และได้สรุป ข้อดีของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ มีดังนี้

1. เป็นสื่อที่รวมเอาจุดเด่นของสื่อแบบต่างๆ มารวมอยู่ในสื่อตัวเดียว คือ สามารถแสดงภาพแสง เสียง ภาพเคลื่อนไหว และการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้
2. ช่วยให้ผู้เรียนเกิดพัฒนาการเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาวิชาได้เร็วขึ้น
3. ครูสามารถใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในการชักจูงผู้เรียนในการอ่าน การเขียน การฟัง และการพูดได้
4. มีความสามารถในการออนไลน์ผ่านเครือข่าย และเชื่อมโยงไปสู่โฮมเพจ และเว็บไซต์ต่างๆอีกทั้งยังอ้างอิงในทางวิชาการได้
5. หากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรืออินทราเน็ตจะทำให้การกระจายสื่อทำได้อย่างรวดเร็ว และกว้างขวางกว่าสื่อที่อยู่ในรูปสิ่งพิมพ์
6. สนับสนุนการเรียนการสอนแบบห้องเรียนเสมือน ห้องสมุดเสมือนและห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์
7. มีลักษณะไม่ตายตัวสามารถแก้ไขปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงไปสู่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้โดยใช้ความสามารถของไฮเปอร์เท็กซ์
8. ในการสอนหรืออบรมนอกสถานที่ การใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์จะช่วยให้เกิดความคล่องตัวยิ่งขึ้น เนื่องจากสื่อการสอนสามารถสร้างเก็บไว้ในแผ่นซีดีได้ไม่ต้องหอบหิ้วสื่อ ซึ่งมีจำนวนมาก
9. การพิมพ์ทำได้รวดเร็วกว่าการใช้กระดาษ สามารถทำสำเนาได้เท่าที่ต้องการ ประหยัดวัสดุในการสร้างสื่อ อีกทั้งช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

10. มีความทนทาน และทนทานต่อการเก็บบำรุงรักษา ลดปัญหาการจัดเก็บเอกสาร ย้อนหลังซึ่งต้องใช้เนื้อที่หรือบริเวณกว้างในการจัดเก็บ สามารถรักษาหนังสือหายากและต้นฉบับ เขียนไม่ให้เกิดคุณภาพ

11. ช่วยนักวิชาการและนักเขียนสามารถเผยแพร่ผลงานเขียนได้อย่างรวดเร็ว

ทิพย์มณฑา สดชื่น (2544, หน้า19) ได้สรุปข้อจำกัดของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ มีดังนี้

1. คนไทยส่วนใหญ่ยังคงชินอยู่กับสื่อที่อยู่ในรูปกระดาษมากกว่า
2. หากโปรแกรมสื่อมีขนาดไฟล์ใหญ่มากๆ จะทำให้การเปลี่ยนหน้าจอมีความล่าช้า
3. การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีนั้น ผู้สร้างต้องมีความรู้

และความชำนาญในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการสร้างสื่อดีพอสมควร

4. ผู้ใช้สื่ออาจจะไม่ใช่ผู้สร้างสื่อ ฉะนั้นการปรับปรุงสื่อจึงทำได้ยากหากผู้สอนไม่มีความรู้ด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5. ใช้เวลาในการออกแบบมาก เพราะต้องใช้ทักษะในการออกแบบเป็นอย่างดีเพื่อให้ได้สื่อที่มีคุณภาพ

เพ็ญญา พัทธชนม์ (2544) ได้ทำการวิจัยการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง กราฟิกเบื้องต้น กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผลการวิจัย พบว่า หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด (80/80) และสูงกว่าเกณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

เพ็ญญา พัทธชนม์ (2544) กล่าวว่า ตั้งแต่ปี 1990 บาร์คเกอร์และกิลเลอร์ (Barker and Giller, 1992, quoted in Barker, 1992: 144-147) ได้มีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับรูปร่างหน้าตาของการผลิตและการใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นประโยชน์ เพื่อทดลองและกำหนดแนวทางในการออกแบบและผลิตหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจากการวิจัยพบว่า การออกแบบหน้าจอที่ดีประกอบด้วย การออกแบบหน้าจอ, การใช้สี, พื้นที่ฟังก์ชัน, การใช้ตัวอักษร, การใช้ภาพ, การออกแบบไอคอน, การใช้วินโดว์และการใช้เมนู, เทคนิคการปฏิสัมพันธ์, กรณศึกษาและแบบฝึกหัดการออกแบบ รวมทั้งแบบทดสอบย่อยและการประเมินความเข้าใจของผู้อ่าน

การออกแบบดังกล่าวนี้มีความสนใจและน่าตื่นเต้นในการเผยแพร่เพื่อเป็นทรัพยากรการสอน เนื่องจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์มีความสำคัญในบริบทของการศึกษาระบบเปิดและการศึกษาทางไกล เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น

บอนด์และนิเกล (Bond and Nigel, 1994, อ้างถึงใน เพ็ญญา พัทธชนม์, 2544 : 43) ได้ร่วมมือกับดร.ชาลส์วิจัยหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ง่ายขึ้น และสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ สาเหตุที่พวกเขาสนใจทำเรื่องนี้เกิดจาก

เหตุผล 2 ประการคือ มีความเชื่อว่าวิธีการที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในปัจจุบันนี้ไม่ใช่วิธีการที่ดีที่สุด และเชื่อว่าคอมพิวเตอร์เป็นสื่อที่มีเสน่ห์ สมควรนำมาใช้เพื่อการเรียนรู้ สามารถนำไปใช้ได้หลายรูปแบบ ผู้สอนบางคนจะใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ควบคู่ไปกับหนังสือเล่มเพื่อการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมที่สมบูรณ์ บางคนยังให้ผู้เรียนเรียนปกติ แต่จะมีการนำเสนอตรงส่วนกราฟิกจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ และในบางคนใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์กับบทเรียนที่ยากแก่การเข้าใจ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้มากขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2550 โรงเรียนคาราวินทาลัย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัยดังรายละเอียดที่จะเสนอตามลำดับ คือ ประชากร กลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การสร้างเครื่องมือการวิจัย วิธีเก็บรวบรวมข้อมูล วิธีดำเนินการวิจัย และการวิเคราะห์ข้อมูล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2550 โรงเรียนคาราวินทาลัย
จ.เชียงใหม่ จำนวน 146 คน

ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและสื่ออิเล็กทรอนิกส์ จ.เชียงใหม่

1.2 กลุ่มตัวอย่าง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2550 โรงเรียนคาราวินทาลัย
จ.เชียงใหม่ จำนวน 49 คน โดยการเลือกแบบเจาะจง

ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและสื่ออิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

2.1 หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบบนพื้นฐานของหนังสือเล่ม และสื่อมัลติมีเดีย จำนวน 3 บท คือ บทที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการหายใจระดับเซลล์ บทที่ 2 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน และบทที่ 3 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

2.2 แบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและนักเรียนเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์

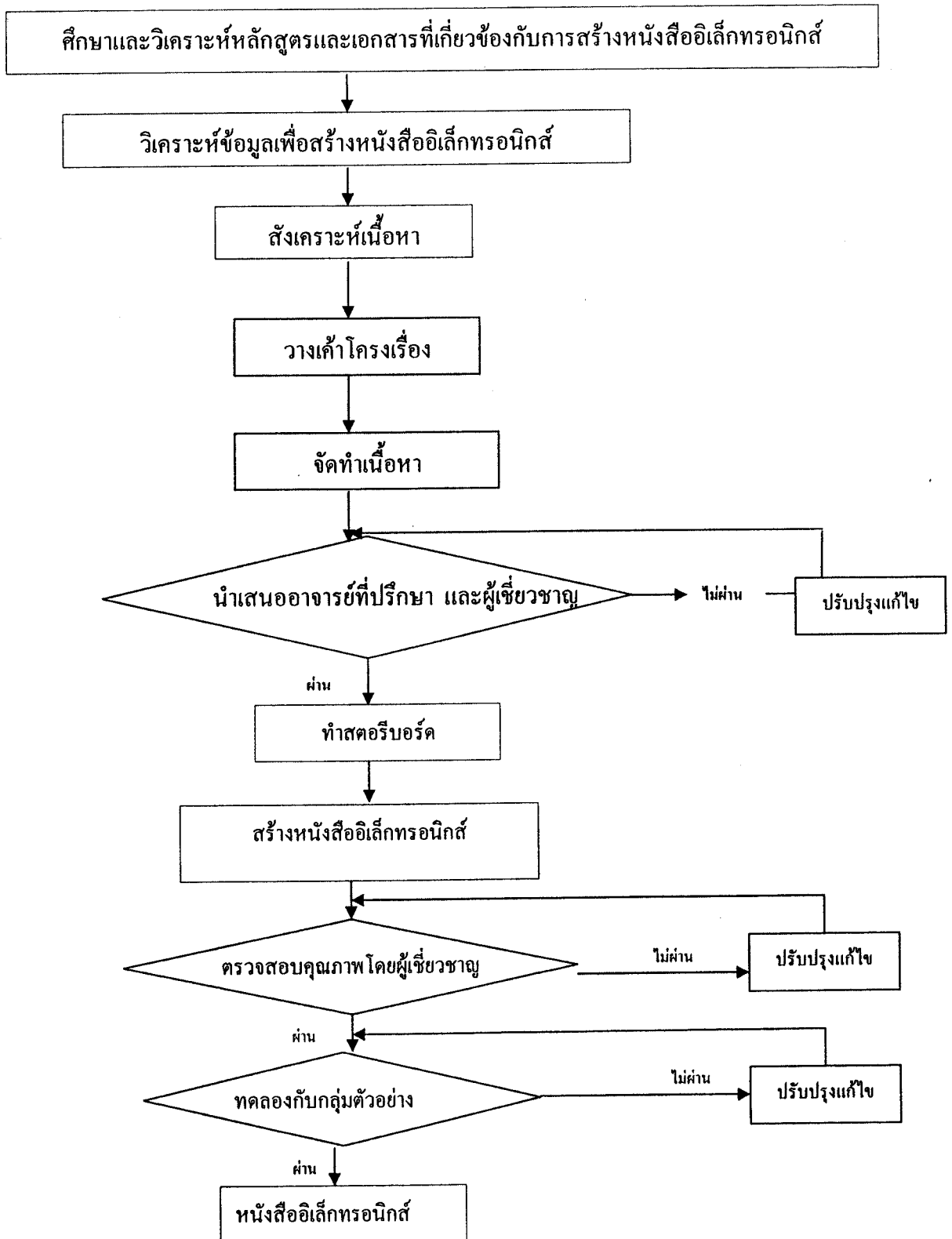
3. การสร้างเครื่องมือในการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยเรื่อง การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีเครื่องมือดังนี้

3.1 การจัดทำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

3.2 การสร้างแบบวัดความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและนักเรียนเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์

1. การจัดทำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ มีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4

การจัดทำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ประกอบด้วยขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้

- 1.1 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 1.2 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างเนื้อหาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
 - 1.3 สร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
 - 1.4 การหาคุณภาพหนังสือ โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา
 - 1.5 การหาคุณภาพของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์โดยผู้เชี่ยวชาญ
- ดังมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

- 1) วิเคราะห์หลักสูตรสถานศึกษาและหลักสูตรแกนกลาง วิชาชีววิทยา กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ช่วงชั้นที่ 4
- 2) ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสือ
- 3) ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
- 4) ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์
- 5) ศึกษาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการเรียนการสอนวิชาชีววิทยา ของครูและนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 พร้อมทั้งวางแผนเก็บข้อมูล

3.1.2 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างเนื้อหาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

- 1) ข้อมูลจากหัวข้อ 1.1 มาวิเคราะห์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับจุดมุ่งหมาย เนื้อหารูปแบบการนำเสนอและภาพหรือสื่อประกอบการเขียนหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
- 2) ผู้วิจัยนำข้อมูลที่วิเคราะห์มาสังเคราะห์เรียบเรียงตามหัวข้อย่อย โดยมีองค์ประกอบ ดังนี้

(1) กำหนดจุดมุ่งหมายของการนำเสนอเนื้อหา หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยศึกษาจาก พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และหลักสูตรสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2542 และนำไปกำหนดจุดมุ่งหมายของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

(2) วางโครงเรื่องเนื้อหา โดยจัดลำดับตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ แบ่งเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

ก. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการหายใจระดับเซลล์

ข. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

ก) การสลายกลูโคส

(ก) ไกลโคไลซิส (Glycolysis pathway)

(ข) การสร้างเอซิติลโคเอน ไชม์เอ

(ค) วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle)

(ง) ระบบถ่ายทอคือเล็กตรอน

ข) การสลายไขมัน

ค) การสลายโปรตีน

ค. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

(3) กำหนดรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาโดยใช้อ็อิเล็กทรอนิกส์ ในรูปแบบของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย เนื้อหา ภาพประกอบ ภาพเคลื่อนไหว คำถามก่อนบทเรียน คำถามหลังบทเรียน กิจกรรม แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม นำเสนอในรูปแบบที่ง่ายต่อการเข้าใจ ผู้เรียนรู้สึกสนุกและเหมือนเป็นส่วนหนึ่งของบทเรียน ทำให้ได้รับความรู้ที่ยั่งยืน และสามารถนำไปใช้ได้จริงต่อไป

(4) กำหนดภาพประกอบที่เหมาะสมกับเนื้อหา ทั้งภาพประกอบธรรมดา และภาพประกอบที่เคลื่อนไหว

(5) กำหนดเนื้อหาสาระให้เหมาะสมกับผู้เรียนในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

(6) ใช้ภาษาเข้าใจง่าย เหมาะสมกับผู้เรียนในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

3.1.3 สร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

1) จัดทำหนังสือ เรื่องการหายใจระดับเซลล์โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) การสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยมีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. ศึกษาและวิเคราะห์หลักสูตร หลักสูตรสถานศึกษาและหลักสูตรแกนกลาง วิชาชีววิทยา กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ ช่วงชั้นที่ 4 วิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์

ข. วิเคราะห์และเรียบเรียงเนื้อหาแบ่งออกเป็นบทย่อย 3 บท ดังนี้

ก) บทที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการหายใจระดับเซลล์

(ก) ความหมาย

(ข) บริเวณที่เกิดการหายใจระดับเซลล์

- ไซโตพลาสซึม

- ไมโทคอนเดรีย

(ค) สารพลังงานสูง

(ง) ตัวถ่ายทอดอิเล็กตรอน

(ฉ) ศัพท์ที่ควรทราบ

ข) บทที่ 2 การหายใจแบบใช้ออกซิเจน

(ก) การสลายกลูโคส

- ไกลโคไลซิส (Glycolysis pathway)

- การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์เอ

- วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle)

- ระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน

(ข) การสลายไขมัน

(ค) การสลายโปรตีน

ค) บทที่ 3 การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

(ก) การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของเซลล์

กล้ำมเนื้อ

(ข) การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์

ค. นำหัวข้อที่วิเคราะห์แล้วมาเขียนเป็นเอกสาร

ง. นำเนื้อหาที่ได้ให้อาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา

ตรวจสอบ โดยใช้แบบประเมินต่อไปนี้

รายการ	ผลการประเมิน				
	1	2	3	4	5
เนื้อหาของบทเรียน					
1 โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก					
2 สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ					
3 ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้					
4 มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันในเนื้อหา					
5 ระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน					

เกณฑ์การตัดสินประเมินด้านเนื้อหา 5 ระดับ คือ

คะแนน 1.00 - 1.49 หมายถึง	คุณภาพควรปรับปรุงอย่างยิ่ง
คะแนน 1.50 - 2.49 หมายถึง	คุณภาพควรปรับปรุง
คะแนน 2.50 - 3.49 หมายถึง	คุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง
คะแนน 3.50 - 4.49 หมายถึง	คุณภาพอยู่ในระดับดี
คะแนน 4.50 - 5.00 หมายถึง	คุณภาพอยู่ในระดับดีมาก

ฉ. แปลงเนื้อหาให้อยู่ในรูปของสตอรี่บอร์ด เมื่อเสร็จแล้วนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อตรวจสอบหาความถูกต้อง

ช. คัดเลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการผลิตหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกโปรแกรม Macromedia Captivate โดยเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการสร้างสื่อการเรียนรู้หรือสื่อนำเสนอมัลติมีเดียได้อย่างรวดเร็ว สามารถสร้างแบบทดสอบได้หลายรูปแบบและมีประสิทธิภาพ สามารถนำไฟล์จากแหล่งต้นฉบับได้หลายรูปแบบ โดยโปรแกรมสำหรับผลิตต้นฉบับ คือ Microsoft Word และ Microsoft PowerPoint ซึ่งสามารถนำเข้าได้ทันที ส่วนสื่อมัลติมีเดียสามารถนำเข้าได้หลายรูปแบบ เช่น JPG, GIF, MP3, WAV, AVI และสามารถส่งออกไฟล์ได้หลายรูปแบบ เช่น .swf, .html โดยเฉพาะ .exe สามารถแสดงผลโดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม Macromedia Captivate อีกทั้งความคุ้มค่าการใช้ได้ง่ายโดยใช้ Visual Timeline

ซ. เตรียมทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่

ก) ตัวอักษร ในส่วนของเนื้อหาใช้ตัวอักษร คลอเดียนิว (Cordia New) ขนาด 20pt. ในส่วนของหัวเรื่องใช้ตัวอักษรมัลติมีเดียซึ่งมีในโปรแกรม Macromedia Captivate

ข) ภาพนิ่ง ภาพที่ใช้ประกอบบทเรียนมาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ จากซีดีรอม และจากอินเทอร์เน็ต

ค) ภาพเคลื่อนไหว ใช้ประกอบในปฏิกิริยาที่เข้าใจยาก เช่น โกลโคไลซิส, การสร้างเอซิติลโคเอนไซม์เอ, วัฏจักรเครปส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เป็นต้น แหล่งที่มา คือ เว็บไซต์ชีววิทยา จากอินเทอร์เน็ต

ง) เสียง เป็นไฟล์เสียงนามสกุล WAV และ MP3 ซึ่งเป็นเสียงบรรยายประกอบและดนตรีคลาสสิก

ฉ. ผลิตหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ โดยนำสตอรี่บอร์ดที่ผ่านการ
ปรับปรุงแล้วมาสร้างเป็นหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ โดยโปรแกรม Macromedia Captivate

ญ. ชั้นตรวจสอบสื่อโดยผู้เชี่ยวชาญ นำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ไป
ให้อาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อตรวจสอบหาความ
ถูกต้องของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบประเมินที่ดัดแปลงมาจากแบบประเมิน
คุณภาพสื่อมัลติมีเดียเพื่อการศึกษาของกรมวิชาการ (กรมวิชาการ , 2542) ดังนี้

รายการ	ผลการประเมิน				
	1	2	3	4	5
1. ส่วนนำของบทเรียน 1.1 ได้รับความสนใจ 1.2 ใช้ข้อมูลที่จำเป็นพื้นฐานครบถ้วน					
2. เนื้อหาของบทเรียน 2.1 โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก 2.2 สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ 2.3 ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ 2.4 มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันในเนื้อหา 2.5 ระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน					
3. การใช้ภาษา ใช้ภาษาถูกต้อง สื่อความหมายได้ชัดเจน เหมาะสมกับวัย ผู้เรียน					
4. การออกแบบการสอน 4.1 ออกแบบด้วยระบบตรรกะที่ดี เนื้อหามีความสัมพันธ์ ต่อเนื่อง 4.2 ความยาวของการนำเสนอแต่ละหน่วยเหมาะสม 4.3 กลยุทธ์ในการถ่ายทอดเนื้อหา การเน้นส่วนสำคัญ ต่างๆ ที่น่าสนใจ 4.4 มีกลยุทธ์การประเมินผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ อย่างเหมาะสม มีความหลากหลาย และปริมาณเพียงพอที่ สามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียน					

รายการ	ผลการประเมิน				
	1	2	3	4	5
<p>5. ส่วนประกอบด้านมัลติมีเดีย</p> <p>5.1 ออกแบบหน้าจอเหมาะสม ง่ายต่อการใช้ สัดส่วนเหมาะสมสวยงาม</p> <p>5.2 ลักษณะของขนาด สี ตัวอักษรชัดเจน สวยงาม อ่านง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน</p> <p>5.3 ภาพกราฟฟิกเหมาะสม ชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และมีความสวยงาม มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการออกแบบและสร้างภาพ</p>					
<p>6. การออกแบบปฏิสัมพันธ์</p> <p>6.1 ออกแบบปฏิสัมพันธ์ให้โปรแกรมใช้งานได้ง่าย สะดวก</p> <p>6.2 มีการโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ</p> <p>6.3 การควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน ชัดเจน ถูกต้อง ตามหลักเกณฑ์ และสามารถย้อนกลับไปยังจุดต่าง ๆ ได้ง่าย</p>					

มีเกณฑ์การตัดสินประเมินหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ 5 ระดับ คือ

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| คะแนน 1.00 - 1.49 หมายถึง | คุณภาพควรปรับปรุงอย่างยิ่ง |
| คะแนน 1.50 - 2.49 หมายถึง | คุณภาพควรปรับปรุง |
| คะแนน 2.50 - 3.49 หมายถึง | คุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง |
| คะแนน 3.50 - 4.49 หมายถึง | คุณภาพอยู่ในระดับดี |
| คะแนน 4.50 - 5.00 หมายถึง | คุณภาพอยู่ในระดับดีมาก |

ญ. จัดทำคู่มือการใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์

3.1.4 การหาคุณภาพหนังสือ โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน โดยใช้แบบประเมินคุณภาพหนังสือด้านเนื้อหา ตรวจสอบหาความถูกต้องของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบประเมินที่ดัดแปลงมาจากแบบประเมินคุณภาพสื่อมัลติมีเดียเพื่อการศึกษาของกรมวิชาการ (กรมวิชาการ, 2542) ได้ปรับปรุงแก้ไข คือ ด้านเนื้อหาเกี่ยวกับการใช้และไม่ใช้ออกซิเจนให้แยกประเด็นให้ชัดเจน เพื่อให้ความเข้าใจตรงกัน ควรให้เพิ่มในส่วนของกระบวนการหมักในการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ด้านการใช้ศัพท์ควรเป็นคำเดียวกันตลอด และให้เขียนที่มาของภาพต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงเนื้อหาตามที่คุณเชี่ยวชาญได้แนะนำ

3.1.5 การหาคุณภาพของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน โดยใช้แบบประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 โดยใช้แบบประเมินที่ดัดแปลงมาจากแบบประเมินคุณภาพสื่อมัลติมีเดียเพื่อการศึกษาของกรมวิชาการ (กรมวิชาการ, 2542) ผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดีทุกเรื่อง สามารถนำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ไปใช้ในการวิจัยได้นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญยังได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมดังนี้

1. การควบคุมเส้นทางการเรียนแต่ละหน้าและแต่ละบท
2. การใช้ภาพเคลื่อนไหวเพื่อความเข้าใจในปฏิกิริยาต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น
3. การใช้เสียงบรรยายและเสียงเพลงประกอบ

ผู้วิจัยได้นำคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญไปปรับปรุงหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ดังนี้

1. ผู้วิจัยได้ทำปุ่มสำหรับเชื่อมต่อไปยัง สารบัญ และบทต่าง ๆ ทำให้ง่ายต่อการควบคุมเส้นทางการเรียน
2. ผู้วิจัยได้เพิ่มภาพเคลื่อนไหวของปฏิกิริยาต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความเข้าใจ โดยแทรกในเนื้อหาในตอนต่าง ๆ อย่างเหมาะสม
3. ผู้วิจัยได้ใส่คำบรรยายและดนตรีประกอบเพื่อความสมบูรณ์ของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

หลังจากเสร็จสิ้นการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผู้วิจัยได้นำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ ไปทดลองใช้กับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2550

3.2 การสร้างแบบวัดความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบ วิชาชีพวิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ในการสร้างแบบวัดความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีพวิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีขั้นตอนดังนี้

- 3.2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวกับการวัดความคิดเห็นที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
- 3.2.2 ร่างแบบวัดความคิดเห็นที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ โดยดัดแปลงมาจากแบบประเมินคุณภาพสื่อมัลติมีเดียของกรมวิชาการ (2542)
- 3.2.3 นำแบบวัดความคิดเห็นที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน
- 3.2.4 นำข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญมาแก้ไข
- 3.2.5 นำแบบวัดความคิดเห็นที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังจากเสร็จสิ้นการเรียน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้

- 4.1 วิเคราะห์จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีพวิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 4.2 วิเคราะห์ความคิดเห็นของนักเรียนอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีพวิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 4.3 นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นำเสนอแบบตาราง และแบบความเรียง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

วัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เพื่อสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และเพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผู้วิจัยได้สร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ นำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ไปให้กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 49 คน เพื่อหาคุณภาพของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น โดยใช้แบบวัดความคิดเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ได้แสดงรายละเอียดผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญและนักเรียนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบวัดความคิดเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

รายการ	\bar{X}	S.D.	ความหมาย
1. ส่วนนำของบทเรียน			
1.1 ไร่่าความสนใจ	3.90	.81	ดี
1.2 ใช้ข้อมูลที่เป็นพื้นฐานครบถ้วน	4.14	.70	ดี
รวม	4.00	.82	ดี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการ	\bar{X}	S.D.	ความหมาย
2. เนื้อหาของบทเรียน			
2.1 โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก	3.71	.65	ดี
2.2 สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ	4.10	.76	ดี
2.3 ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้	3.74	.87	ดี
2.4 มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันในเนื้อหา	3.90	.92	ดี
2.5 ระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน	3.80	.79	ดี
รวม	3.80	.77	ดี
3. การใช้ภาษา			
ใช้ภาษาถูกต้อง สื่อความหมายได้ชัดเจน เหมาะสมกับวัยผู้เรียน	3.60	.90	ดี
รวม	3.60	.90	ดี
4. การออกแบบการสอน			
4.1 ออกแบบด้วยระบบตรรกะที่ดี เนื้อหามีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง	4.10	.66	ดี
4.2 ความยาวของการนำเสนอแต่ละหน่วยเหมาะสม	4.20	.57	ดี
4.3 กลยุทธ์ในการถ่ายทอดเนื้อหา การเน้นส่วนสำคัญต่าง ๆ ที่น่าสนใจ	4.12	.66	ดี
4.4 มีกลยุทธ์การประเมินผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม มีความหลากหลาย และปริมาณเพียงพอที่สามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียน	4.00	.70	ดี
รวม	4.10	.64	ดี
5. ส่วนประกอบด้านมัลติมีเดีย			
5.1 ออกแบบหน้าจอเหมาะสม ง่ายต่อการใช้			
สัดส่วนเหมาะสมสวยงาม	3.67	.81	ดี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

รายการ	\bar{X}	S.D.	ความหมาย
5.2 ลักษณะของขนาด สี ตัวอักษรชัดเจน สวยงาม อ่านง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน	3.47	.67	ดี
5.3 ภาพกราฟฟิกเหมาะสม ชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และมีความสวยงาม มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการออกแบบและสร้างภาพ	3.84	.92	ดี
รวม	3.67	.72	ดี
6. การออกแบบปฏิสัมพันธ์			
6.1 ออกแบบปฏิสัมพันธ์ให้โปรแกรมใช้งานได้ง่ายสะดวก	3.71	1.07	ดี
6.2 มีการโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ	3.65	1.13	ดี
6.3 การควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียนชัดเจน ถูกต้อง ตามหลักเกณฑ์ และสามารถย้อนกลับไปยังจุดต่าง ๆ ได้ง่าย	3.83	1.16	ดี
รวม	3.73	1.10	ดี

จากตารางที่ 4.1 ผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 พบว่า

1. ส่วนนำของบทเรียน ได้แก่ การเร้าความสนใจ และการใช้ข้อมูลที่จำเป็นพื้นฐานครบถ้วน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=4.00$, S.D.=.82)

2. เนื้อหาของบทเรียน ได้แก่ โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก, สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ, ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้, มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันในเนื้อหา และระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.80$, S.D.= .77)

3. การใช้ภาษา ได้แก่ การใช้ภาษาถูกต้อง และการสื่อความหมายได้ชัดเจนเหมาะสมกับวัยผู้เรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.60$, S.D.=.90)

4. การออกแบบการสอน ได้แก่ การออกแบบด้วยระบบตรรกะที่ดี เนื้อหา มีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง, ความยาวของการนำเสนอแต่ละหน่วยเหมาะสม, กลยุทธ์ในการถ่ายทอดเนื้อหา การเน้นส่วนสำคัญต่าง ๆ ที่น่าสนใจ และมีกลยุทธ์การประเมินผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม มีความหลากหลาย และปริมาณเพียงพอที่สามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.10, S.D.= .64$)

5. ส่วนประกอบด้านมัลติมีเดีย ได้แก่ ออกแบบหน้าจอเหมาะสม ง่ายต่อการใช้ สัดส่วนเหมาะสมสวยงาม, ลักษณะของขนาด สี ตัวอักษรชัดเจน สวยงาม อ่านง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน และภาพกราฟฟิกเหมาะสม ชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และมีความสวยงาม มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการออกแบบและสร้างภาพ อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 3.67, S.D.=.72$)

6. การออกแบบปฏิสัมพันธ์ ได้แก่ การออกแบบปฏิสัมพันธ์ให้โปรแกรมใช้งานได้ง่าย สะดวก, การโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ และการควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน ชัดเจน ถูกต้อง ตามหลักเกณฑ์ และสามารถย้อนกลับไปยังจุดต่าง ๆ ได้ง่าย อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 3.73, S.D.= 1.10$)

ตารางที่ 4.2 แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็นจากนักเรียนที่เรียนวิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

ลำดับที่	ความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะ	อันดับที่	ร้อยละ
1	ควรมีปฏิสัมพันธ์ และมีการโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ	1	80.00
2	การควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน	2	60.00
3	การเก็บคะแนนสะสมเพื่อดูการพัฒนาในการเรียน	3	40.00
4	ควรมีปุ่มควบคุมเสียงบรรยาย		
	ควรมีการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	4	20.00

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ พบว่า ควรมีปฏิสัมพันธ์ และมีการโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ อยู่ในอันดับที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 80.00 ,ควรรีการควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน อยู่ในอันดับที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 60.00 ,ควรรีการเก็บคะแนนสะสมเพื่อดูการพัฒนาในการ

อยู่ในอันดับที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 40.00 และอันดับ 4 คือ ควรมีปุ่มควบคุมเสียงบรรยาย และควรมีการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คิดเป็นร้อยละ 20.00

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบวัดความคิดเห็นโดยนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวินทาลัย จังหวัดเชียงใหม่

รายการ	\bar{X}	S.D.	ความหมาย
1. ส่วนนำของบทเรียน			
1.1 ได้รับความสนใจ	3.65	.81	ดี
1.2 ใช้ข้อมูลที่จำเป็นพื้นฐานครบถ้วน	4.14	.70	ดี
รวม	3.9	0.79	ดี
2. เนื้อหาของบทเรียน			
2.1 โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก	3.71	.645	ดี
2.2 สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ	4.00	.764	ดี
2.3 ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้	3.84	.874	ดี
2.4 มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันในเนื้อหา	3.90	.918	ดี
2.5 ระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน	3.80	.790	ดี
รวม	3.85	0.8	ดี
3. การใช้ภาษา			
ใช้ภาษาถูกต้อง สื่อความหมายได้ชัดเจน เหมาะสมกับวัยผู้เรียน	3.98	.721	ดี
รวม	3.98	0.72	ดี
4. การออกแบบการสอน			
4.1 ออกแบบด้วยระบบตรรกะที่ดี เนื้อหามีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง	3.63	.809	ดี
4.2 ความยาวของการนำเสนอแต่ละหน่วยเหมาะสม	3.35	1.071	ปานกลาง

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

รายการ	\bar{X}	S.D.	ความหมาย
4.3 กลยุทธ์ในการถ่ายทอดเนื้อหา การเน้นส่วนสำคัญต่าง ๆ ที่น่าสนใจ	3.57	.957	ดี
4.4 มีกลยุทธ์การประเมินผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม มีความหลากหลาย และปริมาณเพียงพอที่สามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียน	3.73	.884	ดี
รวม	3.57	0.94	ดี
5. ส่วนประกอบด้านมัลติมีเดีย			
5.1 ออกแบบหน้าจอเหมาะสม ง่ายต่อการใช้ สักส่วนเหมาะสมสวยงาม	3.67	1.088	ดี
5.2 ลักษณะของขนาด สี ตัวอักษรชัดเจน สวยงาม อ่านง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน	3.47	.981	ปานกลาง
5.3 ภาพกราฟฟิกเหมาะสม ชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และมีความสวยงาม มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการออกแบบและสร้างภาพ	3.84	.921	ดี
รวม	3.66	1.00	ดี
6. การออกแบบปฏิสัมพันธ์			
6.1 ออกแบบปฏิสัมพันธ์ให้โปรแกรมใช้งานได้ง่าย สะดวก	3.51	1.063	ดี
6.2 มีการโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ	3.27	1.132	ปานกลาง
6.3 การควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน ชัดเจน ถูกต้อง ตามหลักเกณฑ์ และสามารถย้อนกลับไปยังจุดต่าง ๆ ได้ง่าย	3.53	1.157	ดี
รวม	3.51	1.06	ดี

จากตารางที่ 4.3 ผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 พบว่า

1. ส่วนนำของบทเรียน ได้แก่ การเร้าความสนใจ และการใช้ข้อมูลที่จำเป็นพื้นฐานครบถ้วน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.90$, S.D.=.79)

2. เนื้อหาของบทเรียน ได้แก่ โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก, สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ, ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้, มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันในเนื้อหา และระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.85$, S.D.=.80)

3. การใช้ภาษา ได้แก่ การใช้ภาษาถูกต้อง และการสื่อความหมายได้ชัดเจนเหมาะสมกับวัยผู้เรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.98$, S.D.=.72)

4. การออกแบบการสอน ได้แก่ การออกแบบด้วยระบบตรรกะที่ดี เนื้อหามีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง, ความยาวของการนำเสนอแต่ละหน่วยเหมาะสม, กลยุทธ์ในการถ่ายทอดเนื้อหา การเน้นส่วนสำคัญต่าง ๆ ที่น่าสนใจ และมีกลยุทธ์การประเมินผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม มีความหลากหลาย และปริมาณเพียงพอที่สามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.57$, S.D.=.94)

5. ส่วนประกอบด้านมัลติมีเดีย ได้แก่ ออกแบบหน้าจอเหมาะสม ง่ายต่อการใช้ สักส่วนเหมาะสมสวยงาม, ลักษณะของขนาด สี ตัวอักษรชัดเจน สวยงาม อ่านง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน และภาพกราฟิกเหมาะสม ชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และมีความสวยงาม มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการออกแบบและสร้างภาพ อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.66$, S.D.=1.00)

6. การออกแบบปฏิสัมพันธ์ ได้แก่ การออกแบบปฏิสัมพันธ์ให้โปรแกรมใช้งานได้ง่าย สะดวก, การโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ และการควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียนชัดเจน ถูกต้อง ตามหลักเกณฑ์ และสามารถย้อนกลับไปยังจุดต่าง ๆ ได้ง่าย อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.51$, S.D.=1.06)

ด้านความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็นจากนักเรียนที่เรียนวิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวินวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่ ปรากฏผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะของนักเรียนเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ โดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็นจากนักเรียนที่เรียน วิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนคาราวินวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

ลำดับ ที่	ความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะ	อันดับที่	ร้อยละ
1	เวลาที่ใช้ในการอ่านแต่ละหน้าให้เหมาะสมกับเนื้อหา	1	52.17
2	มีการนับคะแนนสะสมเพื่อดูการพัฒนาในการเรียน	2	26.67
3	ปรับความดังของเสียงได้	3	20.00
4	มีเสียงบรรยายที่ชัดเจนยิ่งขึ้น	4	13.33
5	มีลักษณะการเปิดเหมือนหนังสือ	5	6.67

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ พบว่า ควรใช้เวลาในการอ่านแต่ละหน้าเหมาะสมกับเนื้อหา อยู่ในอันดับที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 52.17 ,ควรมีการนับคะแนนสะสมเพื่อดูการพัฒนาในการเรียน อยู่ในอันดับที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 26.67 ,ควรปรับความดังของเสียงได้ อยู่ในอันดับที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 20.00 ,ควรมีเสียงบรรยายที่ชัดเจน อยู่ในอันดับที่ 4 คิดเป็นร้อยละ 13.33 และควรมีลักษณะการเปิดเหมือนหนังสือ อยู่ในอันดับที่ 4 คิดเป็นร้อยละ 6.67

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และเพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้โปรแกรม Macromedia Captivate ในการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ โดยจัดลำดับตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ แบ่งเป็น 3 หัวข้อ คือ บทนำ ,บทที่ 1 เรื่องการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และบทที่ 2 เรื่อง การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ได้นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนที่เรียนวิชาชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/3 โรงเรียนคาราวิทยาลัย จ.เชียงใหม่ จำนวน 49 คน ประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้แบบประเมินคุณภาพสื่อมัลติมีเดีย

1. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และเพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและนักเรียนที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยมีวิธีในการดำเนินการวิจัย คือ ศึกษาและวิเคราะห์หลักสูตร วิเคราะห์เนื้อหา จัดทำเนื้อหา นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญ ปรับปรุงแก้ไข จัดทำสตอรี่บอร์ด ดำเนินการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ ปรับปรุงแก้ไขจนสมบูรณ์ นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง และได้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1.1 การวิจัยครั้งนี้ได้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีคุณภาพซึ่งได้จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาคุณภาพของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 สรุปได้ดังนี้

1.1.1 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีพวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ประเมินโดยนักเรียน ผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ พบว่า สูงที่สุดอันดับ 1 คือ ด้านการใช้ภาษา ได้แก่ การใช้ภาษาถูกต้อง และการสื่อความหมายได้ชัดเจน เหมาะสมกับวัย ผู้เรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.98$, S.D.=.72) รองลงมาอันดับ 2 คือ ส่วนนำของบทเรียน ได้แก่ การเร้าความสนใจ และการใช้ข้อมูลที่เป็นพื้นฐานครบถ้วน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.90$, S.D.=.79) และอันดับ 3 คือ ด้านเนื้อหาของบทเรียน ได้แก่ โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก, สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ, ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้, มีความสัมพันธ์ต่อเนื้อกันในเรื่องเนื้อหา และระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.85$, S.D.= .80)

1.1.2 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีพวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงที่ 4 ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ พบว่า สูงที่สุดอันดับ 1 คือ การออกแบบการสอน ได้แก่ การออกแบบด้วยระบบตรรกะที่ดี เนื้อหาที่มีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง, ความยาวของการนำเสนอแต่ละหน่วยเหมาะสม, กลยุทธ์ในการถ่ายทอดเนื้อหา การเน้นส่วนสำคัญต่างๆ ที่น่าสนใจ และมีกลยุทธ์การประเมินผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม มีความหลากหลาย และปริมาณเพียงพอที่สามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=4.10$, S.D.= .64) รองลงมาอันดับ 2 คือ ส่วนนำของบทเรียน ได้แก่ การเร้าความสนใจ และการใช้ข้อมูลที่เป็นพื้นฐานครบถ้วน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=4.00$, S.D.=.82) และอันดับ 3 คือ เนื้อหาของบทเรียน ได้แก่ โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก, สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ, ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้, มีความสัมพันธ์ต่อเนื้อกันในเรื่องเนื้อหา และระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.80$, S.D.= .77)

1.2 การศึกษาด้านความคิดเห็นเพิ่มเติมของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีพวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยนักเรียนและผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1 การศึกษาด้านความคิดเห็นเพิ่มเติมของนักเรียนพบว่า หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่องการหายใจระดับเซลล์ ควรใช้เวลาในการอ่านแต่ละหน้าเหมาะสมกับเนื้อหา สูงที่สุด รองลงมาคือ หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่องการหายใจระดับเซลล์ ควรมีการเน้นคะแนน สะสมเพื่อการพัฒนาในการเรียน และควรปรับความดังของเสียงได้

1.2.2 การศึกษาด้านความคิดเห็นเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่องการหายใจระดับเซลล์ ควรมีปฏิสัมพันธ์ และมีการโต้ตอบกับผูเรียนอย่างสม่ำเสมอ สูงที่สุด, รองลงมา คือ ควรการควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน และควรเก็บคะแนนสะสมเพื่อการพัฒนาในการ

2. อภิปรายผล

การศึกษาผลการประเมินหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การวิจัยครั้งนี้ได้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีคุณภาพ เนื่องจากมีขั้นตอนในการสร้างที่ดี โดยผลการประเมินส่วนมากอยู่ในระดับดีทุกด้าน ทั้งในกลุ่มตัวอย่าง และผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งในกลุ่มตัวอย่าง สูงที่สุดในด้านการใช้ภาษา รองลงมาในส่วนนำของบทเรียน และเนื้อหา ตามลำดับ ในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ สูงที่สุดในด้านการออกแบบการสอน รองลงมาในส่วนนำของบทเรียน และเนื้อหา ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

2.1.1 ส่วนนำของบทเรียน ได้แก่ การเร้าความสนใจ และการใช้ข้อมูลที่จำเป็นพื้นฐานครบถ้วน อยู่ในระดับดีทั้งในกลุ่มตัวอย่างและผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า จะเห็นส่วนนำบทเรียนเป็นส่วนสำคัญในการเร้าให้ผูเรียนมีความสนใจที่จะเรียนรู้ สอดคล้องกับ บาร์คเกอร์และกิลเลอร์ (Barker and Giller, 1992)

2.1.2 เนื้อหาของบทเรียน ได้แก่ โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก, สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ, ผูเรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้, มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันในเนื้อหา และระดับความยากง่ายเหมาะสมกับวัยและระดับความสามารถของผูเรียน อยู่ในระดับดีทั้งในกลุ่มตัวอย่างและผู้เชี่ยวชาญ โดยกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า แสดงให้เห็นว่าหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ทำให้ผูเรียนเข้าใจบทเรียนมากยิ่งขึ้น สะดวกต่อการทำความเข้าใจเนื้อหามากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับซิน ภู่วรรณ (2538) และครรชิต มาลัยวงศ์ (2534)

2.1.3 การใช้ภาษา ได้แก่ การใช้ภาษาถูกต้อง และการสื่อความหมายได้ชัดเจน เหมาะสมกับวัยผูเรียน อยู่ในระดับดีทั้งในกลุ่มตัวอย่างและผู้เชี่ยวชาญ โดยกลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า ผูเรียนสามารถเข้าใจได้ง่ายและชัดเจน เป็นแนวทางในการที่จะส่งเสริมและสนับสนุนการ

จัดกระบวนการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้มากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับออร์พินท์ มุจลินทร์ (2546)

2.1.4 การออกแบบการสอน ได้แก่ การออกแบบด้วยระบบตรรกะที่ดี เนื้อหา มีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง, ความยาวของการนำเสนอแต่ละหน่วยเหมาะสม, กลยุทธ์ในการถ่ายทอดเนื้อหา การเน้นส่วนสำคัญต่าง ๆ ที่น่าสนใจ และมีกลยุทธ์การประเมินผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม มีความหลากหลาย และปริมาณเพียงพอที่สามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียน อยู่ในระดับดีทั้งในกลุ่มตัวอย่างและผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับธรรมชาติของมนุษย์ที่ไม่ชอบคิดอะไรต่อเนื่องยาว ๆ อยู่เพียงเรื่องเดียว สอดคล้องกับ ครรชิต มาลัยวงศ์ (2534) และสอดคล้องกับที่ Barker and Giller (1992) กล่าวว่า การออกแบบที่สร้างความสนใจและนำตื่นเต้นในการเผยแพร่เพื่อเป็นทรัพยากรการสอน เนื่องจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์มีความสำคัญในบริบทของการศึกษาระบบเปิดและการศึกษาทางไกล เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น

2.1.5 ส่วนประกอบด้านมิติมิติเดียว ได้แก่ ออกแบบหน้าจอเหมาะสม ง่ายต่อการใช้ สัดส่วนเหมาะสมสวยงาม, ลักษณะของขนาด สี ตัวอักษรชัดเจน สวยงาม อ่านง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน และภาพกราฟิกเหมาะสม ชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และมีความสวยงาม มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการออกแบบและสร้างภาพ อยู่ในระดับดี ทั้งในกลุ่มตัวอย่างและผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มความเข้าใจในบทเรียน และทำให้บทเรียนมีสีสันและเร้าความสนใจของผู้เรียน สอดคล้องกับ ยืน ภู่วรรณ (2538) และ ทิพย์มณฑา สดชื่น (2544) สอดคล้องกับที่ Bond and Nigel (1994) กล่าวว่า คอมพิวเตอร์เป็นสื่อที่มีเสน่ห์ สมควรนำมาใช้เพื่อการเรียนรู้ สามารถนำไปใช้ได้หลายรูปแบบ ผู้สอนบางคนจะใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ควบคู่ไปกับหนังสือเล่มเพื่อการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมที่สมบูรณ์ บางคนยังให้ผู้เรียนเรียนปกติ แต่จะมีการนำเสนอตรงส่วนกราฟิกจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ และในบางคนใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์กับบทเรียนที่ยากแก่การเข้าใจ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้มากขึ้น

2.1.6 การออกแบบปฏิสัมพันธ์ ได้แก่ การออกแบบปฏิสัมพันธ์ให้โปรแกรมใช้งานได้ง่าย สะดวก, การโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ และการควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน ชัดเจน ถูกต้อง ตามหลักเกณฑ์ และสามารถย้อนกลับไปยังจุดต่าง ๆ ได้ง่าย อยู่ในระดับดีทั้งในกลุ่มตัวอย่างและผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า สอดคล้องกับ ทิพย์มณฑา สดชื่น (2544) กล่าวว่า หนังสืออิเล็กทรอนิกส์เป็นสื่อที่รวมเอาจุดเด่นของสื่อแบบต่าง ๆ มารวมอยู่ในสื่อตัวเดียว คือ สามารถแสดงภาพแสง เสียง ภาพเคลื่อนไหว และการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้

จากผลการประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ ได้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ ที่มีประสิทธิภาพ

2.2 การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาในด้านความคิดเห็นเพิ่มเติมของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่องการหายใจระดับเซลล์ ควรใช้เวลาในการอ่านแต่ละหน้าเหมาะสมกับเนื้อหา สูงที่สุด รองลงมาคือ หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่องการหายใจระดับเซลล์ ควรมีการนับคะแนนสะสมเพื่อดูการพัฒนาในการเรียน และควรปรับความดังของเสียงได้ ส่วนความคิดเห็นเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่องการหายใจระดับเซลล์ ควรมีปฏิสัมพันธ์ และมีการโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ สูงที่สุด,รองลงมา คือ ควรการควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน และควรเก็บคะแนนสะสมเพื่อดูการพัฒนาในการ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความคิดเห็นที่ตรงกันของทั้งสองกลุ่ม คือ การนับคะแนนสะสมเพื่อดูการพัฒนาในการเรียน ซึ่งควรนำไปพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ต่อไป และควรมีการปรับปรุงในเรื่องของเนื้อหาให้เหมาะสมกับเวลา, การปรับความดังของเสียง, การควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน, การมีปฏิสัมพันธ์ และมีการโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะทั่วไป

3.1.1 ด้านผู้บริหาร

- 1) ผู้บริหารควรให้การสนับสนุนการสร้างสื่อการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ในสถานศึกษาให้มากขึ้น
- 2) ผู้บริหารควรมีการสนับสนุนระบบบทเรียนออนไลน์แบบ LMS (Learning Management System) เพื่อการเรียนรู้จากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เต็มรูปแบบโดยผ่านระบบออนไลน์ เพื่อให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้ไม่จำกัดสถานที่และเวลา
- 3) ผู้บริหารควรมีการจัดอบรมการสร้างสื่อการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ในสถานศึกษา เพื่อให้ครูสามารถผลิตสื่อการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ได้ด้วยตนเอง
- 4) ผู้บริหารควรสนับสนุนและประชาสัมพันธ์ให้มีการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ในสถานศึกษา

5) ผู้บริหารควรจัดให้มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ให้เพียงพอกับจำนวนของนักเรียนและครูในสถานศึกษา

3.1.2 ด้านผู้สอน

- 1) ในการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ใช้เวลาค่อนข้างมาก ควรมีการเตรียมทรัพยากรให้พร้อมเพื่อจะได้ประหยัดเวลา
- 2) การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ควรศึกษาก่อนการเลือกโปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
- 3) ในการทดลองกับกลุ่มทดลอง ควรจะทำให้ตามขั้นตอนจนจบกระบวนการทั้งหมด ไม่ควรทดลองโดยแบ่งระยะเวลาทดลองนานเกินไป เพราะช่วงเวลาจะเป็นตัวแปรที่มีผลต่อผู้เรียน ทำให้เกิดความเบื่อหน่าย ไม่สนใจได้
- 4) ควรมีการพัฒนาการทำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3.1.3 ด้านผู้เรียน

- 1) การเรียนด้วยหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เป็นสื่อการสอนที่แปลกใหม่ สำหรับผู้เรียนทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจ และมีความสนใจในบทเรียน จึงทำให้สามารถเรียนรู้เนื้อหาได้ดี
- 2) หนังสืออิเล็กทรอนิกส์มีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนมากกว่าการสอนแบบปกติ ผู้เรียนทุกคนจะมีการตอบโต้ระหว่างการเรียน ทำให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียน
- 3) ผู้เรียนบางคนอาจจะไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเรียน จึงทำให้การเรียนลำดับเนื้อหาไม่ต่อเนื่องและเสร็จไม่พร้อมๆกับคนอื่น
- 4) ผู้เรียนบางคนไม่คุ้นเคยกับการเรียนด้วยหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ แต่คุ้นเคยกับการสอนโดยปกติ จากครู ดังนั้น ผู้เรียนจึงตื่นเต้นและไม่ค่อยมั่นใจในขณะที่เรียนบทเรียน หากมีการฝึกให้คุ้นเคยกับการเรียน ด้วยตนเอง โดยใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์แล้ว อาจจะทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

3.2.1 ควรมีการวิจัยและพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถเรียนรู้โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

3.2.2 ควรให้มีการพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในเนื้อหาวิชาอื่น ๆ ต่อไป

3.2.3 ควรมีการวิจัยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการจำจากการเรียนรู้จากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ กับกลุ่มประชากรในส่วนของเนื้อหาวิชาอื่น ๆ ด้วยการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์เป็นระยะ ๆ ภายหลังจากการเรียน

3.2.4 เนื่องจากจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีจำกัดต่อจำนวนนักเรียน ในบางรายวิชาที่มีผู้เรียนจำนวนมาก ทำให้ไม่พอต่อการเรียนรายบุคคล จึงควรทำการวิจัยถึงหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการจำ กับการเรียนเป็นรายบุคคล และการเรียนเป็นกลุ่ม

3.2.5 ควรมีการวิจัยและพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในด้านการมีส่วนร่วมและการโต้ตอบกับบทเรียน เพื่อให้นักเรียนสามารถโต้ตอบกับบทเรียนได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งจะทำให้นักเรียนเกิดความสนใจและอยากเรียนรู้ตลอดเวลา

3.2.6 ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการวิจัยตัวแปรอื่น ๆ

3.2.7 ควรมีการวิจัยเปรียบเทียบการสอนโดยใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์กับการสอนในรูปแบบอื่น ๆ

3.3 ข้อเสนอแนะในการนำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ไปใช้

3.3.1 ควรมีการเตรียมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ก่อนการเรียนให้พร้อม

3.3.2 ควรใช้หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ในการสอนครั้งแรก หรือใช้ในการทบทวนเพื่อความเข้าใจยิ่งในบทเรียนยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการ (2542) สื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ระดับประถมศึกษาและมัธยม กรุงเทพมหานคร
สถาลาดพร้าว
- ครรชิต มาลัยวงศ์ (2538) ก้าวไกลไปกับคอมพิวเตอร์ สารคอมพิวเตอร์ที่ข้าราชการต้องรู้
กรุงเทพมหานคร เนคเทค
- คณะวิทยาการ นวท. (2544) การเขียนเรื่องวิทยาศาสตร์สำหรับประชาชน กรุงเทพมหานคร
สุวีริยาสาส์น
- คณะกรรมการปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์ สาขาชีววิทยา ตามโครงการปรับปรุงหลักสูตร
วิทยาศาสตร์ ระดับมหาวิทยาลัยของทบวงมหาวิทยาลัย (2527) ชีววิทยา
กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์ชวนพิมพ์
- จันทร์ ทงสมัคร (2541) “การสร้างหนังสืออ่านเพิ่มเติม เรื่องประเพณีท้องถิ่นนครศรีธรรมราช
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช” วิทยานิพนธ์
ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต แผนกวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชา
ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
- ถวัลย์ มาศจำรัส (2547) นวัตกรรมการศึกษา ชุดคู่มือการเขียนหนังสือเรียนตามหลักสูตร
การศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2544 กรุงเทพมหานคร ธารอักษร
- นุชนารถ ยิ้มจันทร์ (2546) “การสร้างหนังสืออ่านเพิ่มเติมเรื่อง ฮิตสิบสองในวิถีชีวิตชาวศรีสะเกษ
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จังหวัดศรีสะเกษ” วิทยานิพนธ์ปริญญา
ศึกษาศาสตร มหาบัณฑิต แผนกวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
- บัญญัติ สุขศรีงาม (2526) ชีววิทยาเบื้องต้นของเซลล์ กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์
_____ (2533) ชีววิทยาของเซลล์ สำหรับพยาบาลและสาธารณสุขศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์
- ประสงค์ หล้าสะอาด และ จิตเกษม หล้าสะอาด, ผู้เรียบเรียง คู่มือสาระการเรียนรู้พื้นฐานและ
เพิ่มเติม กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ม.4 เล่ม 2 กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์
พ.ศ. พัฒนา
- ปรีชา ช่างขวัญยืน, บรรณาธิการ (2542) เทคนิคการเขียนและการผลิตตำรา พิมพ์ครั้งที่ 2
กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- พิมพ์พันธ์ เคชะคุปต์, พเยาว์ ยินดีสุข, วิภา เกียรติธนะบำรุง และ สายสวาท สุวัฒน์กัญญา (2547)
แผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ชีววิทยา ม.5 กรุงเทพมหานคร
พัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.)
- เพ็ญนภา พัทธชนม์ (2544) “การพัฒนาหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เรื่อง กราฟิกเบื้องต้น” วิทยานิพนธ์
ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต คณะศึกษาศาสตร์ (เทคโนโลยีและสื่อสาร-
การศึกษา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ไพโรจน์ ตีรณธนากุล, ไพบุลย์ เกียรติโกมล และ เสกสรร เข้มพินิจ (2546) การออกแบบและผลิต
บทเรียนคอมพิวเตอร์การสอน สำหรับ e-Learning กรุงเทพมหานคร ศูนย์สื่อเสริม
กรุงเทพมหานคร
- พงษ์ หาญยุทธนากร (2547) “การหายใจระดับเซลล์” ออนไลน์ ค้นคืนวันที่ 28 มิถุนายน 2550
จาก http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic8/top811_5.html
- ภรณ์ อุทโยภาส (2541) *ชีววิทยาเบื้องต้น* กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์ธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2546) เอกสารประกอบการอบรมครูชีววิทยา ระดับมัธยมศึกษา
ตอนปลาย หลักสูตร 1 เชียงใหม่ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มุกดา ฐิตะสุด, บรรณาธิการ (2525) *เมตาบอลิซึม*
เชียงใหม่ ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ปิ่น ภู่วรรณ (2538) “การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยในการเรียนการสอน” ใน เอกสารการ
อบรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สวิทยาลัย รัตนโกสินทร์ วิทยาลัยครูสวนสุนันทา (อค์สำเนา) : 20-23
- ลมุล รัตตากร (2529) *การเขียนและการแปลหนังสือสำหรับวัยรุ่น* กรุงเทพมหานคร
สุวีริยาสาส์น
- กัตตาวัลย์ เพชรโรจน์ (2539) สถิติสำหรับการวิจัยและเทคนิคการใช้ SPSS : Statistics
for research and SPSS application techniques : 122 มหาวิทยาลัยมหิดล
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ (2546) *คู่มือครู
สาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 2* กรุงเทพมหานคร
โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว
- สุรีย์ พุตระกูล (2527) *ชีวเคมีพื้นฐาน 2 เมตาบอลิซึม พันธุศาสตร์ และการควบคุม* เชียงใหม่
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- _____ (2528) *ชีวเคมีของเยื่อเซลล์* เชียงใหม่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2544) “สถิติการอ่านหนังสือของคนไทยประจำปี 2544” ค้นคืน
วันที่ 20 เมษายน 2551 จาก <http://www.nso.go.th>
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2548) “สถิติการอ่านหนังสือของคนไทยประจำปี 2548” ค้นคืน
วันที่ 20 เมษายน 2551 จาก <http://www.nso.go.th>
- อรพินท์ มุจลินทร์ (2546) การสร้างหนังสือส่งเสริมการอ่าน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา
ปีที่ 3 เรื่อง “แลชมพูร” วิจัยเฉพาะส่วนบุคคล
- อรรถพร วราห์สวปิติ (2526) โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ เชียงใหม่ ภาควิชาชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- อุดมทรัพย์ กรรดิพนิชกุล (2548) สร้าง E-Learning แบบ Interactive สไลด์iculum
ด้วย Macromedia Captivate กรุงเทพมหานคร ซีเอ็ดดูเคชั่น
- Hopson, J. L. and Wessells, N. K. (1990). *Essentials of Biology*. New York : McGraw-Hill Pub.
- Starr, C. and Taggart R. (1992). *Bilolgy : the unity and diversity of life*. 6th ed. California :
wadsworth Publishing.
- Voet, D. and Voet, J. G. (1990). *Biochemistry*. New York : John Wiley & Sons.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาตรวจสอบคุณภาพของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบ
วิชาชีววิทยา เรื่องการหายใจระดับเซลล์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4

รองศาสตราจารย์ ดร. กอบเกียรติ แสงนิล	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์เรวัต สุขมั่งมี	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ธีราพร ไชยวรรณะ	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ช่วงชั้นที่ 4 โรงเรียนคาราวิทยาลัย เชียงใหม่
อาจารย์ธิดาทิตย์ จันคนา	ฝ่ายเทคโนโลยีการศึกษา สถานบริการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์นรินทร์ สีนไพบูลย์	ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ ศูนย์การศึกษาพิเศษ เขตการศึกษา 8

ภาคผนวก ข

แบบประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

แบบประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ วิชาชีววิทยา ช่วงชั้นที่ 4

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

คำชี้แจง โปรดกรอกข้อมูลลงในช่องว่างให้สมบูรณ์

1. ชื่อ นามสกุล
2. ตำแหน่ง
3. สถานที่ทำงาน
4. ผลงานทางวิชาการ

ตอนที่ 2 แบบประเมินคุณภาพหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

คำชี้แจง โปรดอ่านและพิจารณาข้อความที่กำหนดให้ ว่าท่านมีความคิดเห็นต่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ วิชาชีววิทยา ช่วงชั้นที่ 4 มากน้อยเพียงใด แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างของแต่ละข้อความที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

รายการ	ผลการประเมิน				
	1	2	3	4	5
1. ส่วนนำของบทเรียน					
1.1 เร้าความสนใจ					
1.2 ใช้ข้อมูลที่จำเป็นพื้นฐานครบถ้วน					
2. เนื้อหาของบทเรียน					
2.1 โครงสร้างของเนื้อหาชัดเจน มีความกว้าง ความลึก					
2.2 สอดคล้องต่อวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอ					
2.3 ผู้เรียนเรียนแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้					
2.4 มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันในเนื้อหา					
2.5 ระดับความยากง่ายเหมาะสมกับผู้เรียน					
3. การใช้ภาษา					
ใช้ภาษาถูกต้อง สื่อความหมายได้ชัดเจน เหมาะสมกับวัยผู้เรียน					

รายการ	ผลการประเมิน				
	1	2	3	4	5
<p>4. การออกแบบการสอน</p> <p>4.1 ออกแบบด้วยระบบตรรกะที่ดี เนื้อหามีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง</p> <p>4.2 ความยาวของการนำเสนอแต่ละหน่วยเหมาะสม</p> <p>4.3 กลยุทธ์ในการถ่ายทอดเนื้อหา การเน้นส่วนสำคัญต่าง ๆ ที่น่าสนใจ</p> <p>4.4 มีกลยุทธ์การประเมินผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม มีความหลากหลาย และปริมาณเพียงพอที่สามารถตรวจสอบความเข้าใจบทเรียน</p>					
<p>5. ส่วนประกอบด้านมัลติมีเดีย</p> <p>5.1 ออกแบบหน้าจอเหมาะสม ง่ายต่อการใช้ สัดส่วนเหมาะสมสวยงาม</p> <p>5.2 ลักษณะของขนาด สี ตัวอักษรชัดเจน สวยงาม อ่านง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน</p> <p>5.3 ภาพกราฟฟิกเหมาะสม ชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และมีความสวยงาม มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการออกแบบและสร้างภาพ</p>					
<p>6. การออกแบบปฏิสัมพันธ์</p> <p>6.1 ออกแบบปฏิสัมพันธ์ให้โปรแกรมใช้งานได้ง่าย สะดวก</p> <p>6.2 มีการโต้ตอบกับผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ</p> <p>6.3 การควบคุมเส้นทางการดำเนินบทเรียน ชัดเจน ถูกต้องตามหลักเกณฑ์ และสามารถย้อนกลับไปยังจุดต่าง ๆ ได้ง่าย</p>					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

นางรวีวรรณ ทองศรีแก้ว

นักศึกษานิเทศศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

ภาคผนวก ค

ตารางวิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหาเรื่องการหายใจระดับเซลล์

ตารางวิเคราะห์หลักสูตร
 วิชาชีพวิทยา ช่วงชั้นที่ 4
 เรื่อง การหายใจระดับเซลล์

สาระการเรียนรู้	มาตรฐาน	สาระ/เนื้อหา	ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง
สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับ กระบวนการ ดำรงชีวิต	มาตรฐานที่ 1.1 เข้าใจหน่วยพื้นฐานของ สิ่งมีชีวิตความสัมพันธ์ของ โครงสร้างและหน้าที่ของระบบ ต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ทำงาน สัมพันธ์กัน มีกระบวนการสืบ เสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่ เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ใน การดำรงชีวิตของตนเองและดูแล สิ่งมีชีวิต มาตรฐานการเรียนรู้ ช่วงชั้นที่ 4 ตำราตรวจสอบ อภิปราย และอธิบายการรักษาดุลยภาพของ	1. การหายใจระดับเซลล์ 2. แหล่งผลิตพลังงานของเซลล์ คือ ไมโทคอนเดรีย 3. โกลโคไลซิส เป็นการสลายน้ำตาลกลูโคส แล้วได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล ได้พลังงาน 2 ATP และได้ไฮโดรเจน 4 อะตอม 4. ขั้นตอนการสร้างอะซิetylโคเอนไซม์ เอ สารตั้ง ต้น คือ กรดไพรูวิก ผลิตภัณฑ์ได้ คือ อะซิetyl โคเอนไซม์ เอ 2 โมเลกุล เกิดคาร์บอนได ออกไซด์ 2 โมเลกุล และได้ไฮโดรเจน 4 อะตอม	1. อธิบายการหายใจระดับเซลล์ได้ 2. อธิบายโครงสร้างและระบุ ส่วนประกอบของไมโทคอนเดรียที่เกิด การหายใจระดับเซลล์ทั้ง 4 ขั้นตอน 3. อธิบายการหายใจระดับเซลล์ขั้นโกล โคไลซิสได้ 4. ระบุสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จากการ หายใจขั้นการสร้างอะซิetylโคเอนไซม์ เอ 5. อธิบายขั้นตอนของวัฏจักรเครปส์ได้ 6. อธิบายสารที่เกี่ยวข้องกับการ ถ่ายทอดอิเล็กตรอน และระบุผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน 7. อธิบายขั้นตอนของการสลายโปรตีน

สาระการเรียนรู้	มาตรฐาน	สาระ/เนื้อหา	ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง
	<p>มาตรฐาน เชลล์และร่างกาย พืช สัตว์ กลไกในการควบคุมคุณภาพของร่างกายมนุษย์ และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตและการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม</p>	<p>สาระ/เนื้อหา</p> <p>5. วัฏจักรเครปส์ สารตั้งต้น คือ อะซีติลโคเอนไซม์ เอ ผลิตภัณฑ์ได้ คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล ได้พลังงาน 2 ATP และได้ไฮโดรเจน 16 อะตอม</p> <p>6. การถ่ายเทอิเล็กตรอนจะได้พลังงานได้พลังงาน 32 ATP หรือ 34 ATP และน้ำเกิด 12 โมเลกุล</p> <p>7. การสลายโปรตีนที่อยู่ในรูปของกรดอะมิโน และต้องผ่านกระบวนการดีอะมิเนชัน จะได้สารตั้งต้นหลายชนิด</p> <p>8. การสลายไขมันจะอยู่ในรูปของกรดไขมันและกลีเซอรอล</p> <p>9. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ได้เอทิลแอลกอฮอล์ 2 โมเลกุล แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล และพลังงาน 2 ATP</p> <p>10. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลาย ได้กรดแลคติก 2 โมเลกุล และพลังงาน 2 ATP</p>	<p>ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง</p> <p>8. อธิบายขั้นตอนของการสลายไขมัน</p> <p>9. ระบุผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหายใจโดยไม่ใช้แก๊สออกซิเจนของยีสต์ และของกล้ามเนื้อลาย</p>

**ตารางวิเคราะห์เนื้อหา
วิชาชีพวิทยา ช่วงชั้นที่ 4
เรื่อง การหายใจระดับเซลล์**

ลำดับ	เนื้อเรื่อง หลัก / รอง	วัตถุประสงค์	แนวคิด	อ้างอิง เอกสาร / web	หน้า	หมายเหตุ
1.	<p>บทนำ</p> <p>1.1 การหายใจระดับเซลล์ คืออะไร</p> <p>- ความหมาย</p> <p>1.2 การหายใจระดับเซลล์เกิดที่ไหน</p> <p>1.2.1 ไซโตพลาซึม</p> <p>1.2.2 มิวติจัน ไมโทคอนเดรียกันเกิด</p> <p>1.3 เธอเป็นใครกัน NAD, FAD</p>	<p>1. นักเรียนสามารถอธิบายการหายใจระดับเซลล์ได้</p> <p>2. นักเรียนสามารถบอกแหล่งผลิตพลังงานของเซลล์ได้</p> <p>3. นักเรียนสามารถอธิบายโครงสร้างของไมโทคอนเดรียได้</p> <p>4. นักเรียนสามารถระบุปฏิกิริยาการหายใจทั้ง 4 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในไมโทคอนเดรียได้</p> <p>5. นักเรียนสามารถอธิบายโครงสร้างของ FAD, NAD ได้</p>	<p>แนวคิด</p> <p>1. การหายใจระดับเซลล์ หมายถึง เป็นกระบวนการที่สิ่งมีชีวิตเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีอยู่ในสารประกอบอินทรีย์ให้เป็นพลังงานที่จะนำไปใช้ในเซลล์ได้</p> <p>2. การหายใจระดับเซลล์แบ่งได้ 2 ประเภท คือ การหายใจแบบใช้ออกซิเจน และการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน</p> <p>3. กระบวนการหายใจของเซลล์เกิดขึ้นในอแกแนลของเซลล์ คือ ในไซโตพลาซึม และในไมโทคอนเดรีย</p> <p>4. โครงสร้างของไมโทคอนเดรียประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น ทำหน้าที่เป็นแหล่งผลิตพลังงานของเซลล์ อยู่ภายในไซโตพลาซึม</p>			

ลำดับ	เนื้อเรื่อง หลัก / รอง	วัตถุประสงค์	แนวคิด	อ้างอิงเรื่อง เอกสาร / web	หน้า	หมายเหตุ
		<p>6. นักเรียนสามารถอธิบายการทำงานของ FAD , NAD ได้</p>	<p>แนวคิด ของเซลล์แทบทุกชนิดประกอบด้วย เยื่อหุ้มชั้นนอก , เยื่อหุ้มชั้นใน , คริสตี และเมทริกซ์</p> <p>5. การหายใจทั้ง 4 ขั้นตอนเกิดขึ้นบริเวณต่าง ๆ ดังนี้</p> <p>5.1 ไกลโคไลซิส เกิดที่ไซโทพลาซึมของเซลล์</p> <p>5.2 การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ เกิดที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย</p> <p>5.3 วัฏจักรเครปส์ เกิดที่เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรีย</p> <p>5.4 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน เกิดที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย</p> <p>6. FAD (flavin adenine dinucleotide) มีโครงสร้างและหน้าที่คล้ายๆ กับ NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) สูตรโครงสร้างของ NAD ประกอบด้วย niacin</p>			

ลำดับ	เนื้อเรื่อง หลัก / รอง	วัตถุประสงค์	แนวคิด	อ้างอิง เอกสาร / web	หน้า	หมายเหตุ
	<p>2. การตลาดโปรตีน</p> <p>3. การตลาดไขมัน</p> <p>4. <u>สรุปกระบวนการ</u> <u>หายใจ</u></p>	<p>4. นักเรียนอธิบายขั้นตอนการ สลายอาหารโดยใช้ไขมันเป็น แหล่งให้พลังงานได้</p> <p>5. นักเรียนสามารถ เปรียบเทียบการสลายสารอาหาร ประเภทโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เพื่อให้เกิดพลังงานใน เซลล์ของสิ่งมีชีวิต</p> <p>6. นักเรียนสรุปหายใจระดับ เซลล์แบบใช้ออกซิเจน</p>	<p>2.2 การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ เอ คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดไพรูวิกไปเป็นอะซิติลโค เอนไซม์ เอ 2 โมเลกุล ได้คาร์บอนดีได ออกไซด์ 2 โมเลกุลและไฮโดรเจน 4 อะตอม</p> <p>2.3 วัฏจักรเครปส์ มีสารตั้งต้นของปฏิกิริยานี้ คือ อะซิติลโคเอนไซม์ เอ 2 โมเลกุล สารที่ เกิดในวัฏจักรเครปส์ คือ คาร์บอนดีไดออกไซด์ 4 โมเลกุล ได้พลังงาน 2 ATP และไฮโดรเจน 16 อะตอม วัฏจักรเครปส์ได้ไฮโดรเจนอะตอม มากที่สุด และมี การแปลงจำนวนคาร์บอนด์ อะตอมจาก C₆ C₃ C₄</p> <p>2.4 การถ่ายเทอิเล็กตรอนมีสารที่เกี่ยวข้อง 2 ประเภท คือ สารที่เป็นตัวนำอิเล็กตรอน และ สารที่มารับพลังงานจากการถ่ายเทอิเล็กตรอน</p>			

ลำดับ	เนื้อเรื่อง หลัก / รอง	วัตถุประสงค์	แนวคิด	อ้างอิง เอกสาร / web	หน้า	หมายเหตุ
			<p>2.4.1 ตัวกล้างรับ และถ่ายทออดีเล็คตรอน เรียงลำดับดังนี้ $NAD^+ \rightarrow FAD \rightarrow Cyt.b \rightleftharpoons$ $Cyt.c \rightarrow Cyt.a \rightarrow O_2$</p> <p>2.4.2 NAD^+, FAD และ O_2 รับผิดชอบ โปรตรอน และ อีเล็คตรอน ส่วนระบบไซโต โครมรับได้เฉพาะอีเล็คตรอน O_2 เป็นตัวรับ อีเล็คตรอนตัวสุดท้าย และนำที่เกิดจาก กระบวนการหายใจเกิดขึ้นในขั้นตอนการ ถ่ายทออดีเล็คตรอน</p> <p>2.4.3 ถ้า NAD^+ เป็นสารตัวแรกที่มารับ อีเล็คตรอน เมื่อถ่ายทออดีเล็คตรอนสิ้นสุดจะ สังเคราะห์ ATP ได้ 3 โมเลกุล</p> <p>2.4.4 ถ้า FAD เป็นสารตัวแรกที่มารับ อีเล็คตรอน เมื่อถ่ายทออดีเล็คตรอนสิ้นสุดจะ สังเคราะห์ ATP ได้ 2 โมเลกุล</p>			

ลำดับ	เนื้อเรื่อง หลัก / รอง	วัตถุประสงค์	แนวคิด	อ้างอิง เอกสาร / web	หน้า	หมายเหตุ	
			<p>2.4.5 การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล จะเกิดไฮโดรเจน 24 อะตอม NAD^+ มารับ 20 อะตอม สังเคราะห์ได้ 30 ATP FAD มารับ 4 อะตอม ได้สังเคราะห์ได้ 4 ATP พลังงานทั้งสิ้น 34 ATP</p> <p>3. การสลายกลูโคส 1 โมเลกุลจะได้พลังงาน 36 หรือ 38 ATP โดยได้จากขั้นการถ่ายทอดอิเล็กตรอนมากที่สุด ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในขั้นการสร้างอะซิติกโคเอนไซม์ เอ และวัฏจักรเครปส์ รวม 6 โมเลกุล</p> <p>4. "ไขมันและโปรตีนต้องผ่านกระบวนการย่อยให้ได้โมเลกุลเล็กที่สุด เพื่อเซลล์จะได้ดูดซึมและสลายเพื่อให้ได้พลังงานต่อไป</p> <p>5. "ไขมันจะถูกย่อยให้เป็นการดไขมันและกลีเซอรอล กลีเซอรอลจะเปลี่ยนเป็นฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์ แล้วเข้าสู่ ไกลโคไลซิส การ</p>				

ลำดับ	เนื้อเรื่อง หลัก / รอง	วัตถุประสงค์	แนวคิด	อ้างอิง เอกสาร / web	หน้า	หมายเหตุ
			<p>สร้างอะชิตัลโคเอนไซม์ เอ วิกิเจอร์เนลส์ และ การถ่ายทอดอิเล็กทรอนิกส์ตอนต่อไป ส่วนกรด ไขมันมีการรับองค์ประกอบมากจะต้องตั้ง คาร์บอนค็อกมาทีละ 2 อะตอมตรงตำแหน่ง เบต้า ได้สารที่มีคาร์บอน 2 อะตอม จะรวม กับโคเอนไซม์ เอ เข้าสู่วิกิเจอร์เนลส์ และการ ถ่ายทอดอิเล็กทรอนิกส์ตอนต่อไป</p> <p>6. โปรตีนจะถูกย่อยให้โมเลกุลเล็กที่สุด คือ กรดอะมิโน จะถูกดึงเอาหมู่อมิโนออกได้ กรด เอตฟาคีโตกลูตริก และจะเข้าไกลโคไลซิส การสร้างอะชิตัลโคเอนไซม์ เอ วิกิเจอร์เนลส์ และการถ่ายทอดอิเล็กทรอนิกส์ตอนต่อไป</p>			

ลำดับ	เนื้อเรื่อง หลัก / รอง	วัตถุประสงค์	แนวคิด	อ้างอิง เอกสาร / web	หน้า	หมายเหตุ
2	<p>บทที่ 2</p> <p>การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ความหมาย 2. การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ 3. การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลาย 4. สรุปการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. นักเรียนบอกความหมายการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนได้ 2. นักเรียนอธิบายการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ได้ 3. นักเรียนระบุผลของการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ได้ 4. นักเรียนอธิบายการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลายได้ 5. นักเรียนระบุผลของการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลายได้ 	<p>แนวคิด</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ไกลโคไลซิส และกระบวนการหมัก 2. การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ จะได้อัลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงาน 2 ATP 3. การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลาย จะได้กรดแลคติก และพลังงาน 2 ATP 4. การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน เกิดที่ไซโทพลาซึมของเซลล์ สิ่งเหมือนกันของการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์และกล้ามเนื้อลาย คือ ได้พลังงาน 2 ATP เท่ากัน ส่วนที่แตกต่างกัน คือ การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของยีสต์ จะได้เอทิลแอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนการหายใจโดยไม่ใช้ 			

ลำดับ	เนื้อเรื่อง หลัก / รอง	วัตถุประสงค์	แนวคิด	อ้างอิง เอกสาร / web	หน้า	หมายเหตุ
		<p>6. นักเรียนเปรียบเทียบ การ หายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนของ ยีสต์และกล้ามเนื้อลายได้</p> <p>7. นักเรียนเปรียบเทียบการ หายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนและใช้ ออกซิเจนได้</p>	<p>ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลาย จะได้รับการแตกคึก เท่านั้น</p> <p>5. การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนและใช้ ออกซิเจนมีขึ้นได้ตลอดเวลาเหมือนกัน เพียง ขึ้นตอนเดียว และการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน เกิดในไซโทพลาสซึมเท่านั้น และการหายใจ โดยไม่ใช้ออกซิเจนจะได้พลังงานน้อยกว่า</p>			

การหายใจระดับเซลล์ (Cellular Respiration)

1. บทนำ

การหายใจระดับเซลล์ เป็นกระบวนการที่สิ่งมีชีวิตเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีอยู่ในสารประกอบอินทรีย์ให้เป็นพลังงานที่จะนำไปใช้ในเซลล์ได้ การหายใจอาจเปรียบได้กับการเผาไหม้ทั่ว ๆ ไป เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วได้พลังงานออกมา การหายใจระดับเซลล์มีส่วนที่แตกต่างจากการเผาไหม้ทั่ว ๆ ไป คือ

1. การหายใจเป็นการเผาไหม้ที่ควบคุมได้โดยเอนไซม์ ซึ่งจะควบคุมให้สารเริ่มต้นหรือเชื้อเพลิงค่อย ๆ สลายตัว ทำให้พลังงานถูกปล่อยออกมาทีละน้อย เซลล์จะสามารถนำไปสร้างเป็นสารประกอบสะสมไว้ได้
2. พลังงานที่ได้จากการหายใจนั้นเซลล์จะเก็บไว้ในรูปของสารเคมีที่มีพลังงานสูง คือ ATP จึงไม่ทำให้อุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้นจนถึงขั้นเป็นอันตราย

การหายใจระดับเซลล์เกิดขึ้นในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยจะเกิดในบริเวณไซโตพลาสซึมของเซลล์ และในไมโทคอนเดรีย โดยแบ่งขั้นตอนการเกิดเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ตามบริเวณที่เกิดดังนี้ คือ

1. โมเลกุลขนาดเล็กที่สุดอาหารที่ได้จากการย่อย เมื่อถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์แล้วจะถูกสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงไปอีกโดยกระบวนการ Glycolysis (ไกลโคไลซิส) ซึ่งเกิดในไซโตพลาสซึม ได้ผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการ Glycolysis คือ Pyruvic Acid

2. Pyruvic Acid และจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่เรียกว่า Acetyl Coenzyme A เซลล์จะได้รับพลังงานและเก็บพลังงานไว้ในเซลล์โดย Acetyl Coenzyme A จะเข้าสู่วงจรกรดซิตริก (Citric Acid Cycle) หรือวัฏจักรเครปส์ (Kerbs Cycle) และถูกดึงอะตอมของคาร์บอนออก และถูกออกซิไดซ์โดยมี NAD^+ และ FAD มารับอิเล็กตรอนและนำอิเล็กตรอนเข้าสู่ห่วงโซ่การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron Transport Chain) การถ่ายทอดอิเล็กตรอนออกมาเป็นขั้น ๆ ทำให้พลังงานถูกปล่อยออกมาทีละน้อย และพลังงานจะถูกสะสมไว้ในโมเลกุล ATP โดยกระบวนการ Oxidative Phosphorylation ซึ่งเกิดในไมโทคอนเดรีย

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีโครงสร้างที่เกี่ยวกับการหายใจระดับเซลล์ คือ

1. ไซโทพลาสซึม เป็นส่วนที่อยู่ในเซลล์ทั้งหมด ยกเว้นนิวเคลียส ไซโทพลาสซึม เป็นของเหลว มีความข้นโปร่งแสง ประกอบด้วย น้ำประมาณ 75 - 90 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นสารชนิดอื่น เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลาย ส่วนสารอินทรีย์มักอยู่ในรูปของคอลลอยด์ จะประกอบด้วย

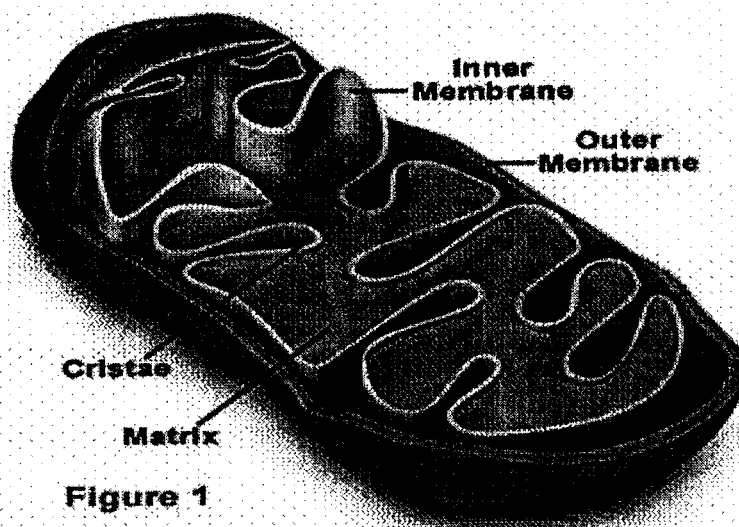
1.1 ไซโตซอลส่วนที่เป็นคอลลอยด์ ไซโตซอล จะเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์หรืออวัยวะของเซลล์

1.2 และ อินคลูชันหรือส่วนไม่มีชีวิต(พวกผลึกหรือสารต่างๆ) ไซโตซอล จะเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์หรืออวัยวะของเซลล์

หน้าที่ของไซโทพลาสซึม ได้แก่ เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีของเซลล์ สลายวัตถุดิบเพื่อให้ได้พลังงานและสิ่งจำเป็นสำหรับเซลล์ สังเคราะห์สารที่จำเป็นสำหรับเซลล์ เป็นที่เก็บสะสมวัตถุดิบสำหรับเซลล์ เกี่ยวข้องกับกระบวนการขับถ่ายของเสียของเซลล์

2. ไมโทคอนเดรีย เป็นออร์แกเนลล์ที่มีระบบเมมเบรนห่อหุ้ม ประกอบด้วยเมมเบรน 2 ชั้น เมมเบรนแต่ละชั้นเป็นยูนิทเมมเบรน คือ มีชั้นไขมันอยู่ตรงกลางและห่อหุ้มด้วยโปรตีน ไมโทคอนเดรียจะมี DNA ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับ DNA ของนิวเคลียสทั่วไป ไมโทคอนเดรีย มีรูปร่างและจำนวนของไมโทคอนเดรียไม่แน่นอน จะเปลี่ยนแปลงไปตามหน้าที่และกิจกรรมของเซลล์ ไมโทคอนเดรียจะอยู่กระจุกกระจายทั่วไปในไซโทพลาสซึม โครงสร้างที่ต้องการพลังงานมากจะมีไมโทคอนเดรียรอบโครงสร้างนั้น

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของไมโทคอนเดรีย แบ่งเป็น 4 ส่วน คือ



1. เยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer Membrane) มีไขมันคอเลสเตอรอลมาก มีเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการย่อยเริ่มต้นของไขมันและกรดอะมิโน มีโปรตีนชื่อว่า พอรินส์ (Porins) ทำหน้าที่เป็นช่องสำหรับให้โมเลกุลขนาดเล็กผ่านได้อย่างอิสระ
 2. ช่องอินเตอร์เมมเบรน สเปซ พบเอนไซม์หลายชนิด
 3. เยื่อหุ้มชั้นใน (Inner Membrane) มีโปรตีนหลายชนิด เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ ATP มีโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอน และโปรตีนขนส่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวพาสารผ่านเยื่อหุ้มชั้นใน
 4. แมทริกซ์ (Matrix) มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันไพรูเวต วัฏจักรเครปส์ มี DNA, RNA และ ไรโบโซม
- เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรียจะม้วนงอเข้าไปด้านในเรียกว่า คริสตี้ (Cristae) ซึ่งจะม้วนงอมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานของเนื้อเยื่อ ด้านในของเยื่อชั้นในมีคูดเล็ก ๆ เกาะติดอยู่ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการขนส่งอิเล็กตรอน และออกซิเดทีฟ ฟอสโฟริเลชัน

หน้าที่ของไมโทคอนเดรียมีหลายอย่าง ซึ่งพบได้ที่ส่วนต่าง ๆ ของไมโทคอนเดรีย ดังนี้

1. เยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer Membrane) มีหน้าที่ในการสังเคราะห์ฟอสโฟลิปิดส์ การเติมพันธะคู่กรดไขมัน และการยึดยาวของกรดไขมัน
2. ช่องอินเตอร์เมมเบรน สเปซ มีหน้าที่เกี่ยวกับฟอสโฟริเลชันของนิวคลีโอไทด์
3. เยื่อหุ้มชั้นใน (Inner Membrane) มีหน้าที่ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟริเลชัน และการขนส่งเมแทบอลิท์ (Metabolites)
4. แมทริกซ์ (Matrix) มีหน้าที่ การออกซิเดชันไพรูเวต วัฏจักรของกรดซิตริก เบต้า ออกซิเดชันของไขมัน การจำลอง DNA การสังเคราะห์ RNA (Transcription) และการสังเคราะห์โปรตีน

2. สารพลังงานสูง

สารพลังงานสูงส่วนใหญ่มีหมู่ฟอสเฟตอยู่ตรงปลาย แต่มีลักษณะพิเศษที่พันธะระหว่างหมู่ฟอสเฟตที่จับส่วนที่เหลือของโมเลกุลนี้ สามารถมอบหมู่ฟอสเฟตให้แก่ตัวรับง่าย และสามารถปล่อยพลังงานเมื่อหมู่ฟอสเฟตนี้ถูกสลายด้วยน้ำ

ตัวอย่างสารพลังงานสูงนี้ เช่น

- ATP มี พันธะที่จับกับหมู่ฟอสเฟต
- 1,3 bisphosphoglycerate มี พันธะที่จับกับหมู่ carbonyl

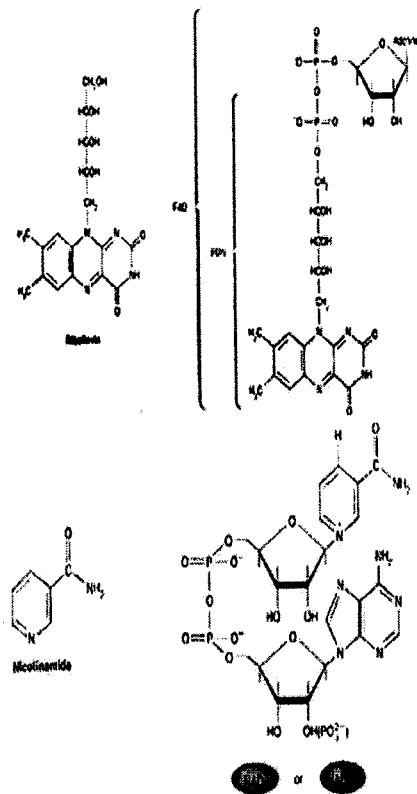
- phosphoenolpyruvate มี พันธะที่จับกับหมู่ enol ซึ่งเป็นหมู่ hydroxyl ที่จับอยู่กับพันธะคู่ (double bond)
- phosphocreatine มี พันธะที่จับกับหมู่ guanidyl

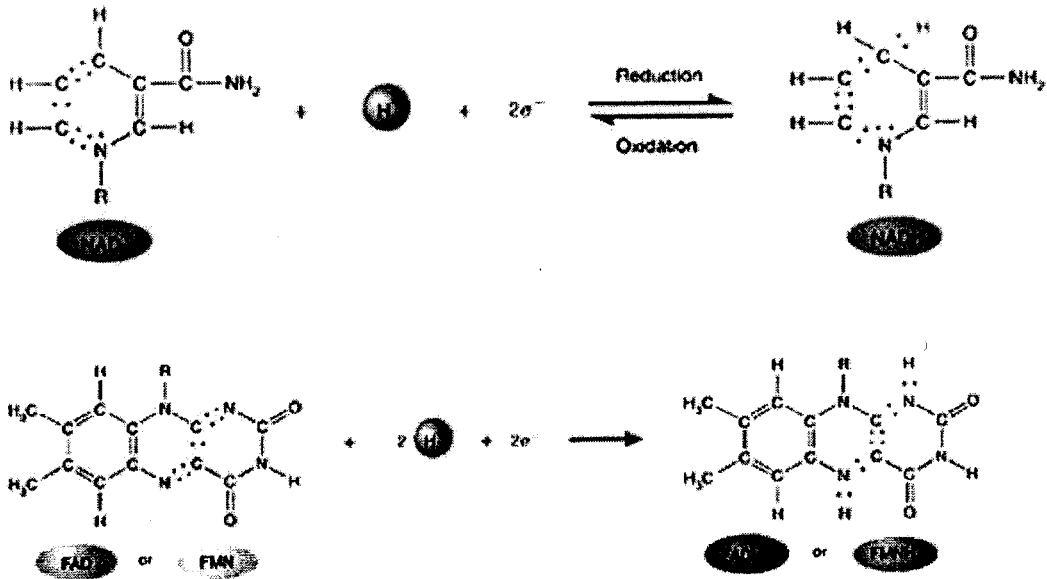
สารพลังงานสูงอีกประเภทที่มี พันธะระหว่างหมู่ carbonyl และ sulhydryl ของ acetyl CoA, succinyl CoA พันธะนี้คือ $-C-S-$

จากรูปข้างล่างนี้เห็นได้ว่า phosphoenolpyruvate, 1,3 bisphosphoglycerate และ phosphocreatine มีศักยภาพในการ โอนหมู่ฟอสเฟตให้แก่สารอื่นๆ สูงกว่า ATP ดังนั้น จึงสามารถให้หมู่ฟอสเฟตแก่ ADP เพื่อสร้าง ATP ได้

3. FAD (flavin adenine dinucleotide) มีโครงสร้างและหน้าที่คล้ายๆ กับ NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) สูตร โครงสร้างของ NAD ประกอบด้วย niacin (หรือ nicotinic acid ซึ่งคือ วิตามิน B₃) ขณะที่ของ FAD ประกอบด้วย riboflavin (หรือวิตามิน B₂) ทั้ง 2 ตัวทำหน้าที่เป็น โคเอนไซม์ในระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน ช่วยให้เอนไซม์ dehydrogenase ทำหน้าที่โยกย้ายไฮโดรเจนจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง

ส่วน FMN นั้น คือ flavin mononucleotide สูตรโครงสร้างต่างจาก FAD เล็กน้อย ดังแสดงในรูป ทั้ง 2 ตัวจะรับ 2 e⁻ และ 2 H⁺ เพื่อกลายเป็น FMNH₂ และ FADH₂ ได้เหมือนกัน





1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration)

การหายใจเป็นการสลายโมเลกุลของอาหารเพื่อให้เกิดพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งโมเลกุลของกลูโคส การทำให้อะตอมทุกอะตอมของกลูโคสหรือของอาหารอื่นแตกตัวจนเสร็จสมบูรณ์ จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานออกมาอยู่ในรูปของ ATP ถ้าตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเป็นออกซิเจน เรียกการหายใจนี้ว่า การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration)

โมเลกุลของอาหารที่จะสลายเพื่อให้เกิดพลังงาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ดังนั้นการหายใจระดับเซลล์จึงแบ่งตามการสลายโมเลกุลของอาหารได้ดังนี้

1. การสลายกลูโคส
2. การสลายไขมัน
3. การสลายโปรตีน

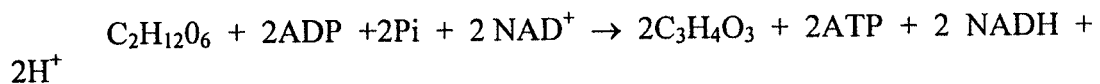
การสลายกลูโคส

การสลายกลูโคสในกระบวนการหายใจ มีปฏิกิริยาหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน ปฏิกิริยาเหล่านี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ไกลโคไลซิส (Glycolysis)
2. การสร้างแอสติลโคเอ (Acetyl Coenzyme A)
3. วัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle)
4. ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน (Electron Transport system)

1. ไกลโคไลซิส (Glycolysis)

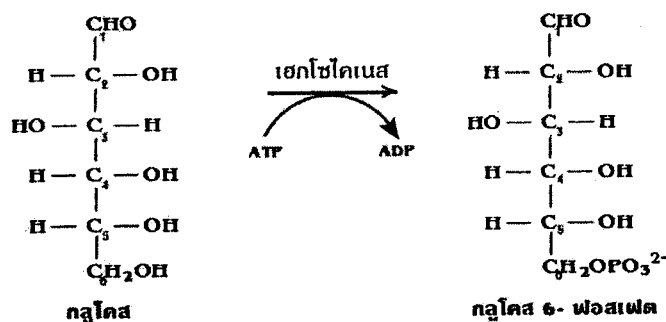
เป็นกระบวนการสลายน้ำตาลกลูโคส ซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอม ให้เป็นกรดไพรูวิก (Pyruvic acid) หรือไพรูเวต (Pyruvate) ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม 2 โมเลกุล ปฏิกริยาแบ่งเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรกมีการใช้พลังงานในการกระตุ้นกระบวนการ 2 ATP ส่วนกระบวนการหลังมีการสร้างพลังงาน 4 ATP และมีการดึงไฮโดรเจนออกมาโดย 2 NAD⁺ เป็น 2 NADH + 2H⁺ ดังสมการรวม



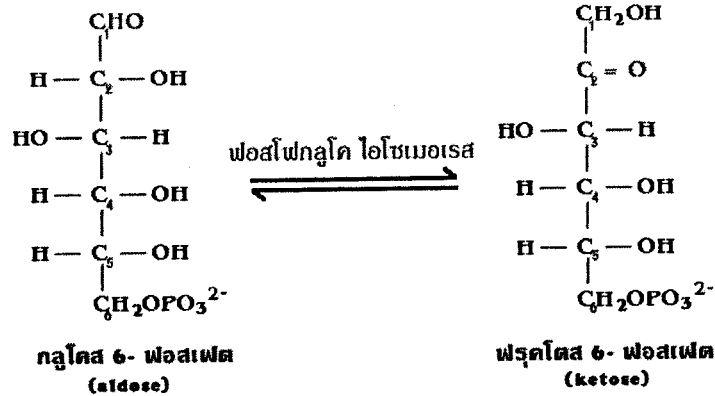
ไกลโคไลซิส (glycolysis) เป็นกระบวนการสลายกลูโคสที่เกิดขึ้นต่อเนื่องหลายขั้นตอนให้เกิดขึ้นเป็นไพรูเวต (pyruvate) โดยจะได้พลังงานทั้งในรูป ATP และ NADH (ซึ่งเก็บพลังงานเคมีไว้ในตัว) กระบวนการนี้เกิดขึ้นกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยเกิดขึ้นในส่วนไซโทซอล เป็นปฏิกริยาที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน คือเกิดได้ไม่ว่าจะมีออกซิเจนหรือไม่มีก็ตาม แต่ไพรูเวตที่เกิดขึ้นนั้นสามารถถูกนำไปใช้ต่อได้ทั้งในแบบปฏิกริยาที่ใช้ออกซิเจน โดยผ่านทางวัฏจักรเครปส์ และระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน หรือไม่ใช้ออกซิเจนโดยเปลี่ยนเป็นเอทานอล (ethanol) ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ (alcohol fermentation) หรือเปลี่ยนเป็นแลคเตต (lactate) ดังที่เกิดขึ้นในการทำงานของกล้ามเนื้อลายขณะที่ยกน้ำหนัก

ปฏิกริยาของวิถีไกลโคไลซิสโดยละเอียด แบ่งได้เป็น 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

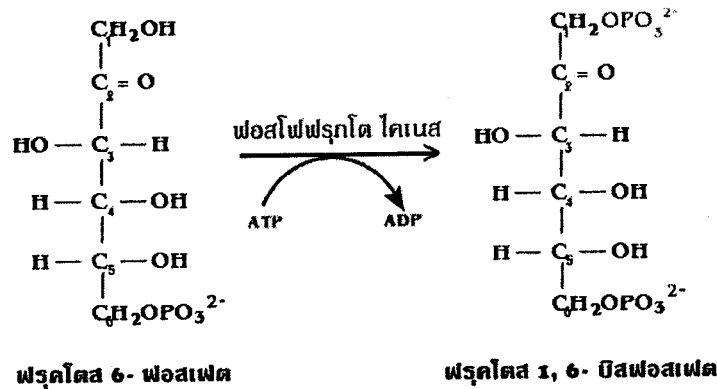
1. กลูโคสเข้าไปในเซลล์ และถูกเติมหมู่ฟอสเฟต กลายเป็น กลูโคส-6-ฟอสเฟต (glucose-6-phosphate) โดยเอนไซม์ เฮกโซไคเนส (hexokinase) ปฏิกริยานี้ใช้ ATP เป็นตัวให้หมู่ฟอสเฟตแก่กลูโคสที่ตำแหน่ง C₆



2. กลูโคส-6-ฟอสเฟต เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็น ฟรุคโตส-6-ฟอสเฟต (fructose-6-phosphate) โดยเอนไซม์ ฟอสโฟกลูโค ไอโซเมอเรส (phosphoglucose isomerase) ในขั้นนี้เป็นการเปลี่ยนจากน้ำตาล aldose เป็น น้ำตาล ketose

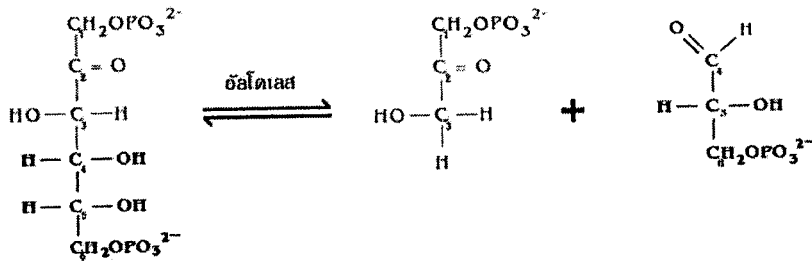


3. ในขั้นตอนนี้เป็นการเติมหมู่ฟอสเฟตให้แก่ฟรุกโตส-6-ฟอสเฟต กลายเป็น ฟรุกโตส-1,6-บิสฟอสเฟต (fructose-1,6-bisphosphate) ปฏิกิริยานี้เร่ง โดยเอนไซม์ ฟอสโฟฟรุกโต ไคเนส (phosphofructo kinase) โดยใช้ ATP เป็นตัวให้หมู่ฟอสเฟตแก่ ฟรุกโตส-6-ฟอสเฟตที่ตำแหน่ง C₁



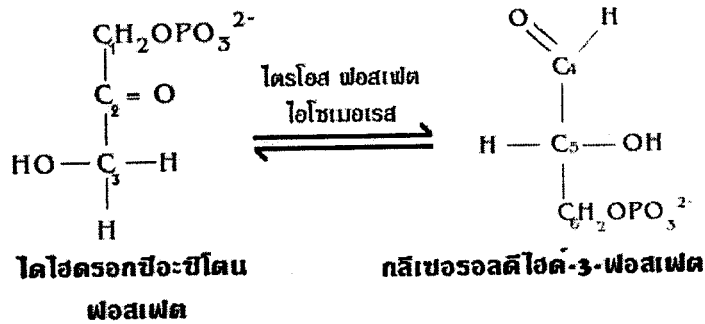
ขั้นตอนนี้มีการใช้ ATP อีก 1 โมเลกุล น้ำตาลที่มีหมู่ฟอสเฟตอยู่ที่ปลายทั้ง 2 ข้าง พร้อมทั้งแยก (แบ่งครึ่ง) ออกเป็น 2 โมเลกุล

4. ฟรุกโตส-1,6-บิสฟอสเฟต (มี 6 คาร์บอนอะตอม) แยกออกเป็น 2 โมเลกุล ที่มี 3 คาร์บอนอะตอม คือกลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (glyceraldehyde-3-phosphate) และไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต (dihydroxyacetone phosphate) โดยใช้เอนไซม์อัลโดเลส (aldolase) น้ำตาล 2 โมเลกุลที่เกิดขึ้นนี้เป็น isomer ซึ่งกันและกัน



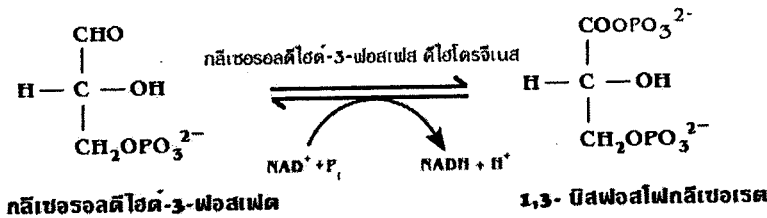
ฟรุกโตส 1, 6- บิสฟอสเฟต ไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต

5. เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นไปพร้อมกับขั้นที่ 4 คือ ไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต จะเปลี่ยนรูปร่างไปเป็นกลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟตโดยใช้เอนไซม์ ไตรโอส ฟอสเฟต ไอโซเมอเรส (triose phosphate isomerase) น้ำตาล 2 ตัวนี้ จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปมาได้



ปฏิกริยารวมของขั้นที่ 4 และ 5 นี้ คือได้กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟตจำนวน 2 โมเลกุล จากฟรุกโตส-1,6- บิสฟอสเฟต 1 โมเลกุล (จากกลูโคส 1 โมเลกุล) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นยับยั้งการของปฏิกริยาขั้นต่อไป

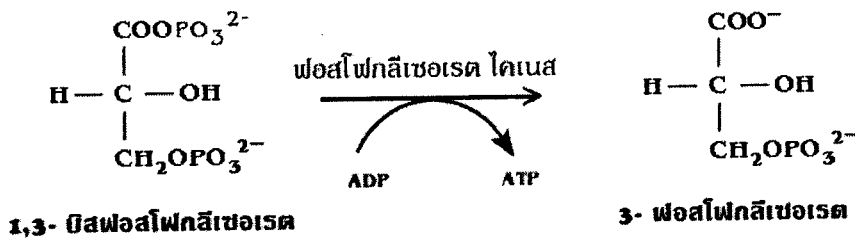
6. กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต เปลี่ยนไปเป็น 1,3-บิสฟอสโกลีเซอเรต (1,3-bisphosphoglycerate) โดยเอนไซม์กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส (glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase) ในขั้นนี้จะได้ NADH 1 โมเลกุล



ขั้นตอนนี้เป็นการเริ่มเก็บเกี่ยวพลังงานจากโมเลกุลของกลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต ไว้ในโมเลกุลของNADH ในปฏิกริยานี้ จะมี 2 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขั้นแรกน้ำตาลถูกออกซิไดซ์ โดยมีการให้อิเล็กตรอนและ H⁺ แก่ NAD⁺ เกิดเป็น NADH ปฏิกริยานี้ให้พลังงานออกมา ซึ่งนำไปใช้ในขั้นตอนการติดหมู่ฟอสเฟต (จาก P_i ในไซโทซอล) เข้ากับยับยั้งขั้นตอนนี้

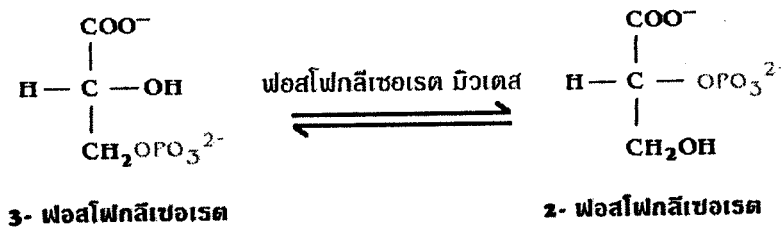
นี่เป็นการเตรียมซัสเตรตที่มีลักษณะเป็นสารพลังงานสูงที่สามารถมอบหมู่ฟอสเฟตให้แก่ตัวรับคือ ADP ในขั้นตอนต่อไป

7. 1,3-บิสฟอสโฟกลีเซอเรต ซึ่งเป็นสารพลังงานสูงที่สามารถให้หมู่ฟอสเฟต (ที่จับอยู่กับหมู่คาร์บอนิล) ให้แก่ตัวรับ คือ ADP โดยเอนไซม์ ฟอสโฟกลีเซอเรตไคเนส (phosphoglycerate kinase) จะเร่งปฏิกิริยาการโยกย้ายหมู่ฟอสเฟตจาก 1,3-บิสฟอสโฟกลีเซอเรตไปให้ ADP ได้เป็น ATP และ 3-ฟอสโฟกลีเซอเรต (3-phosphoglycerate)



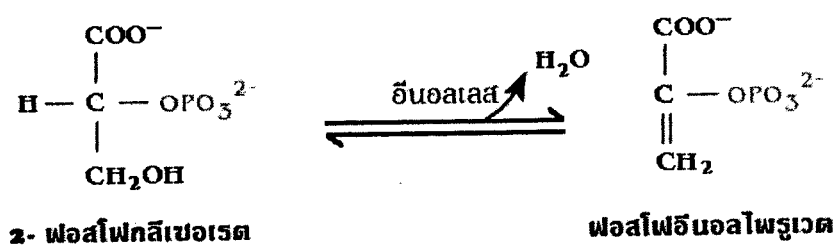
ในขั้นตอนที่ 6 และ 7 จะได้ NADH และ ATP อย่างละ 1 โมเลกุล

8. เป็นการโยกย้ายตำแหน่งของหมู่ฟอสเฟตของ 3-ฟอสโฟกลีเซอเรต โดยย้ายจาก ตำแหน่งที่ 3 ไปเป็นตำแหน่งที่ 2 ได้เป็น 2-ฟอสโฟกลีเซอเรต (2-phosphoglycerate) ปฏิกิริยานี้เร่งโดยเอนไซม์ฟอสโฟกลีเซอเรต มิวเตส (phosphoglycerate mutase)



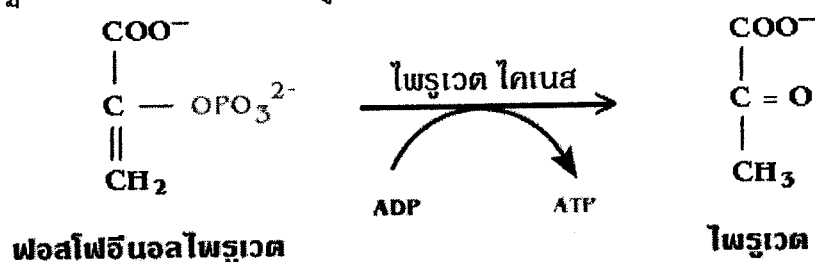
ขั้นตอนนี้เป็น การเตรียมซัสเตรตที่เหมาะสมที่จะเกิดปฏิกิริยา dehydration (คือ เอา H_2O ออกไป 1 โมเลกุล) ต่อไปได้

9. ในขั้นตอนนี้ 2-ฟอสโฟกลีเซอเรต จะเสีย H_2O ไป 1 โมเลกุล กลายเป็นฟอสโฟอินอลไพรูเวต (phosphoenolpyruvate) ปฏิกิริยานี้เร่งโดยเอนไซม์อินอลเลส (enolase)



ฟอสโฟอินอลไพรูเวต เป็นสารพลังงานสูงที่มีหมู่ฟอสเฟตจับกับหมู่อินอล (enol) ทำให้พันธะนี้ไม่ค่อขยู่ตัว สามารถมอบหมู่ฟอสเฟตให้แก่สารตัวรับ คือ ADP ได้ง่าย ขั้นตอนนี้เป็น การเตรียมซบสเตรตสำหรับปฏิกิริยาสร้าง ATP ในขั้นตอนต่อไป

10. ขั้นตอนนี้เป็นขั้นสุดท้ายของวิถีไกลโคลิซิส เป็นการสร้าง ATP โดย ฟอสโฟอินอลไพรูเวต จะให้หมู่ฟอสเฟตแก่ ADP ได้เป็น ATP แล้ว ตัวเองเปลี่ยนไปเป็นไพรูเวต ปฏิกิริยานี้เร่งโดยเอนไซม์ ไพรูเวต ไคเนส (pyruvate kinase)



โดยสรุป วิถีไกลโคลิซิสทั้ง 10 ขั้นตอน อาจแบ่งได้เป็น 2 ชั้นใหญ่ ตามพลังงานที่ใช้ไป และพลังงานที่สร้างขึ้นมา ดังนี้

ชั้นใช้พลังงาน : เป็นขั้นตอนที่ 1 – 5 เริ่มจากกลูโคสใช้ ATP ไป 2 โมเลกุล ในการเติมหมู่ฟอสเฟตให้แก่สารตั้งต้นและสารตัวกลาง

ชั้นได้พลังงาน : เป็นขั้นตอนที่ 6 – 10 เป็นขั้นที่ได้พลังงานคือ ATP 4 โมเลกุล และ NADH (เก็บพลังงานเคมีไว้ในตัว) 2 โมเลกุล ต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส

2. การสร้างแอสติลโคเอ (Acetyl Coenzyme A)

ขั้นตอนนี้เป็นจุดเชื่อมระหว่างไกลโคไลซิสกับวัฏจักรเครปส์ โดยมีกรดไพรูวิก เป็นสารเริ่มต้น กรดไพรูวิกแต่ละโมเลกุล จะผ่านเข้าสู่ไมโทคอนเดรียได้อย่างอิสระและจะทำปฏิกิริยากับโคเอนไซม์ เอ (Coenzyme A) ได้เป็นแอสติลโคเอ (Acetyl Coenzyme A) ซึ่งมีคาร์บอน 2 อะตอม ในปฏิกิริยานี้มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล และเปลี่ยน NAD^+ เป็น $\text{NADH} + \text{H}^+$ ต่อการสลายกรดไพรูวิก 1 โมเลกุล โดยมีเอนไซม์ไพรูเวตไฮโดรจีนเนสคอมเพล็กซ์ (pyruvate dehydrogenase complex) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น 2 เท่าด้วยเนื่องจากกลูโคส 1 โมเลกุล เปลี่ยนแปลงเป็นกรดไพรูวิก 2 โมเลกุล กล่าวโดยสรุป คือ การเปลี่ยนไพรูเวตเป็นแอสติล โคเอ นั้นเกิดขึ้นในไมโทคอนเดรีย ในปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน

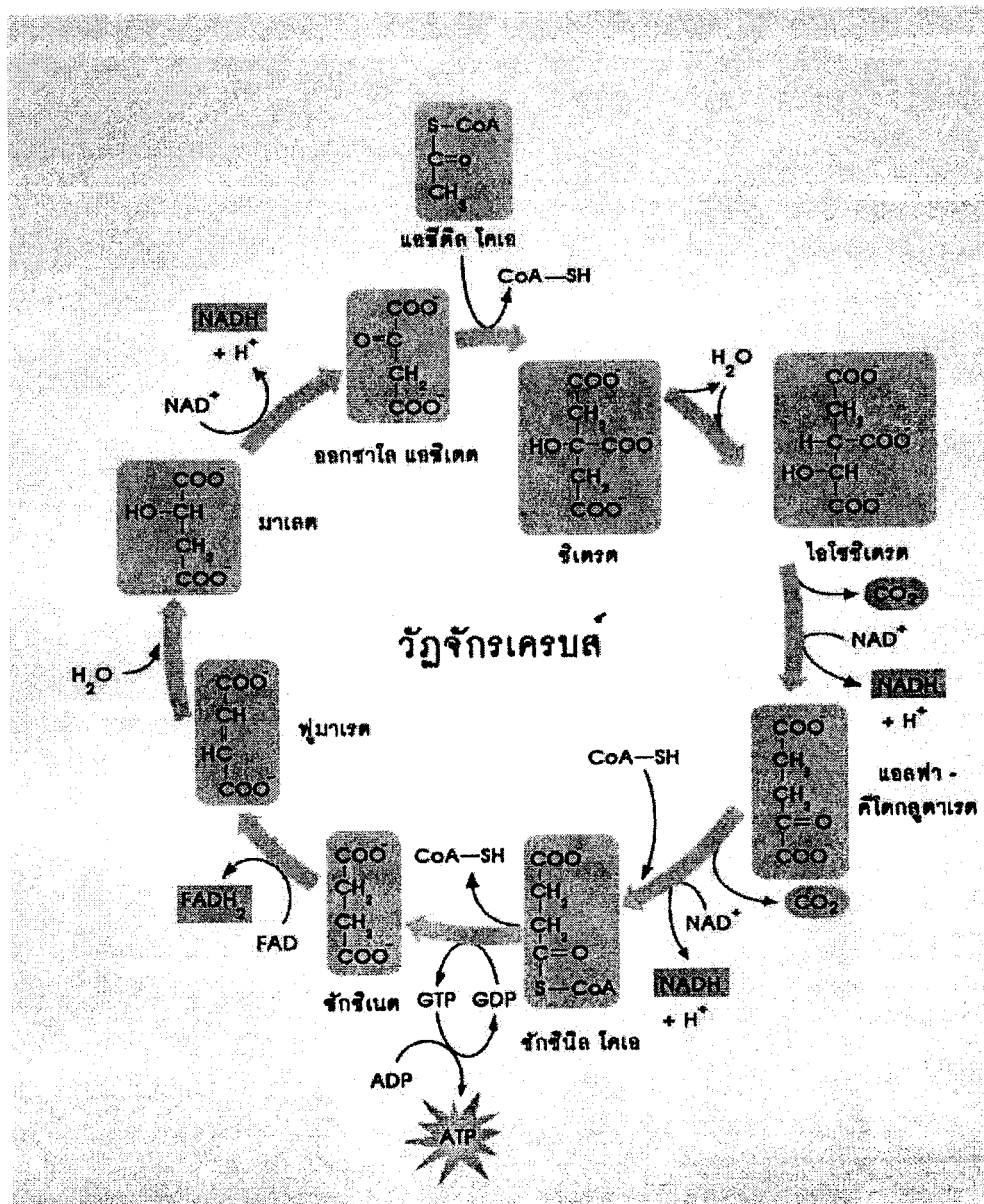
ขั้นแรก หมู่คาร์บอกซิลของไพรูเวตจะหลุดออก กลายเป็นแก๊ส CO_2 (เป็นขั้นตอนแรกในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ที่มี CO_2 เกิดขึ้น)

ขั้นที่ 2 ส่วนที่เหลือของไพรูเวต ซึ่งมี 2 คาร์บอนอะตอม ถูกออกซิไดส์ด้วย NAD^+ ได้เป็นแอซิเตต (คือกรดแอซิดที่ถูก ionized) และในปฏิกิริยานี้จะได้ NADH ซึ่งเป็นสารที่สะสมพลังงานเคมีไว้ในตัว

ขั้นสุดท้าย โคเอนไซม์เอจะถูกนำไปติดกับแอซิเตตด้วยพันธะที่ไม่ค่อยอยู่ตัวได้เป็นแอซิติล โคเอ ซึ่งจะช่วยให้แอซิติล โคเอ สามารถส่งหมู่อะซิเตตเข้าวัฏจักรเครบส์ (เพื่อถูกออกซิไดส์ต่อ) ได้อย่างง่าย

3. วัฏจักรเครบส์ (kerbs cycle)

วัฏจักรเครบส์ ถือว่าเป็นปลายทางของการสลายสารอินทรีย์ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และเป็นขั้นตอนที่มีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสารอินทรีย์ (จากสารอาหาร) ไว้ในรูปของอิเล็กตรอนพลังงานสูง หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการนำอิเล็กตรอนออกมาจากแอซิติล โคเอ และใช้อิเล็กตรอนนี้ในการสร้าง NADH และ FADH_2 ซึ่งเป็นสารที่สะสมพลังงานเคมีไว้ในตัว และจะนำไปใช้ในการสร้าง ATP ต่อไปในกระบวนการออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน (oxidative phosphorylation)



วัฏจักรเครบส์ประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนเร่งโดยเอนไซม์ที่จำเพาะของแต่ละปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

1. คาร์บอน 2 อะตอมของแอซิติล โคเอ เข้ามาในวัฏจักรโดยเกิดการรวมของหมู่แอซิติล กับออกซาโลแอซีเตตโดยใช้เอนไซม์ซิเตรต ซินเทส (citrate synthase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลผลิตเป็น ซิเตรต (citrate) และ CoA

2. ซิเตรตเปลี่ยนไปเป็น isomer ของมันคือไอโซซิเตรต (isocitrate) โดยใช้เอนไซม์ ไอโคไนเตส (aconitase) เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยานี้เกิดเป็น 2 ขั้นตอนย่อย คือ ขั้นแรก เป็นปฏิกิริยาเอาน้ำออกไป 1 โมเลกุล กลายเป็น ซิสอะโคไนเตต (cis-aconitate) ก่อน (ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในเวลาสั้นมาก) จากนั้น ซิสอะโคไนเตตจึงรวมตัวกับน้ำ 1 โมเลกุล เกิดเป็นไอโซซิเตรต (isocitrate)

3.เป็นขั้นตอนที่เกิดปฏิกิริยา decarboxylation คือให้แก๊ส CO_2 โดยไอโซซิเตรต จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นแอลฟา-คีโตกลูตาเรต (α -ketoglutarate) และให้ CO_2 ออกมา โดยใช้เอนไซม์ไอโซซิเตรต ดีไฮโดรจีเนส (isocitrate dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และขั้นตอนนี้มีการให้อิเล็กตรอนกับ NAD^+ กลายเป็น NADH

4.คาร์บอน 2 อะตอมของแอสिटิล โคเอ เข้ามาในวัฏจักรโดยเกิดการรวมของหมู่แอสिटิล กับออกซาโลแอสिटเตตโดยใช้เอนไซม์ซิเตรต ซินเทส (citrate synthase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิตเป็น ซิเตรต (citrate) และ CoA

5.หมู่ CoA ของซักซินิล โคเอ จะถูกแทนที่โดยหมู่ฟอสเฟต (P_i) ซึ่งพันธะนี้จะไม่อยู่ตัวจะส่งหมู่ฟอสเฟตต่อให้ GDP เกิดเป็น GTP และซักซินิล โคเอ เปลี่ยนเป็นซักซินเนต (succinate) เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยานี้คือ ซักซินิล โคเอ ซินทีเทส (succinyl CoA synthetase)

6.เอนไซม์ ซักซินเนต ดีไฮโดรจีเนส (succinate dehydrogenase) จะเปลี่ยนซักซินเนต ไปเป็น ฟูมาเรต (fumarate) ในปฏิกิริยารีดักชันนี้ ซักซินเนตจะให้ไฮโดรเจนแก่ FAD เกิดเป็น FADH_2 ซึ่งเป็นตัวสะสมพลังงานเคมีไว้ในตัว

7.เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะครบ 1 รอบของวัฏจักร คือเป็นการสร้างออกซาโลแอสिटเตต กลับคืนมาใหม่ มาเลตจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นออกซาโลแอสिटเตต ซึ่งเป็นสารตั้งต้น ที่จะไปรวมกับแอสिटิล โคเอตัวใหม่ เพื่อเข้ารอบใหม่ของวัฏจักรครบต่อไป ในขั้นตอนของการออกซิเดชันนี้ NAD^+ จะถูกรีดิวซ์ให้เป็น NADH (เก็บพลังงาน เคมีสะสมไว้ในตัว) ปฏิกิริยานี้เร่ง โดยเอนไซม์มาเลต ดีไฮโดรจีเนส (malate dehydrogenase)

8.เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะครบ 1 รอบของวัฏจักร คือเป็นการสร้างออกซาโลแอสिटเตต กลับคืนมาใหม่ มาเลตจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นออกซาโลแอสिटเตต ซึ่งเป็นสารตั้งต้น ที่จะไปรวมกับแอสिटิล โคเอตัวใหม่ เพื่อเข้ารอบใหม่ของวัฏจักรครบต่อไป ในขั้นตอนของการออกซิเดชันนี้ NAD^+ จะถูกรีดิวซ์ให้เป็น NADH (เก็บพลังงาน เคมีสะสมไว้ในตัว) ปฏิกิริยานี้เร่ง โดยเอนไซม์มาเลต ดีไฮโดรจีเนส (malate dehydrogenase)

ปฏิกิริยาทั้งหมดในวัฏจักรเครบส์ อาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ
 $\text{Acetyl-CoA} + 3\text{NAD}^+ + \text{FAD} + \text{GDP} + \text{P}_i + 2\text{H}_2\text{O}$



$3\text{NADH} + \text{FADH}_2 + \text{GTP} + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}^+ + \text{Co}$

วัฏจักรเครบส์ มีจุดสำคัญ ที่สรุปได้ดังนี้

1. คาร์บอน 2 อะตอม (จาก acetyl CoA) เข้ามาในวัฏจักร และคาร์บอน 2 อะตอม ออกไปในรูปของ CO_2

2. ไฮโดรเจนอะตอม 4 คู่ ออกไปจากวัฏจักรในปฏิกิริยาออกซิเดชัน 4 ปฏิกิริยา

- NAD^+ 2 โมเลกุลถูกรีดิวซ์ได้เป็น NADH ในปฏิกิริยา oxidative decarboxylation (ออกซิเดชัน และเอา CO_2 ออก) จำนวน 2 ปฏิกิริยา

- FAD 1 โมเลกุลถูกรีดิวซ์ได้เป็น FADH_2 ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของ succinate

- NAD^+ อีก 1 โมเลกุล ถูกรีดิวซ์ได้เป็น NADH ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของ malate

3. ได้สารพลังงานสูง GTP 1 โมเลกุล ซึ่งเกิดจากแตกของพันธะ thioester ของ succinyl CoA GTP นี้จะถูกนำไปสร้างต่อเป็น ATP โดยการให้หมู่ฟอสเฟตโดยตรงแก่ ADP ให้เป็น ATP วิธีการนี้เรียกว่า substrate-level phosphorylation

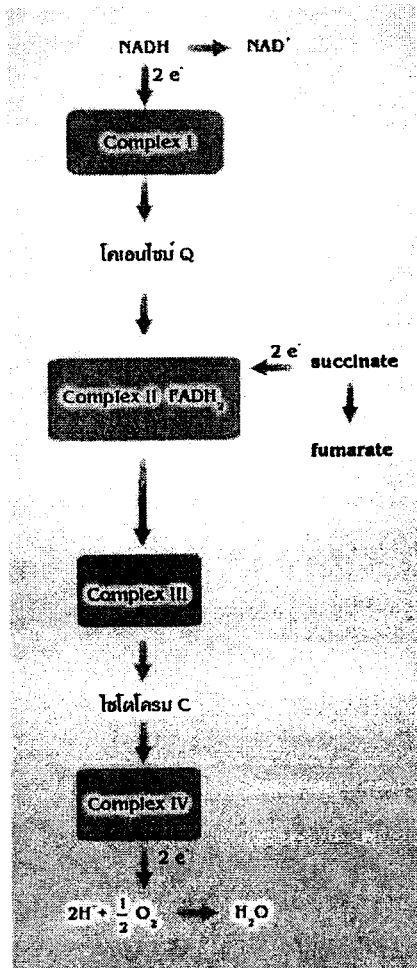
ในขั้นต่อไป ของกระบวนการหายใจระดับเซลล์ จะมีการออกซิเดชันของ NADH และ FADH_2 ที่ได้จากวัฏจักรเครบส์ในระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน ผลสุดท้ายสามารถได้ ATP 9 โมเลกุล ซึ่งเมื่อรวมกับอีก 1 ATP ที่ได้จากวัฏจักรเครบส์เอง ก็แสดงว่าการเข้ามาของคาร์บอน 2 อะตอม จาก 1 โมเลกุลของ acetyl CoA (มาจาก pyruvate 1 โมเลกุล เป็นต้น) จะให้ 10 ATP

4.ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน (Electron Transport system)

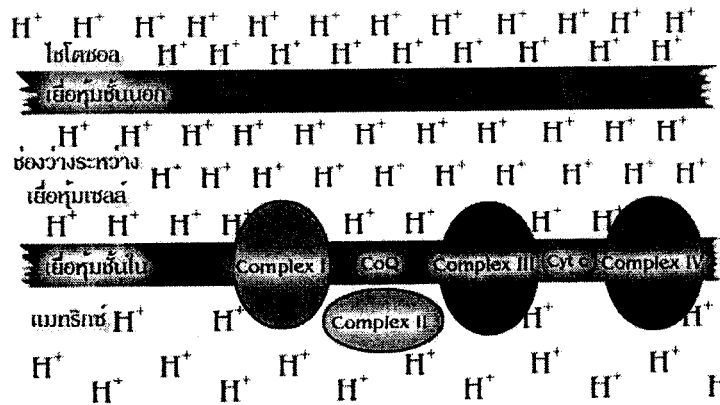
กระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอน เกิดขึ้นในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย เป็นกระบวนการที่เกิดต่อเนื่องจากวัฏจักรเครบส์ แหล่งของอิเล็กตรอนคือ NADH และ FADH_2 ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดซ์ อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งต่อเป็นทอดๆ ผ่านตัวนำอิเล็กตรอนหลายตัวไปจนถึงปลายสุดของระบบ อิเล็กตรอนจะไปรีดิวซ์ O_2 ให้เป็น H_2O กระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนในการหายใจ (respiration) ระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอนเป็นช่วงๆ จะเกิดพลังงาน

อิสระซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้าง ATP ด้วยกระบวนการที่เรียกว่าออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน (oxidative phosphorylation) การสร้าง ATP ในกระบวนการนี้ไม่ใช่การสร้าง ATP โดยตรงแบบ substrate-level phosphorylation (ย้ายหมู่ฟอสเฟตของซับสเตรตซึ่งเป็นสารพลังงานสูงให้ ADP) เหมือนที่สร้างจากวิถีไกล โคลิซิสและวัฏจักรเครบส์ แต่จะเป็นการสร้างแบบที่ต้องมีการเชื่อมโยงกับการออกซิเดชันในระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดการปั๊มของโปรตอนผ่านเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นเป็นทอดๆ ผ่านตัวนำอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นกลุ่มของโปรตีน (ซึ่งหลายตัวเป็นเอนไซม์) และมีโคเอนไซม์ และโคแฟกเตอร์หลายตัวรวมอยู่ด้วยกัน กลุ่มโปรตีนเหล่านี้ ได้แก่ complex I, II, III และ IV ลำดับของการถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้ ดังรูป



องค์ประกอบของระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน คือ complex I, II, III และ IV ฝังตัวอยู่บนเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย (ดังแสดงในรูป) นอกจากกลุ่มโปรตีน 4 กลุ่มนี้ ยังมีโคเอนไซม์ Q และ ไซโตโครม c (cytochrome c) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้เพื่อช่วยในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนระหว่างกลุ่มโปรตีน ดังกล่าว



การสร้าง ATP โดยวิธีการที่เรียกว่า ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟริเลชัน ในกระบวนการหายใจนี้ จะคล้ายกับในเรื่องของการสังเคราะห์ด้วยแสง พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเป็นช่วงๆ ในระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะนำไปใช้ในการปั๊มโปรตอน (H⁺) ในที่นี้คือจากส่วนเมทริกซ์ไปที่ช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในและชั้นนอกของไมโทคอนเดรีย โปรตอนจะสะสมอยู่ด้านนอกมาก และจะเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของ H⁺ ของทั้ง 2 ฝั่งมาก (proton gradient) สภาพเช่นนี้ทำให้ pH ของด้านนอกต่ำกว่าของด้านใน (ประมาณ 1 หน่วย) และทำให้เกิดความต่างศักย์บนเยื่อหุ้ม คือเยื่อหุ้มชั้นในทางด้านช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์มีสภาพเป็นบวก และทางด้านเมทริกซ์มีสภาพเป็นลบ

ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณ โปรตอน ที่สะสมอยู่ในทางด้านนอกของเยื่อหุ้มชั้นในจะสูงกว่าทางด้านเมทริกซ์มากแต่เยื่อหุ้มนี้จะไม่ยอมให้ H⁺ ซึมผ่านกลับไปยังด้านเมทริกซ์โดยอิสระได้ตลอดทุกพื้นที่ของเยื่อหุ้ม แต่ H⁺ จะผ่านไปได้เฉพาะบริเวณจำเพาะที่อยู่บนเยื่อหุ้มชั้นในเท่านั้น ซึ่งช่อง (channel) ที่ H⁺ ผ่านนี้เป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์ ATP synthase ที่กระจายอยู่ตลอดบนเยื่อหุ้มชั้นใน ขณะที่ H⁺ ผ่านช่องดังกล่าวเพื่อกลับสู่เมทริกซ์จะเกิดพลังงานที่ใช้สร้าง ATP ในขณะนั้นเลย

สรุปได้ว่า แหล่งพลังงานที่ใช้สร้าง ATP มาจากความแตกต่างของโปรตอนระหว่าง 2 ด้าน ของเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

กลไกการถ่ายทอดอิเล็กตรอนอาจแบ่งได้เป็น 4 ช่วง

- 1) NADH ส่งอิเล็กตรอนให้ complex I
- 2) FADH₂ ส่งอิเล็กตรอนให้ complex II
- 3) อิเล็กตรอนถูกถ่ายทอดจากโคเอนไซม์ Q ผ่าน complex III ไปยังไซโตโครม c
- 4) อิเล็กตรอนถูกส่งจากไซโตโครม c ไปยัง O₂ ผ่าน complex IV

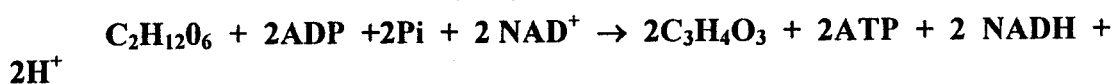
ระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน $\text{NADH} + \text{H}^+$ และ FADH_2 ในสภาพรีดิวซ์ซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนจากการสลายกลูโคส ตั้งแต่ขั้นไกลโคไลซิสจนถึงวัฏจักรเครปส์ $\text{NADH} + \text{H}^+$ และ FADH_2 จะถ่ายทอดอิเล็กตรอนของไฮโดรเจนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนอื่น ๆ เช่น โคเอนไซม์ Q, ไซโตโครม b, ไซโตโครม c, ไซโตโครม a+a₃ และก๊าซออกซิเจนตามลำดับ ขณะถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะมีการปล่อยพลังงานออกมาด้วย ซึ่งถ้าพลังงานที่ปล่อยออกมาเกิน 7.3 กิโลแคลอรีต่อโมล ก็จะสามารถสร้าง ATP ได้ พลังงานที่เหลือจะถูกปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อนซึ่งทำให้ร่างกายอบอุ่นตลอดเวลา

$\text{NADH} + \text{H}^+$ 1 โมเลกุลให้ ATP 3 โมเลกุล

FADH_2 1 โมเลกุลให้ ATP 2 โมเลกุล

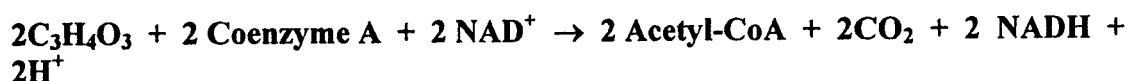
สรุปพลังงานที่ได้ในขั้นต่าง ๆ

1. ไกลโคไลซิส (Glycolysis)



ได้พลังงานในช่วงนี้ 2 ATP ($4\text{ATP} - 2\text{ATP} = 2\text{ATP}$) และได้ $2\text{NADH} + 2\text{H}^+$ (ยังไม่ให้พลังงาน)

2. การสร้างแอสติลโคเอ (Acetyl Coenzyme A)



ไม่ได้พลังงานในรูป ATP เลย และได้ $2\text{NADH} + 2\text{H}^+$ (ยังไม่ให้พลังงาน)

3. วัฏจักรเครปส์ (Krebs cycle)

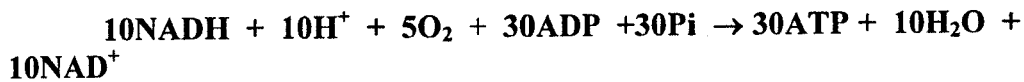


ได้พลังงานในช่วงนี้ 2 GTP ซึ่งเท่ากับ 2 ATP และได้ $6\text{NADH} + 6\text{H}^+$, 2FADH_2 ($6\text{NADH} + 6\text{H}^+$, 2FADH_2 ยังไม่ให้พลังงาน)

4. ระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron Transport system)

NADH + H⁺ ทั้งหมด 10 โมเลกุล

FADH₂ ทั้งหมด 2 โมเลกุล



ดังนั้นพลังงานที่ได้จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนทั้งหมด 34 ATP

พลังงานที่ได้ทั้งสิ้น 38 ATP

คือ 2 ATP (ไกลโคไลซิส) + 2 ATP (วัฏจักรเครปส์) + 34 ATP (ระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน)

สรุปการหายใจที่สมบูรณ์



การสลายไขมัน

ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน ไขมันจะถูกย่อยโดยน้ำย่อยไลเปสให้เป็น กลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมัน (fatty acid)

กลีเซอรอลที่ได้จากการย่อยสลายไขมันเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารตัวกลางในกระบวนการไกลโคไลซิส คือ กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (glyceraldehyde-3-phosphate) ซึ่งจะสลายตัวต่อไปในกระบวนการไกลโคไลซิสและวัฏจักรเครปส์ต่อไป

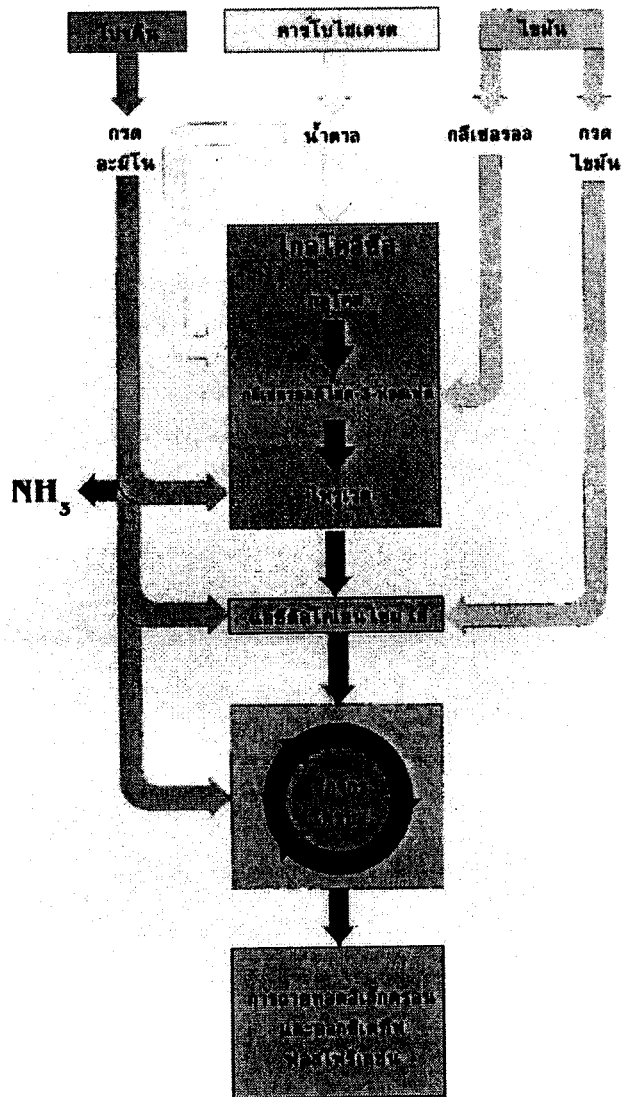
การสลายกรดไขมัน กรดไขมัน (เก็บพลังงานส่วนใหญ่ของไขมันไว้) จะผ่านกระบวนการที่เรียกว่าเบต้า-ออกซิเดชัน (β-oxidation) เพื่อสร้างเป็นแอซิติล โคเอ เพื่อเข้าไปในวัฏจักรเครปส์โดยตรง

การสลายโปรตีน

สารอาหารประเภทโปรตีน จะถูกย่อยก่อน เพื่อให้ได้เป็นกรดอะมิโนต่างๆ ชนิด เซลล์นำกรดอะมิโนไปใช้สร้างโปรตีนชนิดอื่นๆ ที่ร่างกายต้องใช้ แต่ถ้ามีมากก็จะถูกเปลี่ยนเป็นสารที่สามารถเข้าไปในวิถีไกลโคไลซิสและวัฏจักรเครปส์ได้ แต่ทั้งนี้ต้องมีการเอาหมู่แอมโมเนีย (NH₃) ออกไปก่อน กรดอะมิโนบางชนิดสามารถเปลี่ยนเป็นไพรูเวตได้ บางชนิดเปลี่ยนเป็นแอซิติล โคเอ บางชนิดเปลี่ยนเป็นสารตัวกลางอื่นๆ ในวัฏจักรเครปส์ เช่น ออกซาโลแอซิติต เป็นต้น

การสลายตัวของสารอาหารประเภทต่างๆ เพื่อให้ได้พลังงานในกระบวนการหายใจระดับเซลล์ หน่วยย่อยของสารอาหาร ได้แก่ กรดอะมิโนของ โปรตีน กลีเซอรอล และกรดไขมันของไขมัน และน้ำตาลของคาร์โบไฮเดรต จะสามารถเข้าสู่วิถีไกลโคลิซิสและวัฏจักรเครบส์ที่จุดต่างๆ ดังแสดงในรูป ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อไกลโคลิซิสแบ่งในรูปของไกลโคเจน (และ starch ซึ่ง เป็นแป้งในพืช) และน้ำตาลอื่นๆ สามารถเข้าสู่วิถีไกลโคลิซิสโดยเปลี่ยนเป็นสารตัวกลางต่างๆ ในวิถีไกลโคลิซิส

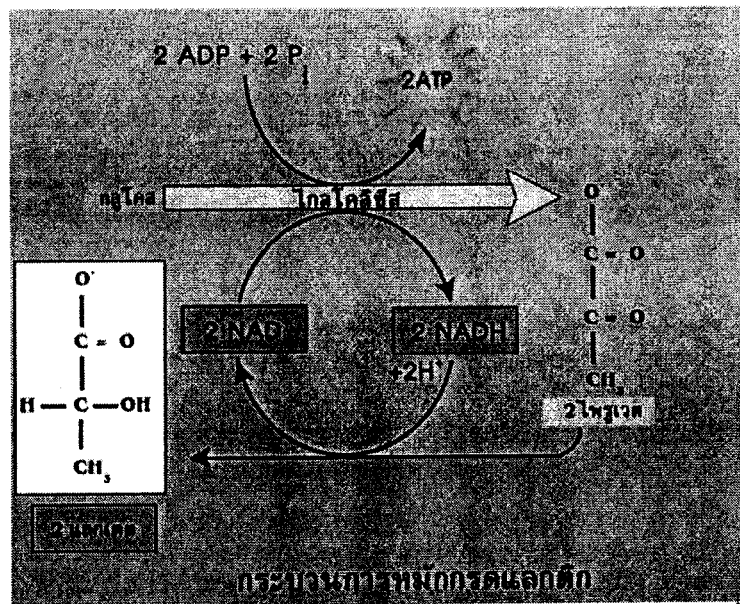
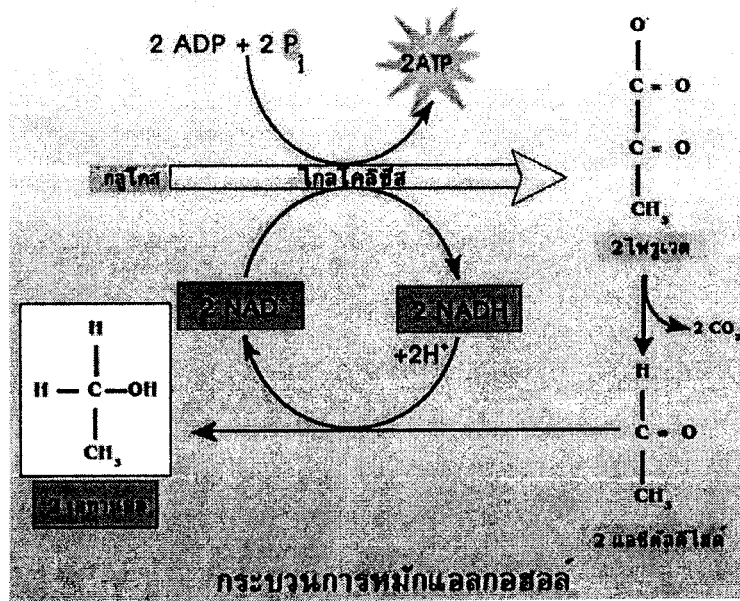
สารอาหารทุกประเภท คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน สามารถเข้าสู่วิถีไกลโคลิซิส และวัฏจักรเครบส์เพื่อให้พลังงานได้หลายจุด ดังภาพ



2. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration)

ถ้ามีออกซิเจน ไพรูเวตจะเปลี่ยนเป็นแอซิติล โคเอ เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ตามขั้นตอนของกระบวนการหายใจ (cellular respiration) เพื่อให้ได้ ATP ซึ่ง ATP ส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการออกซิเดทีฟ ฟอสโฟริเลชัน (oxidative phosphorylation)

ในกรณีที่ไม่มีออกซิเจน ATP ที่ได้จะมาจากกระบวนการ substrate-level phosphorylation ขณะที่กลูโคสเปลี่ยนเป็นไพรูเวต จากนั้นผลผลิตสุดท้ายของไกลโคลิซิส คือ ไพรูเวต ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อจะออกซิไดซ์ NADH กลับไปเป็น NAD^+ ซึ่งสามารถถูกนำกลับไปใช้ใหม่ในวิถีไกลโคลิซิส ผลผลิตสุดท้าย (ที่ถือว่าเป็นของเสีย) จากกระบวนการหมักดังแสดงในรูป อาจจะ เป็นแอลกอฮอล์ (ethanol) หรือแลคเตต (lactate) ซึ่งเป็น lactic acid ในรูปที่แตกตัว (ionized) แล้ว



จุลินทรีย์บางชนิด รวมทั้งยีสต์และแบคทีเรียหลายชนิด สามารถเลือกใช้ทั้งสองกระบวนการนี้ในการสร้างพลังงาน จุลินทรีย์จำพวกนี้เรียกว่า facultative anaerobes

ในระดับเซลล์ กล้ามเนื้อก็สามารถใช้ทั้งสองกระบวนการดังกล่าวเช่นกัน ขึ้นกับระดับพลังงานที่กล้ามเนื้อต้องการใช้ ในขณะที่กล้ามเนื้อทำงานตามปกติ ไพรูเวตจะเปลี่ยนเป็นแอซิติลโคเอ (acetyl CoA) และเกิดการออกซิเดชันต่อในวัฏจักรเครบส์ ในสภาวะที่กล้ามเนื้อทำงานหนักมากและต้องใช้พลังงานมาก อัตราของการเกิดไกลโคไลซิสจะสูงเกินกว่าที่วัฏจักรเครบส์จะรับช่วงต่อได้ ดังนั้น ไพรูเวตส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นแลกเตต กล่าวคือ ไพรูเวตจะเปลี่ยนบทบาทตัวเองไปทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เพื่อสร้าง NAD^+ (จากการออกซิไดซ์ $NADH$) สำหรับไว้ใช้ในวิถี

ไกลโคลิซิส แลกเตตที่ได้จากกระบวนการหมักในกล้ามเนื้อนั้นเป็นของเสียที่กล้ามเนื้อจะต้องส่งออกสู่กระแสเลือดไปยังตับ ซึ่งตับจะมีความสามารถในการเปลี่ยนแลกเตตให้กลับเป็นกลูโคสได้อีก กระบวนการนี้เรียกว่า กลูโคเนโอเจเนซิส (gluconeogenesis) การที่กลูโคสเปลี่ยนเป็นแลกเตตในกล้ามเนื้อ และตับนำแลกเตตนี้มาสร้างเป็นกลูโคสใหม่ เพื่อส่งให้กล้ามเนื้อใช้ (ในกรณีที่กล้ามเนื้อทำงานหนัก) วนเวียนไปมาเช่นนี้เกิดเป็นวัฏจักรที่มีชื่อเรียกว่า วัฏจักรคอริ (Cori cycle) ซึ่งเป็นการตั้งชื่อตามชื่อนักวิทยาศาสตร์รางวัล โนเบลสามีและภรรยา (Larl และ Gerly Cori) ที่ค้นพบวัฏจักรนี้

ภาคผนวก ง

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาชีววิทยา
เรื่อง การหายใจระดับเซลล์ วิชาชีววิทยา ช่วงชั้นที่ 4

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์
Cellular Respiration



โดย อ.รวิวรรณ ทองศรีแก้ว

INDEX

บทนำ

- 1. บทนำ
- 2. บทนำ
- 3. บทนำ
- 4. บทนำ
- 5. บทนำ

บทที่ 1

- 1. บทนำ
- 2. บทนำ
- 3. บทนำ
- 4. บทนำ
- 5. บทนำ

บทที่ 2

- 1. บทนำ
- 2. บทนำ
- 3. บทนำ
- 4. บทนำ
- 5. บทนำ





แบบทดสอบก่อนเรียน
Cellular Respiration

1. กางหาหัวใจเกิดขึ้นที่ส่วนใดของเซลล์มากที่สุด

- 1) nucleus
- 2) endoplasmic reticulum
- 3) mitochondria
- 4) cytoplasm

คำตอบ !!

ตอบก่อนนะ

คำตอบ ไม่เป็นไร

Question 1 of 20

Clear Back Next Submit

แบบทดสอบก่อนเรียน

2. เมื่อมีการหายใจเกิดขึ้น ออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารใด

- 1) คาร์บอนไดออกไซด์
- * 2) H₂O
- 3) คาร์บอนมอนอกไซด์
- 4) คาร์บอนไดออกไซด์ และ H₂O

Question 2 of 20

แบบทดสอบก่อนเรียน

3. ข้อใดไม่เป็นจริงเกี่ยวกับกระบวนการไกลโคไลซิส

- 1) มีกระบวนการฟอสโฟรีเลชัน
- 2) เกิดได้ทั้งการหายใจแบบไร้ออกซิเจน
- 3) มีการสร้างน้ำตาล 3 คาร์บอน
- * 4) ไม่มีการสร้าง NADH

Question 3 of 20

แบบทดสอบก่อนเรียน


4. ผลิตภัณฑ์ของ Acetyl Co.A ที่เข้าสู่วิถีวัฏจักรเครปส์จะให้รูปแบบของสารได้น้ำ และออกสารอะไร

- 1) 1 ATP , 2NADH , 2FADH2
- 2) 1 ATP , 3NADH , 1FADH2
- 3) 2 ATP , 2NADH , 1FADH2
- 4) 2 ATP , 3NADH , 1FADH2

เหนือทุก ๆ

กลับคืน

ฟูตไป



Question 4 of 20

Clear
Back
Next
Submit

แบบทดสอบก่อนเรียน

5. ผลิตภัณฑ์ในวัฏจักรเครปส์ พลังงานส่วนใหญ่ที่ปลดปล่อยจากน้ำตาลกลูโคสถูกดัดแปลงไปให้สายใด


ก.NADPH ข.NADH ค.FADH2 ง.ATP

- 1) ก , ข
- 2) ข , ค
- 3) ก , ค , ง
- 4) ข , ค , ง

ถูกต้อง

ผิด

ผิด



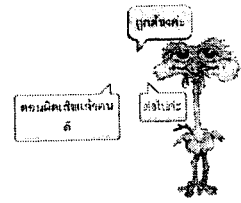
Question 5 of 20

Clear
Back
Next
Submit

แบบทดสอบก่อนเรียน

6. ระดับพลังงานของสารต่าง ๆ ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเป็นอย่างไร

- Ⓐ 1) FAD , NADH , ไฮโดรเจน b , e
- Ⓑ 2) NADH , FAD , ไฮโดรเจน b , c
- Ⓒ 3) ไฮโดรเจน a , b , c , FAD , NADH
- Ⓓ 4) ไฮโดรเจน b , a , c , NADH , FAD




Question 6 of 20

Clear Back Next Submit

แบบทดสอบ

7. ข้อใดต่อไปนี้ เป็นข้อแตกต่างระหว่าง Fermentation และการหายใจระดับเซลล์

- Ⓐ 1) การหายใจระดับเซลล์เท่านั้นที่ผลิตเอทีพีจากไกลโคไลซิส
- Ⓑ 2) NAD ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดส์
- Ⓒ 3) ในกระบวนการหายใจระดับเซลล์เท่านั้น
- Ⓓ 4) การสร้าง ATP ที่เกิดใน Cytoplasm
- Ⓔ 5) เกิดเฉพาะการหายใจระดับเซลล์
- Ⓕ 6) NADH จะถูกออกซิไดส์ในกระบวนการ Electron transport chain เฉพาะการหายใจระดับเซลล์



Question 7 of 20

Clear Back Next Submit

แบบทดสอบก่อนเรียน

8.สารในข้อใดถูกใช้ในกระบวนการไกลโคไลซิส

- Ⓐ 1) กรดอะมิโน และกลีเซอรอล
- Ⓑ 2) กรดไขมัน และกลีเซอรอล
- Ⓒ 3) ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมัน
- Ⓓ 4) กรดอะมิโน กรดไขมัน และกลีเซอรอล

ถูกต้องค่ะ

ไปถูก:

ขอต่อไป:

Question 8 of 20

Clear Back Next Submit

แบบทดสอบก่อนเรียน

9.กระบวนการสลายคาร์โบไฮเดรตและไขมันแตกต่างกันในข้อใด

- Ⓐ 1) ไขมันให้พลังงานน้อยกว่า แต่ให้พลังงาน
- Ⓑ 2) ไขมันให้พลังงานมากกว่า แต่ให้พลังงานน้อย
- Ⓒ 3) ไขมันให้พลังงานมากกว่า แต่ให้พลังงาน
- Ⓓ 4) ไขมันให้พลังงานน้อยกว่า แต่ให้พลังงานน้อย

ถูกต้องค่ะ

ผิดจ้าค่ะ

ต่อไป:

Question 9 of 20

Clear Back Next Submit

แบบทดสอบก่อนเรียน

10. ถ้าเซลล์จำเป็นต้องนำโปรตีนใช้เป็นวัตถุดิบในการหาใจ อีเล็กตรอนพลังงานสูงที่ได้จากการสลายโปรตีนส่วนใหญ่จะถูกดึงมาจากโปรตีนในกระบวนการใด

- 1) ไกลโคไลซิส
- 2) กระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอน
- 3) วัฏจักรเครปส์
- 4) การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์

เก่งมากค่ะ

ยังไม่ถูก

ขอคะแนนที่ทำงานบ้าง

Question 10 of 20

Clear Back Next Submit

บพนำ

บพนำ บพนำ บพนำ บพนำ

บทนำ

การหายใจระดับเซลล์ เป็นกระบวนการที่มีชีวิตเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์ให้เป็นพลังงานที่จะนำไปใช้ในเซลล์ได้ การหายใจอาจเปรียบได้กับการเผาไหม้ทั่ว ๆ ไป เมื่อเกิดการเผาไหม้สิ่งใดที่พลังงานออกมา การหายใจระดับเซลล์มีส่วนที่แตกต่างจากการเผาไหม้ทั่ว ๆ ไป คือ

1. การหายใจเป็นการเผาไหม้ที่ควบคุมได้โดยเอนไซม์ ซึ่งจะควบคุมให้สารเริ่มต้นหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หลอดตัว ทำให้พลังงานถูกปล่อยออกมาทีละน้อย และยังสามารถนำไปใช้งานเป็นสารประกอบเซลล์อื่นได้
2. พลังงานที่ได้จากการหายใจนั้นจะสะสมไว้ในรูปของสารเคมีที่มีพลังงานสูง คือ ATP ซึ่งไม่ทำให้จุดศูนย์กลางของเซลล์สูงเกินไปถึงขั้นเป็นอันตราย

food → Energy (ATP)

(บทนำ) (บทที่ 1) (หน้า 2)

บทนำ

การหายใจระดับเซลล์เกิดขึ้นในเซลล์สิ่งมีชีวิต โดยจะเกิดในไมโทคอนไดรียของเซลล์และในไมโทคอนเดรีย โดยแบ่งขั้นตอนการเกิดเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ตามลำดับที่กล่าวถึง คือ

1. ในสภาวะปกติที่อุณหภูมิร่างกายที่ได้อากาศจะเข้าสู่ปอดและเข้าไปในเซลล์สิ่งมีชีวิตและถูกนำไปใช้ในกระบวนการ Glycolysis (ไกลโคไลซิส) ซึ่งเกิดในไซโทพลาซึม โดยผลผลิตสุดท้ายจากกระบวนการ Glycolysis คือ Pyruvic Acid

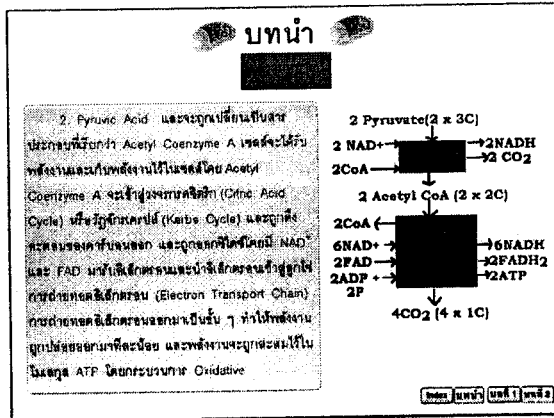
Glucose (6C) → 2 PGAL (2 x 3C) → 2 Pyruvate (2 x 3C)

2 ATP → 2 ADP

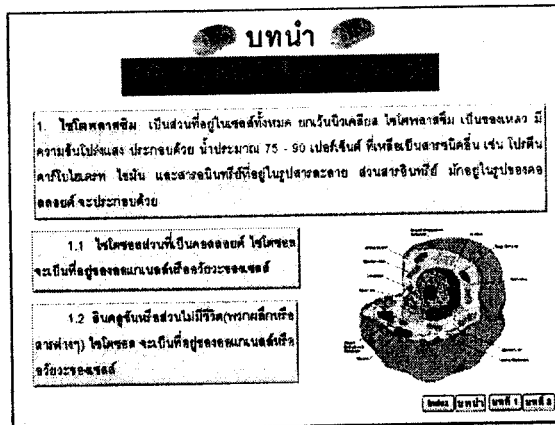
2 NAD⁺ → 2 NADH

4 ADP → 4 ATP

(บทนำ) (บทที่ 1) (หน้า 2)



staff.jccc.net/pdecell/bio122/krebs.gif



บทนำ

หน้าที่ของไซโทพลาซึม ได้แก่ เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีของเซลล์ อลาวยัตถุคินเพื่อให้เกิดพลังงานและสิ่งทำงานสำหรับเซลล์ สังกะาะให้สารที่จำเป็นสำหรับเซลล์ เป็นที่เก็บสะสมยัตถุคินสำหรับเซลล์ เกี่ยวข้องกับกระบวนการเข้าชั้นฝ่ายของเซลล์



Index บทนำ บทที่ 1 บทที่ 2

บทนำ

Mitochondria

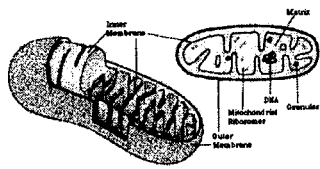


2. ไมโทคอนเดรีย เป็นออร์แกเนลล์ที่มีระบบเมมเบรนพับซ้อน ประกอบด้วยเมมเบรน 2 ชั้น เมมเบรนชั้นนอกเป็นรูปร่างแบนราบ คือ มีขั้วไรบนอยู่ตรงกลางและพับเข้ามาเป็นสัน ไมโทคอนเดรียจะมี DNA ซึ่งมียอดที่ประกอบด้วยกรดไขมันเดียวกับ DNA ของนิวเคลียสทั่วไป ไมโทคอนเดรีย มีรูปร่างและจำนวนของไมโทคอนเดรียไม่แน่นอน จะเปลี่ยนไปตามหน้าที่และกิจกรรมของเซลล์ ไมโทคอนเดรียจะอยู่กระจายทั่วไปในไซโทพลาซึม โดยสร้างที่ติดต่อกับสารตั้งต้นมาจะมิโทคอนเดรียรอบโครงสร้างนั้น

Index บทนำ บทที่ 1 บทที่ 2

บทนำ

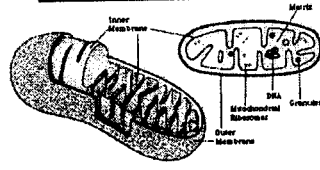
ส่วนประกอบต่าง ๆ ของไมโทคอนเดรีย แบ่งเป็น 4 ส่วน คือ



1. เยื่อหุ้มชั้นนอก (Outer Membrane) มีโปรตีนและลิพิดอยู่ มีรูพรุนหลายอันที่ช่วยให้สามารถยอมย่นตัวของโพ้นและเยื่อหุ้มชั้นใน มีโปรตีนชื่อว่า พอร์น (Pores) ทำหน้าที่เป็นช่องสำหรับให้โมเลกุลขนาดเล็กผ่านได้อย่างอิสระ

Index บทนำ (บทที่ 1) หน้า 2

บทนำ

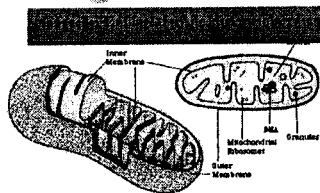


2. เยื่อหุ้มชั้นใน (Inner Membrane) สามารถใช้เพื่อหายใจ

3. เยื่อหุ้มชั้นใน (Inner Membrane) มีโปรตีนหลายชนิด เช่น เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ ATP มีโปรตีนที่เกาะฝังกับเยื่อหุ้มชั้นใน และให้พลังงานซึ่งทำหน้าที่เป็นสัญญาณผ่านเยื่อหุ้มชั้นใน

Index บทนำ (บทที่ 1) หน้า 2

บทนำ



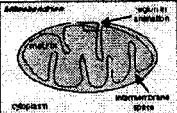
4. แมทริกซ์ (Matrix) มีอนุภาคที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลังงานในรูปของ ATP จากคาร์โบไฮเดรต

5. DNA, RNA และ ไรโบโซม

เยื่อชั้นในของไมโทคอนเดรียจะพับเป็นเยื่อชั้นในเรียกว่า คริสตี (Cristae) ซึ่งจะต่างจากเยื่อชั้นนอกซึ่งมีความโค้งเว้าเพียงเล็กน้อย ด้านในของเยื่อชั้นในมีรูขนาดเล็ก ๆ นามว่า คิสตูล่า ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งอิเล็กตรอน และออกซิเดชัน ฟอสโฟรีเลชัน

Index | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2

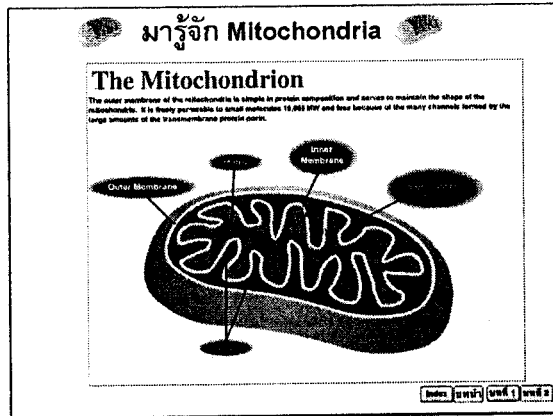
บทนำ



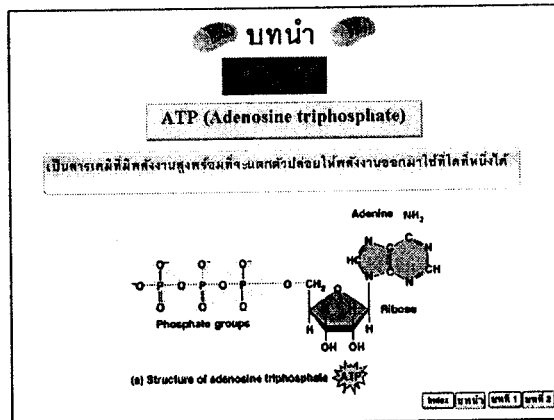
หน้าที่ของไมโทคอนเดรียคือผลิตพลังงาน ซึ่งพบได้ทั้งในสัตว์ ทุกระดับของพืช และในโพรทิสต์

1. เยื่อชั้นนอก (Outer Membrane) มีหน้าที่ในทางสังเคราะห์ฟอสโฟลิปิด กรดไขมัน และคาร์โบไฮเดรตของเซลล์
2. ช่องสันค้ำมีเยื่อชั้นนอก มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการฟอสโฟรีเลชันของไมโทคอนเดรีย
3. เยื่อชั้นใน (Inner Membrane) มีหน้าที่ในการถ่ายเทอิเล็กตรอน ออกซิเดชัน ฟอสโฟรีเลชัน และการขนส่งเมตาบอไลต์ (Metabolites)
4. แมทริกซ์ (Matrix) มีหน้าที่การออกซิเดชันในรูปของคาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรต การสังเคราะห์ DNA การสังเคราะห์ RNA (transcription) และการสังเคราะห์โปรตีน

Index | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2



http://www.brookscole.com/chemistry_d/templates/student_resources/shared_resources/animations/oxidative/oxidativephosphorylation.html



บทนำ

ATP (Adenosine triphosphate)

$\text{Adenosine triphosphate (ATP)} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Inorganic phosphate} + \text{Adenosine diphosphate (ADP)} + \text{Energy}$

(b) Hydrolysis of ATP

เมื่อ -P ปล่อยจากโมเลกุล พลังงานบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปของความร้อน และ
 บางส่วนถูกนำไปใช้ทำงานและเมื่อ ATP ด้ขาด -P ให้อิทธิพลของพลังงาน
 ในเซลล์และส่วนนี้จะใช้พลังงานที่ปล่อยออกมาเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนกระบวนการต่าง ๆ
 ดังนั้นพลังงานจาก ATP สามารถทำให้อิทธิพลของพลังงานในเซลล์ได้

Source: บทนำ (บทนำ) บทนำ

บทนำ

ATP เป็นสกุลเงินที่สามารรถใช้กับหน่วยโมเลกุล

$\text{ADP} + \text{P}_i \xrightarrow{\text{Energy from oxidation}} \text{ATP} \xrightarrow{\text{Energy for cellular work}}$

Source: บทนำ (บทนำ) บทนำ

บทนำ

Cofactor : Helpers of enzymes

- enzymes หลายชนิดต้องการ cofactor ที่ไม่ใช่โปรตีนช่วยในการทำงาน ตัวอย่างเช่น ions ได้แก่ Mg^{++} , K^+ , Ca^{++}
- cofactors อื่นๆ เช่น organic molecules เมื่อรวมกับ enzymes แล้วจะเป็นเหมือน carrier สำหรับ chemical group หรือ e^-
- Coenzymes หรือชนิดที่มีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่สามารถสร้างได้ นอกจากการกิน vitamins เข้าไป ซึ่ง vitamins หลายชนิด เช่น niacin, thiamin (vit B1), riboflavin, folate และ biotin เป็นส่วนสำคัญของหนึ่งในสอง coenzymes


ตัวอย่างเช่น NAD^+ , $NADP^+$, FAO

แบบ 1 หน้า 2

บทนำ

NAD^+ = nicotinamide adenine dinucleotide

NAD^+




Oxidized form of nicotinamide

$+ 2H^+$
(from food)

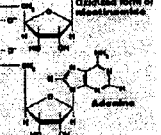
Reduction
+ Electrons

Oxidation

$NADH$

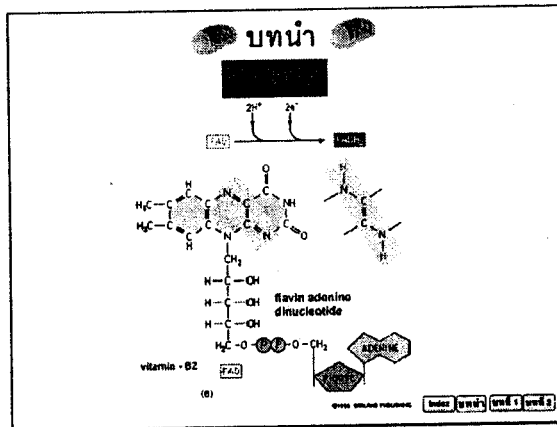
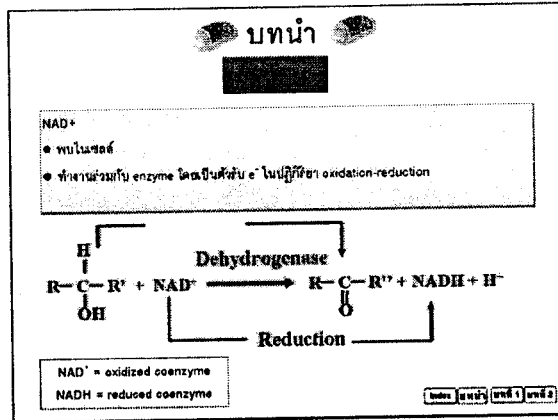


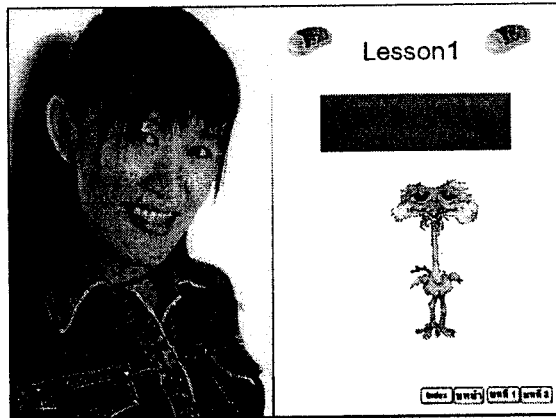
Reduced form of nicotinamide




Adenine

แบบ 1 หน้า 2





Lesson 1



Unit 1 Unit 2

Lesson 1

การหายใจเป็นการขจัดโมเลกุลของออกซิเจนที่ละลายในเลือดออกจากเซลล์ และนำโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เซลล์สร้างขึ้นในเมแทบอลิซึมกลับเข้าสู่หลอดเลือดที่ปอด และปล่อยออกทางรูหายใจ ATP ที่สร้างขึ้นในกระบวนการนี้จะถูกใช้เพื่อขับเคลื่อนกิจกรรมของเซลล์

มีกระบวนการหายใจ 2 ประเภท ได้แก่ การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration)

โมเลกุลของออกซิเจนที่ละลายในเลือดจะถูกนำเข้าไปที่เซลล์ในรูปของฮีโมโกลบิน และฮีโมโกลบินจะจับกับออกซิเจนและนำออกซิเจนที่ละลายในเลือดไปส่งให้เซลล์

1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน
2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน
3. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

Unit 1 Unit 2

Lesson 1

การสลายกลูโคส

การสลายกลูโคสในกระบวนการหายใจ มีปฏิกิริยาหลายขั้นตอนดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาเหล่านี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ไกลโคไลซิส (Glycolysis)
2. การถ่ายโอนอะซิลโคเอนไซม์ (Acetyl Coenzyme A)
3. วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)
4. ระบบการขนส่งอิเล็กตรอน (Electron Transport system)

Lesson 1

1. ไกลโคไลซิส (Glycolysis)

เป็นกระบวนการสลายน้ำตาลกลูโคส ซึ่งมีคาร์บอน 6 อะตอม ให้เป็นกรดไพรูวิก (Pyruvic acid) หรือไพรูเวต (Pyruvate) ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม 2 โมเลกุล ปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรกมีการใช้พลังงานในการกระตุ้นกระบวนการ 2 ATP ส่วนกระบวนการถัดมาสร้างพลังงาน 4 ATP และมีกระบวนการได้พลังงานออกมาโดย 2 NAD⁺ เป็น 2 NADH + 2H⁺ ดังสมการรวม


$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2P_i + 2NAD^+ \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 2ATP + 2NADH + 2H^+$$

Lesson 1

ไกลโคไลซิส (glycolysis) เป็นกระบวนการสลายกลูโคสที่เกิดขึ้นต่อเนื่องหลายขั้นตอนให้เกิดเป็นไพรูเวต (pyruvate) โดยจะได้พลังงานทั้งในรูป ATP และ NADH (ซึ่งกับพลังงานเคมีใช้ในวัฏจักรกระบวนการที่เกิดขึ้นกับเซลล์ระยะอื่นที่มีชีวิตทุกชนิด) โดยเกิดขึ้นในส่วนไซโทซอล เป็นปฏิกิริยาที่ไม่ต้องใช้เอนไซม์ เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ง่ายและรวดเร็วซึ่งไม่ใช้พลังงาน แต่ไพรูเวตที่เกิดขึ้นยังสามารถถูกนำไปใช้ต่อไปได้ในแบบปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจน โดยผ่านทางวัฏจักรเครปส์ และระบบผ่านห่วงโซ่การขนส่ง หรือไม่ใช้ออกซิเจนโดยเปลี่ยนเป็นเอทานอล (ethanol) ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ (alcohol fermentation) หรือเปลี่ยนเป็นแลคเตต (lactate) ดังที่เกิดขึ้นในระหว่างการออกกำลังกายเมื่อขาดออกซิเจน

Home | Search | Index | Print

Glycolysis



cytosol

Animation
(7/10 x 201)
(01:11:29)

- 1 Start glycolysis
- 2 Splitting of glucose
- 3 Energy generation

Home | Search | Index | Print

<http://www.science.smith.edu/departments/Biology/Bio231/glycolysis.html>


Lesson 1

ปฏิกิริยาของวิถีไกลิโคไลซิสโดยเฉลี่ยแล้วได้เป็น 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. กลูโคสที่เป็นอิสระ และถูกเปลี่ยนให้กลายเป็น กลูโคส-6-ฟอสเฟต (glucose-6-phosphate) โดยเอนไซม์เฮกซาคินเนส (hexokinase) ปฏิกิริยานี้ใช้ ATP เป็นตัวให้พลังงานแก่กลูโคสโดยที่มันให้ C₆

$$\begin{array}{c}
 \text{CHO} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OH} \\
 \text{กลูโคส}
 \end{array}$$

สลายโมเลกุล



$$\begin{array}{c}
 \text{CHO} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-} \\
 \text{กลูโคส-6-ฟอสเฟต}
 \end{array}$$


แบบที่ 1 หน้า 1 หน้า 1 หน้า 1

Lesson 1

2. กลูโคส-6-ฟอสเฟต เปลี่ยนเป็นฟรุคโตส-6-ฟอสเฟต (fructose-6-phosphate) โดยเอนไซม์ ฟอสโฟกลูโคส ไอโซเมอเรส (phosphoglucose isomerase) ในขั้นตอนนี้มีการเปลี่ยนจากน้ำตาล aldose เป็น น้ำตาล ketose

$$\begin{array}{c}
 \text{CHO} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-} \\
 \text{กลูโคส-6-ฟอสเฟต} \\
 \text{(aldose)}
 \end{array}$$

สลายโมเลกุล



$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_2\text{OH} \\
 | \\
 \text{C} = \text{O} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-} \\
 \text{ฟรุคโตส-6-ฟอสเฟต} \\
 \text{(ketose)}
 \end{array}$$

แบบที่ 1 หน้า 1 หน้า 1 หน้า 1

Lesson 1

[Redacted]

3. ในขั้นตอนที่สามของวัฏจักรไกลิซิลิซิส ฟรุกโตส-6-ฟอสเฟต ถูกเปลี่ยนเป็น ฟรุกโตส-1,6-บิสฟอสเฟต (fructose-1,6-bisphosphate) ปฏิกริยานี้เร่งโดยเอนไซม์ ฟอสโฟฟรุกโตไคเนส (phosphofructo-kinase) โดยใช้ ATP เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ฟรุกโตส-6-ฟอสเฟตที่ตำแหน่ง C-5

$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_2\text{OH} \\
 | \\
 \text{C} = \text{O} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-}
 \end{array}$$

ฟรุกโตส 6- ฟอสเฟต

ใช้พลังงานจาก ATP

$$\xrightarrow[\text{ATP}]{\text{phosphofructo-kinase}}$$

$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-} \\
 | \\
 \text{C} = \text{O} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-}
 \end{array}$$

ฟรุกโตส 1, 6- บิสฟอสเฟต

ขั้นตอนนี้ทำให้ ATP อีก 1 โมเลกุล นำมาลงที่มีหมู่ฟอสเฟตอยู่ที่ปลายที่ 2 ของฟอสเฟต (และอีก 1 โมเลกุล) ของอีก 2 โมเลกุล

[Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted]

Lesson 1

[Redacted]

ปฏิกริยาของวัฏจักรไกลิซิลิซิสโดยละเอียดแบ่งได้เป็น 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4. ฟรุกโตส-1,6-บิสฟอสเฟต (มี 6 หมู่ฟอสเฟต) แตกออกเป็น 2 โมเลกุล ที่มี 3 หมู่ฟอสเฟต คือ กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (glyceraldehyde-3- phosphate) และ ไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต (dihydroxyacetone- phosphate) โดยเอนไซม์อัลโดเลส (aldolase) นำมาลง 2 โมเลกุลที่แตกเป็น isomer กันและกัน

$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-} \\
 | \\
 \text{C} = \text{O} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-}
 \end{array}$$

ฟรุกโตส 1, 6- บิสฟอสเฟต

อัลโดเลส

$$\xrightarrow{\text{aldolase}}$$

$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-} \\
 | \\
 \text{C} = \text{O} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-}
 \end{array}$$

ฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์

+

$$\begin{array}{c}
 \text{O} \\
 // \\
 \text{H} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-}
 \end{array}$$

ฟอสโฟไดไฮดรอกซีอะซิโตน

[Redacted] [Redacted] [Redacted] [Redacted]

Lesson 1

ปฏิกิริยาของวิถีไกลิซิลิโคลิกเปลี่ยนได้เป็น 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

8. ปฏิกิริยาของวิถีไกลิซิลิโคลิกขั้นตอนที่ 4 คือ ไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต จะเปลี่ยนผ่านปฏิกิริยาของกลัยเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟตดีไฮโดรจีเนส กลัยเซอรอลฟอสเฟต ไบฟอสเฟต (triose phosphate isomerase) มีค่าคงที่ 2 ตัวนี้ จะเปลี่ยนผลของค่าไปไม่ได้

$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-} \\
 | \\
 \text{C} = \text{O} \\
 | \\
 \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\
 | \\
 \text{H}
 \end{array}$$

ไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต

Isomerase
Triose phosphate

 \rightleftharpoons

$$\begin{array}{c}
 \text{O} \\
 || \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-}
 \end{array}$$

กลัยเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต

ปฏิกิริยาของขั้นตอนที่ 4 และ 5 นี้ คือได้กลัยเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟตจำนวน 2 โมเลกุลจากฟรุกโตส-1,6-บิสฟอสเฟต 1 โมเลกุล (จากกลไก 1 โมเลกุล) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาขั้นตอนต่อไป

หน้า 1 | หน้า 2

Lesson 1

ปฏิกิริยาของวิถีไกลิซิลิโคลิกเปลี่ยนได้เป็น 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

9. กลัยเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต เปลี่ยนไปเป็น 1,3-บิสฟอสเฟตกลัยเซอเรต (1,3-bisphosphoglycerate) โดยเอนไซม์กลัยเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส (glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase) ในขั้นนี้จะได้ออก NADH 1 โมเลกุล

$$\begin{array}{c}
 \text{CHO} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-}
 \end{array}$$

กลัยเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต

กลัยเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต ดีไฮโดรจีเนส

 $\xrightarrow{\text{NAD}^+ + \text{P}_i}$

$$\begin{array}{c}
 \text{COOPO}_3^{2-} \\
 | \\
 \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\
 | \\
 \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-}
 \end{array}$$

1,3-บิสฟอสเฟตกลัยเซอเรต

$\text{NADH} + \text{H}^+$

หน้า 1 | หน้า 2

Lesson 1

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ไกลิซีโคลิซิสโดยละเอียด แบ่งได้เป็น 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับที่เร่งโดยเอนไซม์ในกลูโคสของสัตว์เซลล์เดียว 3-ฟอสโฟไกลิเซอเรตของ NADH ในปฏิกิริยานี้ จะมี 2 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นอย่างอิสระ ซึ่งเมื่อนำค่าการกลายพันธุ์โดยมีค่าใกล้เคียงกันและ H⁺ กับ NAD⁺ เกิดเป็น NADH ปฏิกิริยานี้ให้พลังงานออกมา ซึ่งนำไปใช้ในขั้นตอนถัดมาของห่วงโซ่ (จาก P, ในโซ่โคซอ) เข้ากับขั้นตอน ขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับที่มีลักษณะเป็นสภาวะพลังงานสูงที่สามารถย้อนกลับไปให้ ADP ในขั้นตอนต่อไป

Index | หน้า | บทที่ 1 | บทที่ 2

Lesson 1

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ไกลิซีโคลิซิสโดยละเอียด แบ่งได้เป็น 10 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

7. 1,3-บิสฟอสโฟลิกแอซิด ซึ่งเป็นสารพลังงานสูงที่ออกมาจาก 1-ฟอสโฟลิกแอซิด (ที่จับคู่กับยูคาลิปตัส) ให้แก่วัสดุ คือ ADP โดยเอนไซม์ ฟอสโฟลิกแอซิดไคเนส (phosphoglycerate kinase) จะเร่งปฏิกิริยาการไฮดรอลิซิสของฟอสเฟตจาก 1,3-บิสฟอสโฟลิกแอซิดไปให้ ADP ได้เป็น ATP และ 3-ฟอสโฟลิกแอซิด (3-phosphoglycerate).

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OPO}_3^- \end{array} & \xrightarrow[\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}]{\text{ฟอสโฟลิกแอซิดไคเนส}} & \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OPO}_3^- \end{array} \\
 \text{1,3-บิสฟอสโฟลิกแอซิด} & & \text{3-ฟอสโฟลิกแอซิด}
 \end{array}$$

ในขั้นตอนที่ 6 และ 7 จะได้อัตราของ NADH และ ATP อย่างละ 1 โมลต่อ

Index | หน้า | บทที่ 1 | บทที่ 2

Lesson 1

8. เป็นการโยกย้ายตำแหน่งของหมู่ฟอสเฟตของ 2-ฟอสโฟกลีเซเรต โดยย้ายจาก ส่วนหน้าที่ 3 ไป เป็นส่วนหน้าที่ 2 ได้เป็น 2-ฟอสโฟกลีเซเรต (2-phosphoglycerate) ปฏิริยาเอนไซม์โดยเอนไซม์ 2-ฟอสโฟกลีเซเรต มิเนส (phosphoglycerate mutase)

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OPO}_3^{2-} \end{array} & \xrightleftharpoons{\text{2-ฟอสโฟกลีเซเรต มิเนส}} & \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{OPO}_3^{2-} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} \\
 \text{3-ฟอสโฟกลีเซเรต} & & \text{2-ฟอสโฟกลีเซเรต}
 \end{array}$$

ขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ผันกลับได้และจะเกิดขึ้นได้
 ปฏิริยา dehydration (คือ เอา H₂O ออกไป 1 โมเลกุล)

Lesson 1

9. ในขั้นตอน 2-ฟอสโฟกลีเซเรต จะเสีย H₂O ไป 1 โมเลกุล กลายเป็นฟอสโฟอินสูลอน (phosphoenolpyruvate) ปฏิริยาเอนไซม์โดยเอนไซม์อินสูลอน (enolase)

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{OPO}_3^{2-} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} & \xrightleftharpoons[\text{H}_2\text{O}]{\text{อินสูลอน}} & \begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{C}=\text{O} \\ || \\ \text{CH}_2 \end{array} \\
 \text{2-ฟอสโฟกลีเซเรต} & & \text{ฟอสโฟอินสูลอน}
 \end{array}$$

ฟอสโฟอินสูลอน เป็นสารตั้งต้นสูงที่มีหมู่คาร์บอนิล (enol) ทำให้พันธะ
 นี้ไม่คงที่ สามารถรวมหมู่ฟอสเฟตได้แก่ ADP ด้ยตัว ซึ่งจะได้เป็นฟอสเฟตอิน
 ซูลอนและสารพันธุกรรม ATP ในขั้นตอนต่อไป

Lesson 1

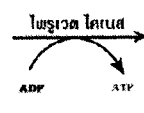
[Redacted]

10. ขั้นตอนเป็นขั้นตอนที่ของวิถีไกลิโคลีส (เป็นการสลาย ATP โดย ฟอสโฟเอนิเออไรน จะเปลี่ยนฟอสเฟต ADP ด้เป็น ATP ใหม่) ซึ่งเปลี่ยนเป็นไพรูเวต ปฏิกริยานี้จะโดยเอนไซม์ ไพรูเวต ไคเนส (pyruvate kinase)

$$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{C} - \text{OPO}_3^{2-} \\ || \\ \text{CH}_2 \end{array}$$

ฟอสโฟเอนิเออไรน

ไพรูเวต ไคเนส



$$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{C} = \text{O} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$$

ไพรูเวต

[Redacted]

Lesson 1

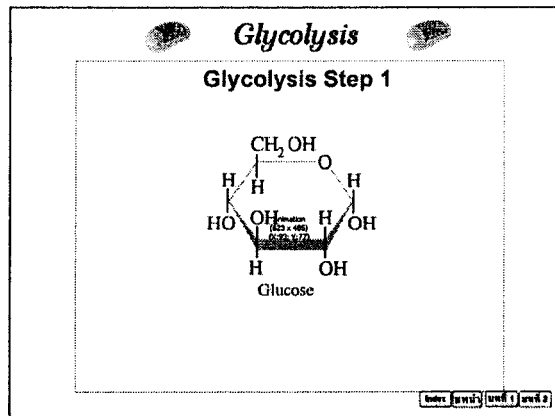
[Redacted]

โดยทั่วไป วิถีไกลิโคลีสมี 10 ขั้นตอน สามารถได้เป็น 2 ขั้นตอน ตามพลังงานที่ใช้ และพลังงานที่สังเคราะห์มา ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 - 5 เป็นจากไกลิโคไลส ATP ได้ 2 โมเลกุล ในกระบวนการฟอสโฟรีเลชัน ฟอสเฟตที่สังเคราะห์มา ดังนี้

ขั้นตอนที่ 6 - 10 เป็นขั้นตอนที่สังเคราะห์ ATP 4 โมเลกุล และ NADH กับพลังงานเคมีในรูปของ 2 โมเลกุล คือ 1 โมเลกุลของไกลิโคไลส

[Redacted]



<http://programs.northlandcollege.edu/biology/Biology111/1/animations/glycolysis.html>

Lesson 1

2. การสร้างอะซิติลโคเอนไซม์ (Acetyl Coenzyme A)

ขั้นตอนนี้เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างไกลโคไลซิสกับวัฏจักรเครบส์ โดยมีกรดไพรูวอิกเป็นขบวนการ กลไกของวัฏจักรเครบส์และวัฏจักรกรดซิตริกไม่ได้ออกผลผลิตโดยตรงซึ่งจะรวมและเข้าปฏิกิริยาที่โคเอนไซม์ เอ (Coenzyme A) ได้เป็นอะซิติลโคเอนไซม์ (Acetyl Coenzyme A) ซึ่งมีค่าพลังงาน 2 ขั้นตอน ในปฏิกิริยานี้มีกรดอะซิติลโคเอนไซม์ที่ออกฤทธิ์ 1 โมเลกุล และเปลี่ยน NAD⁺ เป็น NADH + H⁺ ซึ่งสามารถออกฤทธิ์ที่ 1 โมเลกุล โดยมีเอนไซม์ไพรูวอेटดีไฮโดรเจเนสคอมเพล็กซ์ (pyruvate dehydrogenase complex) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนปฏิกิริยาที่กล่าวถึง 2 ขั้นตอนนี้ของวัฏจักรเครบส์ 1 โมเลกุล เปลี่ยนเป็นกรดไพรูวอิก 2 โมเลกุล ถ้ากรดไพรูวอิก คือ การเปลี่ยนไพรูวอิกเป็นอะซิติลโคเอนไซม์เกิดขึ้นในไมโทคอนเดรีย ในปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน

Home | Search | Help | Contact

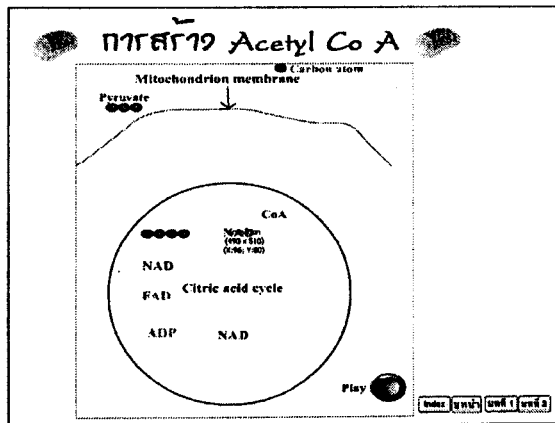
Lesson 1

ขั้นตอนที่ 1: กรดไขมันจะถูกออกซิเดชันกลายเป็นกรดไขมันที่มี CO₂ 4 คาร์บอนและเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (วัฏจักรกรดไขมันที่มี CO₂ 4 คาร์บอน)

ขั้นตอนที่ 2: ส่วนที่เหลือของกรดไขมันที่มี 2 คาร์บอนจะรวมตัวกับกรดไขมันที่มี CO₂ 4 คาร์บอนเพื่อสร้างกรดไขมันที่มี 6 คาร์บอน และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (วัฏจักรกรดไขมันที่มี CO₂ 6 คาร์บอน)

ขั้นตอนที่ 3: กรดไขมันที่มี 6 คาร์บอนจะรวมตัวกับกรดไขมันที่มี 4 คาร์บอนเพื่อสร้างกรดไขมันที่มี 10 คาร์บอน และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (วัฏจักรกรดไขมันที่มี CO₂ 10 คาร์บอน)

Index | หน้า 1 | หน้า 2

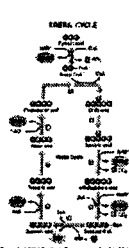


<http://www.biologycorner.com/bio3/respiration.html> / notes-

Lesson 1

3. วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

วัฏจักรเครบส์ คือเป็นปฏิกิริยาของกรดไขมันที่ถูกตัดให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำในขั้นตอนที่สามของห่วงโซ่การหายใจ (จากกรดไขมัน) มีจุดประสงค์เพื่อผลิตพลังงาน ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันจากเซลล์ และใช้สังเคราะห์โปรตีนในเซลล์ NADH และ FADH₂ ซึ่งใช้ในวัฏจักรเครบส์เพื่อผลิตพลังงานและนำไปใช้ในกระบวนการ ATP สังเคราะห์ในกระบวนการออกซิเดทีฟ (oxidative phosphorylation)



ENERGY CHOLE

<http://www.biologycorner.com/bio3/notes-respiration.html>

Krebs Cycle

cytosol

Pyruvate

Mitochondrial matrix

CoA

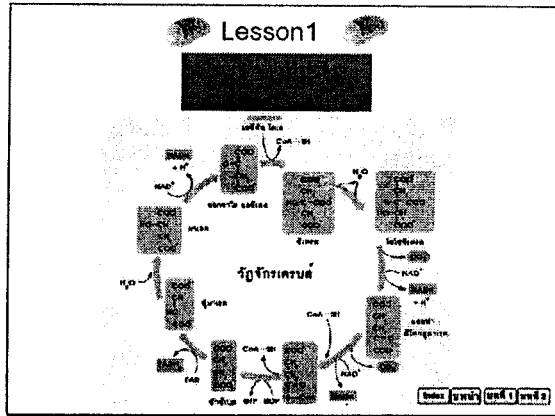
Oxaloacetate

- 1 Acetyl CoA formation
- 2 Citrate (6C) is produced
- 3 Electron carriers are reduced

Pyruvate enters the mito. via a transport protein, and is converted to acetyl CoA.

One CO₂ and one NADH are produced.

<http://www.science.smith.edu/departments/Biology/Bio231/krebs.html>



Lesson 1

วัฏจักรเครบส์ประกอบด้วย 8 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนจะเกิดปฏิกิริยาที่จำเพาะ และปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

1. คาร์บอน 2 อะตอมของอะซีติล โคเอ เข้ามาในวัฏจักรโดยเกิดปฏิกิริยาของอะซีติล โคเอ กับ ออกซาโลอะซีตัตเกิดเป็นซิเตรต ซินเทส (citrate synthase) เป็นขั้นตอนปฏิกิริยา ผลิตเป็น ซิเตรต (citrate) และ CoA
2. ซิเตรต เปลี่ยนเป็น ไอโซเมอร์ ของซิเตรต ไอโซซิเตรต (isocitrate) โดยเอนไซม์ ซิเตรตไอโซเมอเรส (aconitase) เป็นขั้นตอน ปฏิกิริยาที่มี 2 ขั้นตอนย่อย คือ ซิเตรต เป็นปฏิกิริยาแรกนำออกซิเจนไปใส่กลาง กลายเป็น ซิเตรตไอโซเมต (cis-aconitate) ก่อน (ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในเวลาสั้นมาก) จากนั้น ซิเตรตไอโซเมตจึงรวมตัวกันน้ำ 1 โมเลกุล เกิดเป็นไอโซซิเตรต (isocitrate)

Lesson 1

ขั้นตอนที่ 1: ปฏิกิริยา decarboxylation ที่ให้ CO₂ โดยไอโซซิเตรต จะถูกกลายให้เป็นแอลฟา-คีโตกลูตาต (-ketoglutarate) และให้ CO₂ ออกมา โดยไอโซซิเตรตดีไฮโดรจีเนส (isocitrate dehydrogenase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และขั้นตอนนี้ทำให้ไอโซซิเตรตเป็น NAD⁺ กลายเป็น NADH

ขั้นตอน 2: 2-ออกซوجلูตาต จะเข้ามาในวัฏจักรโดยเกิดจากวงจรเครบส์และคีโต กลูตาต โดยเกิดโดยไอโซซิเตรต ซินเทส (isocitrate synthase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิตเป็น ซิเตรต (citrate) และ CoA

Index | หน้า | หน้า | หน้า 2

Lesson 1

ขั้นตอนที่ 3: CoA จะจับกับซิเตรต โดย จะรวมตัวกันโดยไซโทโครม (P) ซึ่งก็จะจับกับไอโซซิเตรตที่หลุดออกทำให้ GDP กลายเป็น GTP และซิเตรต ก็จะ เปลี่ยนเป็นซัคซิเนต (succinate) และไซโทโครมที่จับกับ CoA จะจับกับซิเตรต (succinyl CoA synthetase)

ขั้นตอนที่ 4: ซัคซิเนต ดีไฮโดรจีเนส (succinate dehydrogenase) จะเปลี่ยนซัคซิเนต ให้เป็นฟูมาเรต (fumarate) ในปฏิกิริยาที่ซัคซิเนตจะให้อิเล็กตรอนแก่ FAD กลายเป็น FADH₂ ซึ่งจะเป็นตัวรวมตัวกันตามลำดับถัดไป

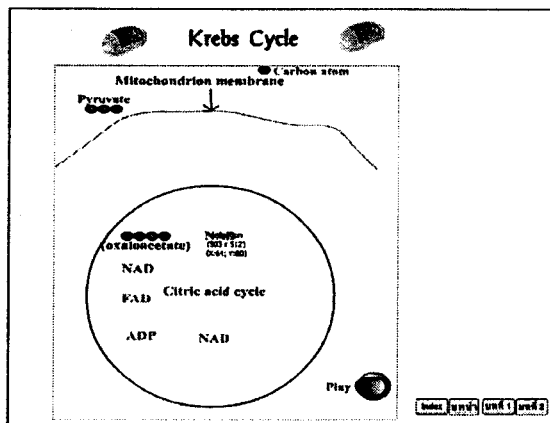
Index | หน้า | หน้า | หน้า 2

Lesson 1

7. เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ควบคุม โดยของยูทิก คือเป็นการสลายคาร์โบไฮเดรต กลายเป็นไขมัน
 มาลดคาร์บอกซิลไดโอดีในออร์กาโนลิตส์ ซึ่งเป็นสายสั้นๆ ที่จะไปรวมกับเอซิด ไดออกซิโพรที่
 ใช้ของในของยูทิกจนครบต่อไป ในขั้นตอนของการสลายนี้ NAD⁺ จะถูกเปลี่ยนให้เป็น NADH
 (กับพลังงาน เคมีรวมไปในตัว) ปฏิกริยานี้ทำ โดยของที่มีนามค คือไดไฮดรอกซี (malate
 dehydrogenase)

8. เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ควบคุม โดยของยูทิก คือเป็นการสลายคาร์โบไฮเดรต กลายเป็น
 ไขมัน มาลดคาร์บอกซิลไดโอดีในออร์กาโนลิตส์ ซึ่งเป็นสายสั้นๆ ที่จะไปรวมกับเอซิด ได
 ออกซิโพรที่ใช้ของในของยูทิกจนครบต่อไป ในขั้นตอนของการสลายนี้ NAD⁺ จะถูกเปลี่ยน
 ให้เป็น NADH (กับพลังงาน เคมีรวมไปในตัว) ปฏิกริยานี้ทำ โดยของที่มีนามค คือไดไฮดรอกซี
 (malate dehydrogenase)

[Home] [Back] [Next] [Quit]



<http://www.biologycorner.com/bio3/respiration.html> / notes-

Lesson 1

ปฏิกิริยาที่พบในวัฏจักรเครบส์ อธิบายเป็นภาษาได้ดังนี้คือ

$$\text{Acetyl-CoA} + 3\text{NAD}^+ + \text{FAD} + \text{GDP} + \text{P}_i + 2\text{H}_2\text{O}$$

↓

$$3\text{NADH} + \text{FADH}_2 + \text{GTP} + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}^+ + \text{CoA}$$

Home | หน้า | หน้า 1 | หน้า 2

Lesson 1

ปฏิกิริยาที่พบในวัฏจักรเครบส์ อธิบายได้ดังนี้

1. คาร์บอน 2 อะตอม (จาก acetyl CoA) เข้ามาในวัฏจักร และคาร์บอน 2 อะตอมออกไปในรูปของ CO₂
2. ในขั้นตอนแรก 4 คู่ ออกไปจากวัฏจักรในปฏิกิริยาออกซิเดชัน 4 ปฏิกิริยา
 - NAD⁺ 2 โมเลกุลถูกตัวให้เป็น NADH ในปฏิกิริยา oxidative decarboxylation (ออกซิเดชัน และเอา CO₂ ออก) จำนวน 2 ปฏิกิริยา
 - FAD 1 โมเลกุลถูกตัวให้เป็น FADH₂ ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของ succinate
 - NAD⁺ อีก 1 โมเลกุล ถูกตัวให้เป็น NADH ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของ malate
3. ได้คาร์บอนจำนวน GTP 1 โมเลกุล ซึ่งได้จากเกาะของพันธะ thioester ของ succinyl CoA
GTP ซึ่งถูกขยับไปใส่ที่คาร์บอนเป็น ATP โดยการนำหมู่ฟอสเฟตไปจาก ADP ให้เป็น ATP วิธีการนี้เรียกว่า substrate-level phosphorylation

Home | หน้า | หน้า 1 | หน้า 2

Lesson 1

4.ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน (Electron Transport system)

ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน เกิดขึ้นในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย เป็นระบบที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจากตัวให้อิเล็กตรอน (เช่น NADH และ FADH₂) ซึ่งมีอิเล็กตรอนที่พลังงานสูงไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำลงเรื่อยๆ ส่วนตัวรับอิเล็กตรอนหลายตัวไปจนถึงปลายสุดของระบบอิเล็กตรอนจะมีตัวรับ O₂ ให้ออกเป็น H₂O ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอนในทางหายใจ (respiration) ระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอนเป็นช่วงๆ จะเกิดพลังงานอิสระซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้าง ATP ด้วยกระบวนการที่เรียกว่าออกซิเดชัน ฟอสโฟรีเลชัน (oxidative phosphorylation) การสร้าง ATP ในกระบวนการนี้ไม่ใช้การสลาย ATP โดยตรงแบบ substrate-level phosphorylation (ใช้หมู่ฟอสเฟตของโมเลกุลหนึ่งเป็นสารตั้งต้นของ ADP) เหมือนที่สังเคราะห์จากไกลิโคไลซิสและวัฏจักรเครบส์ และเป็นการสร้างแบบที่มีภาวะเชื่อมโยงกันกับออกซิเดชันในระบบถ่ายเทอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดการขึ้นรูปของโปรตอนผ่านเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

index | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2

Lesson 1

4.ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน (Electron Transport system)

การถ่ายเทอิเล็กตรอนจากตัวให้อิเล็กตรอน (เช่น NADH และ FADH₂) ซึ่งมีอิเล็กตรอนที่พลังงานสูงไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีพลังงานต่ำลงเรื่อยๆ และตัวรับอิเล็กตรอนหลายตัวไปจนถึงปลายสุดของระบบอิเล็กตรอนจะมีตัวรับ O₂ ให้ออกเป็น H₂O ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอนในทางหายใจ (respiration) ระหว่างการถ่ายเทอิเล็กตรอนเป็นช่วงๆ จะเกิดพลังงานอิสระซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้าง ATP ด้วยกระบวนการที่เรียกว่าออกซิเดชัน ฟอสโฟรีเลชัน (oxidative phosphorylation) การสร้าง ATP ในกระบวนการนี้ไม่ใช้การสลาย ATP โดยตรงแบบ substrate-level phosphorylation (ใช้หมู่ฟอสเฟตของโมเลกุลหนึ่งเป็นสารตั้งต้นของ ADP) เหมือนที่สังเคราะห์จากไกลิโคไลซิสและวัฏจักรเครบส์ และเป็นการสร้างแบบที่มีภาวะเชื่อมโยงกันกับออกซิเดชันในระบบถ่ายเทอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดการขึ้นรูปของโปรตอนผ่านเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

```

graph TD
    NADH --> C1[Complex I]
    FADH2 --> C2[Complex II]
    C1 --> Q[Ubiquinone]
    C2 --> Q
    Q --> C3[Complex III]
    C3 --> UQH2[Ubiquinol]
    UQH2 --> C4[Complex IV]
    C4 --> O2[O2]
    O2 --> H2O[H2O]
    
```

index | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2

Lesson 1

[Redacted]

๑. อธิบายกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนในคอมเพล็กซ์ I, II, III และ IV ในห่วงโซ่การขนส่งอิเล็กตรอน
 ๒. อธิบายบทบาทของ ubiquinone และ ubiquinol ในห่วงโซ่การขนส่งอิเล็กตรอน
 ๓. อธิบายบทบาทของ cytochrome c (cytochrome c) ในการขนส่งอิเล็กตรอนในห่วงโซ่การขนส่งอิเล็กตรอน

The diagram illustrates the electron transport chain (ETC) embedded in a membrane. It shows four main complexes: Complex I (NADH dehydrogenase), Complex II (Succinate dehydrogenase), Complex III (Cytochrome bc_1 complex), and Complex IV (Cytochrome c oxidase). Ubiquinone (Q) and ubiquinol (QH₂) are shown as mobile electron carriers between complexes. Cytochrome c (c) is shown as a small, soluble protein that carries electrons between Complex III and Complex IV. The diagram is labeled with Thai text and includes a legend at the bottom right.

Electron Transport Chain

The diagram shows a cross-section of a mitochondrion. The outer mitochondrial membrane is shown as a smooth layer, while the inner mitochondrial membrane is highly folded into cristae. The electron transport chain (ETC) is shown as a series of small circles (representing protein complexes) embedded in the inner mitochondrial membrane. The space between the membranes is labeled as the intermembrane space. The cytosol is shown outside the mitochondrion. A 'START' label is placed at the beginning of the ETC chain. A text box on the right explains that the ETC is localized within the inner membrane of the mitochondrion. The diagram is labeled with Thai text and includes a legend at the bottom right.

START

The electron transport chain (ETC) is a series of compounds localized within the inner membrane of the mitochondrion.

<http://www.biologycorner.com/bio3/respiration.html> / notes-

Lesson 1

การสังเคราะห์ ATP โดยเอนไซม์ที่เรียกว่า ออกซิเดสที่ 4 ผลิตขึ้นในบริเวณเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรีย
 ภายในเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียมีความแตกต่างของโปรตอน (H⁺) ในที่นี้คือ จากส่วนเมทริกซ์ใน
 ช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในและชั้นเยื่อหุ้มชั้นนอกในไมโทคอนเดรีย โปรตอนจะสะสมอยู่ด้านนอกมาก และจะ
 เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของ H⁺ ของที่ 2 ฝั่งมาก (proton gradient) ผลการเช่นนี้ทำให้ pH
 ของด้านนอกต่ำกว่าของด้านใน (ประมาณ 1 หน่วย) และทำให้เกิดความต่างศักย์เคมีขึ้น คือเยื่อหุ้ม
 ชั้นในทางด้านช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในและชั้นนอก และทางด้านเมทริกซ์มีศักย์เป็นลบ
 ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณโปรตอนที่จะสะสมอยู่ในทางด้านนอกของเยื่อหุ้มชั้นในจะสูงกว่าทางด้านเมทริกซ์
 มากแต่เยื่อหุ้มนี้จะยอมให้ H⁺ ซึ่งผ่านกลับไปยังด้านเมทริกซ์โดยอิสระได้ตลอดทุกพื้นที่ของเยื่อหุ้ม
 แต่ H⁺ จะผ่านไปได้เฉพาะบริเวณที่เฉพาะที่เยื่อหุ้มชั้นในเท่านั้น ซึ่งช่อง (channel) ที่ H⁺ ผ่านนี้
 เป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์ ATP synthase ที่กระจายอยู่ตลอดบนเยื่อหุ้มชั้นใน ขณะที่ H⁺ ผ่านช่องเอน
 ซิมที่กล่าวถึงกับเมทริกซ์จะเกิดพลังงานที่ใช้สร้าง ATP ในขณะนั้นเอง

Notes | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2

Lesson 1

ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณโปรตอนที่จะสะสมอยู่ในทางด้านนอกของเยื่อหุ้มชั้นในจะสูงกว่าทางด้านเมทริกซ์
 มากแต่เยื่อหุ้มนี้จะยอมให้ H⁺ ซึ่งผ่านกลับไปยังด้านเมทริกซ์โดยอิสระได้ตลอดทุกพื้นที่ของเยื่อหุ้ม
 แต่ H⁺ จะผ่านไปได้เฉพาะบริเวณที่เฉพาะที่เยื่อหุ้มชั้นในเท่านั้น ซึ่งช่อง (channel) ที่ H⁺
 ผ่านนี้เป็นส่วนหนึ่งของเอนไซม์ ATP synthase ที่กระจายอยู่ตลอดบนเยื่อหุ้มชั้นใน ขณะที่ H⁺ ผ่าน
 ช่องดังกล่าวที่กล่าวถึงกับเมทริกซ์จะเกิดพลังงานที่ใช้สร้าง ATP ในขณะนั้นเอง

ผู้เป็นประธานสหพันธ์งานที่ใช้สร้าง ATP มาจากความแตกต่างของโปรตอนระหว่าง 2 ฝั่ง
 ของเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

Notes | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2

Lesson 1

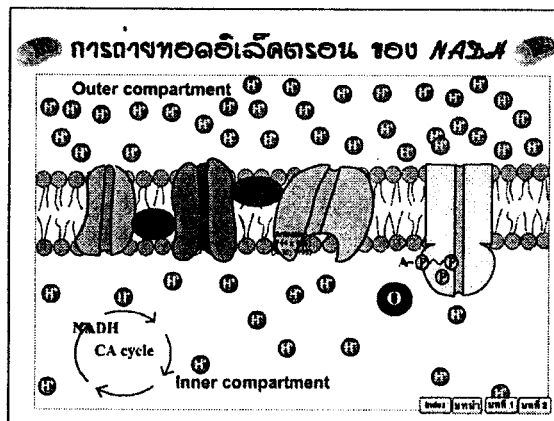
กลไกการถ่ายเทอิเล็กตรอนอาจแบ่งได้เป็น 4 ช่วง

- 1) NADH ส่งอิเล็กตรอนให้ complex I
- 2) FADH₂ ส่งอิเล็กตรอนให้ complex II
- 3) อิเล็กตรอนถูกถ่ายเทจากโคเอนไซม์ Q ไปยัง complex III ไปยังไซโตโครม c
- 4) อิเล็กตรอนถูกส่งจากไซโตโครม c ไปยัง O₂ ผ่าน complex IV

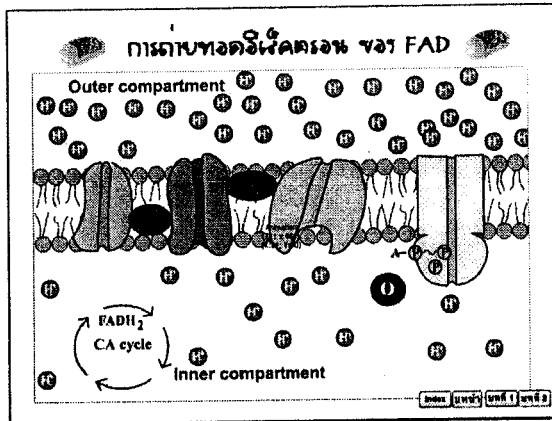
ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอน NADH + H⁺ และ FADH₂ ในสภาพจริงจึงเกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอน และโปรตอนจากการทำงานของเอนไซม์ ตั้งแต่เริ่มไกลโคไลซิสจนถึงวัฏจักรเครปส์ NADH + H⁺ และ FADH₂ จะถ่ายเทอิเล็กตรอนของไฮโดรเจนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนอื่น ๆ เช่น โคเอนไซม์ Q, ไซโตโครม b, ไซโตโครม c, ไซโตโครม c₁, และไซโตโครม c ตามลำดับ ระบบถ่ายเทอิเล็กตรอนจะมีการปล่อยพลังงานออกมาด้วย ซึ่งกว่าพลังงานที่ปล่อยออกมาเป็น 7.3 กิโลแคลอรีต่อโมล ก็จะรวมผลิตเป็น ATP ได้ พลังงานที่เหลือจะถูกปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อนซึ่งทำให้ร่างกายอบอุ่นตลอดเวลา

NADH + H ⁺	1 โมเลกุลให้ ATP 3 โมเลกุล
FADH ₂	1 โมเลกุลให้ ATP 2 โมเลกุล

notes | biologycorner.com | lesson 1 | page 4



<http://www.biologycorner.com/bio3/respiration.html> / notes-



<http://www.biologycorner.com/bio3/respiration.html> / notes-

Lesson 1

สรุปผลงานที่ได้ในชั้นเรียน ๗

1. ไกลโคไลซิส (Glycolysis)

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2P_i + 2NAD^+ \rightarrow 2C_2H_3O_2 + 2ATP + 2NADH + 2H^+$$

ได้พลังงานในช่วงนี้ 2 ATP (4 ATP - 2 ATP = 2 ATP)

และได้ 2 NADH + 2H⁺ (ยังไม่ให้พลังงาน)

Lesson1

2. การสังเคราะห์อะซิติลโคเอนไซม์เอ (Acetyl Coenzyme A)

$$2C_2H_3O_2 + 2 \text{ Coenzyme A} + 2 NAD^+ \rightarrow 2 \text{ Acetyl-CoA} + 2CO_2 + 2 NADH + 2H^+$$

ไม่ผลิตพลังงานรูป ATP เลย และได้ 2 NADH + 2H⁺ (ยังไม่ให้พลังงาน)

3. วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)

$$\text{Acetyl-CoA} + 3NAD^+ + FAD + GDP + P_i + 2H_2O$$

$$3NADH + FADH_2 + GTP + 2CO_2 + 3H^+ + CoA$$

ให้พลังงานในรูป 2 GTP และอีก 2 ATP และได้ 6 NADH + 6H⁺, 2 FADH₂
(6 NADH + 6H⁺, 2 FADH₂ ยังไม่ให้พลังงาน)

Home | หน้า | หน้า | หน้า

Lesson1

4. ระบบการขนส่งอิเล็กตรอน (Electron Transport system)

NADH + H⁺ ทั้งหมด 10 โมเลกุล

FADH₂ ทั้งหมด 2 โมเลกุล

$$10NADH + 10H^+ + 5O_2 + 30ADP + 30P_i \rightarrow 30ATP + 10H_2O + 10NAD^+$$

$$2FADH_2 + O_2 + 4ADP + 4P_i \rightarrow 4ATP + 2H_2O + 2FAD$$

ดังนั้นพลังงานที่ได้จากการหายใจระดับเซลล์ทั้งหมดคือ 34 ATP

Home | หน้า | หน้า | หน้า


บทสรุป การหายใจระดับเซลล์

พลังงานที่ได้ทั้งสิ้น 38 ATP
คือ

2 ATP (ไกลโคไลซิส) + 2 ATP (วัฏจักรเครบส์) + 34 ATP (ระบบถ่ายทอดอิเล็กตรอน)

สรุปการหายใจที่สมบูรณ์

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38ADP + 38P_i \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$



หน้า 1 จาก 2

Lesson 1

การสลายไขมัน

ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงาน ไขมันจะถูกย่อยโดยน้ำย่อยในพลาสมาให้เป็น กลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมัน (fatty acid)

กลีเซอรอลที่ได้จากการย่อยสลายไขมัน เปลี่ยนแปลงเป็นสารตัวกลางในกระบวนการไกลโคไลซิส คือ กลีเซอรอลดีไฮด์-3-ฟอสเฟต (glyceraldehyde 3-phosphate) ซึ่งจะสลายตัวต่อไปในกระบวนการไกลโคไลซิสและวัฏจักรเครบส์ต่อไป

การสลายกรดไขมัน กรดไขมัน (เก็บพลังงานส่วนใหญ่ของไขมันไว้) จะผ่านกระบวนการที่เรียกว่า อกซิเดชัน (oxidation) เพื่อสลายเป็นแอซิติล โคเอ เอ็นเทอริน ซึ่งเป็นวัฏจักรเครบส์โดยตรง

หน้า 1 จาก 2

Lesson 1



การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์สามารถเกิดขึ้นได้ทุกที่และตลอดเวลาในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด การกลายพันธุ์เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในลำดับเบสของ DNA หรือ RNA ซึ่งอาจเกิดจากการกลายพันธุ์แบบสุ่ม หรือจากการกลายพันธุ์แบบเหนี่ยวนำ (NH) การกลายพันธุ์สามารถเกิดขึ้นในเซลล์ somatic หรือในเซลล์ germline การกลายพันธุ์ somatic จะถูกส่งต่อไปยังลูกหลาน ในขณะที่การกลายพันธุ์แบบ germline จะถูกส่งต่อไปยังลูกหลาน

Index | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2

Lesson 1

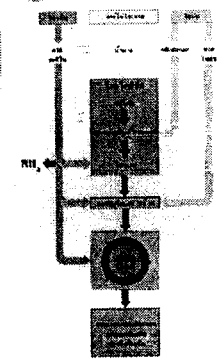



การกลายพันธุ์ของ DNA สามารถเกิดขึ้นได้ทุกที่และตลอดเวลาในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด การกลายพันธุ์เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในลำดับเบสของ DNA หรือ RNA ซึ่งอาจเกิดจากการกลายพันธุ์แบบสุ่ม หรือจากการกลายพันธุ์แบบเหนี่ยวนำ (NH) การกลายพันธุ์สามารถเกิดขึ้นในเซลล์ somatic หรือในเซลล์ germline การกลายพันธุ์ somatic จะถูกส่งต่อไปยังลูกหลาน ในขณะที่การกลายพันธุ์แบบ germline จะถูกส่งต่อไปยังลูกหลาน

Index | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2

Lesson1

การทบทวนความรู้ก่อนเรียน
เกี่ยวกับ การสร้างเว็บไซต์และวิธีการ
การเผยแพร่เว็บไซต์



หน้า 1 จาก 2

Lesson2



หน้า 1 จาก 2

Lesson2

ถ้ามีออกซิเจน ไกลูโคสจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันเพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์และระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ส่วนที่เหลือของระบบการหายใจ (cellular respiration) เพื่อให้ได้ ATP ที่ ATP ส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการออกซิเดชันที่ห่วงโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน (oxidative phosphorylation)

ในกรณีที่ไม่มีออกซิเจน ATP ก็ได้มาจากกระบวนการ substrate-level phosphorylation ขณะที่ไกลูโคสเปลี่ยนเป็นไพรูเวต จากนั้นไพรูเวตจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันหรือกรดไขมันอิสระ คือ ไกลูโคส ผ่านปฏิกิริยาที่เรียกว่าไกลิโคไลซิสและวัฏจักรเครบส์ NADH กลับเป็น NAD⁺ ซึ่งสามารถถูกนำกลับไปใช้ในวัฏจักรไกลิโคไลซิส และวัฏจักรเครบส์ (ที่ถือว่าเป็นวงจร) จากกระบวนการเหล่านี้ อาจจะมีแอลกอฮอล์ (ethanol) หรือแลคเตต (lactate) ซึ่งเรียกว่า lactic acid ในรูปในกล้ามเนื้อ (lactated) นี้อีก

การหายใจโดยไม่มีออกซิเจน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ไกลูโคไลซิส และกระบวนการหมัก

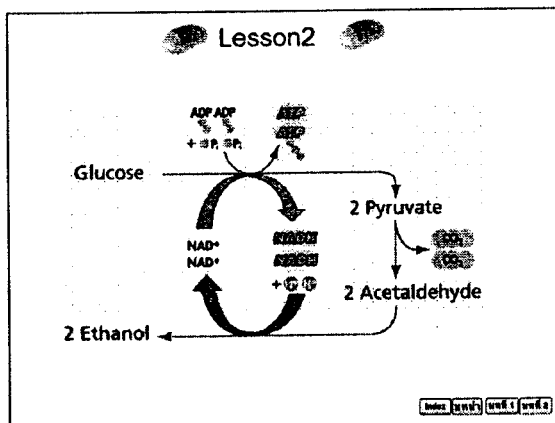
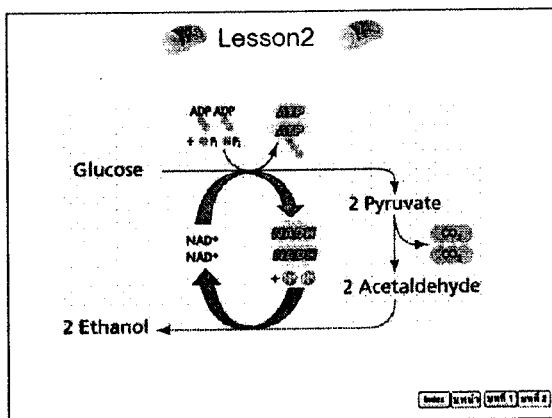
Index | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2

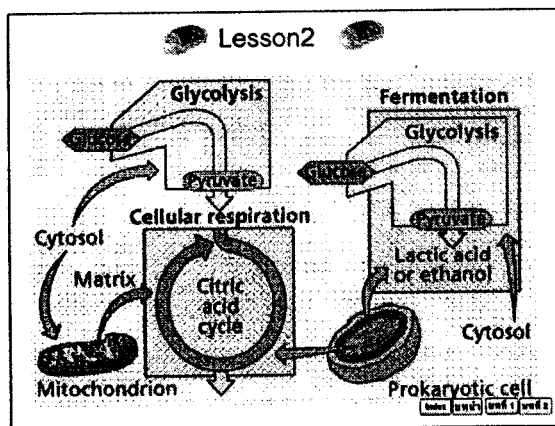
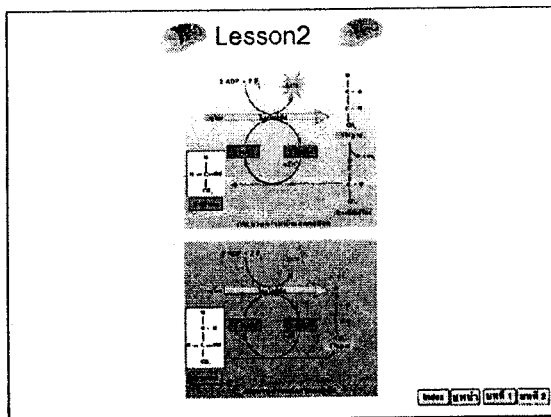
Lesson2

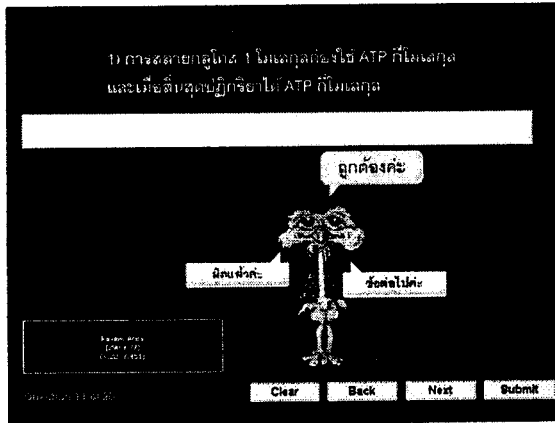
การหายใจโดยไม่มีออกซิเจนหรือกรดไขมันอิสระ

ในสภาวะที่ร่างกายขาดออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจนในเนื้อเยื่อ การสลายกลูโคสในเซลล์กล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นในสภาวะนี้และจะไม่ใช้วัฏจักรเครบส์ และระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนที่จะสลายไปสู่กรดแลคติก หรือแอลกอฮอล์ ซึ่งกระบวนการไกลูโคไลซิส ทำไม่ได้เพียง 2 ATP ต่อกลูโคส 1 โมเลกุล กระบวนการสามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันได้ เมื่อมีออกซิเจนมากพอที่จะเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้จะเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ต่อไป ส่วนในตับ กระบวนการสามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันสำหรับเป็นกลูโคสเพื่อส่งออกสู่ระบบเลือดได้ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่ากลูโคเนโอเจเนซิส ในกรณีที่มีออกซิเจนมาก ๆ จะทำให้กลูโคสที่จำเป็นต่อการทำงานไม่ได้จะต้องได้รับออกซิเจนมาพอ เพื่อสลายจนเซลล์เกิดต่อไปได้นี้

Index | บทนำ | บทที่ 1 | บทที่ 2







การสลายกลูโคส

2) การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล ใต้อะไรเกิดขึ้น

ถูกต้อง

ผิด

Clear Back Next Submit

การสลายกลูโคส

3) ผลิตภัณฑ์จากการเปลี่ยนกรดไพรูวิกเป็นเอซิติลโคเอนเอมีเอ เร ใดสารในเกิดขึ้นบ้าง

ถูกต้อง

ผิด

Clear Back Next Submit

การคูณ : $6 \times 10 = 60$

การคูณ : $6 \times 10 = 60$

ถูกต้องค่ะ

ผิดค่ะ

ยังไม่ค่ะ

Clear Back Next Submit

50 มีกี่บาท

การหาร : $50 \div 10 = 5$

ถูกต้องค่ะ

ผิดค่ะ

ยังไม่ค่ะ

Clear Back Next Submit

6) การหายใจระดับเซลล์เกิดขึ้นในใด

ถูกต้องค่ะ

ไมโทคอนเดรีย

ไซโทพลาซึม

คลอโรพลาสต์

นิวเคลียส

Clear Back Next Submit

7) การสลายกลูโคส 1 โมเลกุลได้กี่ ATP

ถูกต้องค่ะ

2

4

8

16

Clear Back Next Submit

8) ดูเงื่อนไขใบไม้มีสีอะไรเกิดจากการจับปะทะกับอาหารประเภทใด

รูปสีอะไร

จับปะทะอะไร

จำนวนข้อ: 1 ข้อ (1.00 / 1.00)

Clear Back Next Submit

9) การหายใจแบบไม่มีสีออกซิเจนของกลางเขี้ยวไล่ไล่อะไรเกิดขึ้น

สีของตัว


หายใจอะไร

จำนวนข้อ: 1 ข้อ (1.00 / 1.00)

Clear Back Next Submit

ข้อสอบแบบฝึกหัด

10) การพาดใจแบบไฮเปอร์ทิวาย และไม่ใช่ไฮเปอร์ทิวายมีขั้นตอนใดที่เหมือนกัน



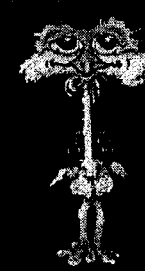
ถูกต้องค่ะ

ผิดใจค่ะ

ไฮเปอร์ & เร็วเกินไป

ข้อสอบแบบฝึกหัด

Clear Back Next Submit



สวัสดีค่ะ

Home หน้า หน้า หน้า หน้า

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางรวิวรรณ ทองศรีแก้ว
วัน เดือน ปีเกิด	25 กันยายน 2516
สถานที่เกิด	อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	วท.บ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2539 ศษ.บ. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช พ.ศ. 2547
สถานที่ทำงาน	โรงเรียนดาราวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
ตำแหน่ง	ครูผู้สอน