

SỬ DỤNG THÍ NGHIỆM ẢO ĐỂ TỔ CHỨC DẠY HỌC CHỦ ĐỀ “TRAO ĐỔI CHẤT VÀ CHUYỂN HÓA NĂNG LƯỢNG Ở THỰC VẬT” CẤP TRUNG HỌC PHỔ THÔNG

Trịnh Đông Thư¹,
Mai Hoàng Diễm²,
Hà Văn Dũng^{3,+}

¹Trường Đại học Sư phạm - Đại học Huế;
²Trường THPT Trần Hưng Đạo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu;
³Tạp chí Giáo dục - Bộ Giáo dục và Đào tạo
+Tác giả liên hệ • Email: dung.bio.sphn.th@gmail.com

Article history

Received: 15/12/2022

Accepted: 06/01/2023

Published: 05/3/2023

Keywords

Virtual experiment,
experiment, xylem circuit,
energy transformation,
teaching process

ABSTRACT

Virtual Experiment (VE) is claimed to be a rich learning resource as well as a visual aid with great effectiveness in teaching due to its ability to stimulate curiosity and activate thinking among students. Consequently, it encourages creativity in learners while exploring and interacting with information in a virtual environment. This study proposes a process of using virtual experiments in teaching with an illustrative example for teaching the “Xylem circuit” topic under the section “Metabolism and energy transformation in plants” at high school level in the 2018 General Education Curriculum for Biology. In the process of application, it is required that teachers adjust the steps in accordance with each school, locality and different subject/field of education.

1. Mở đầu

Nhà giáo dục J.A. Commenxki cho rằng “Sẽ không có gì hết nếu như trong trí não trước đó không có gì trong cảm giác. Vì vậy, dạy học không thể bắt đầu từ sự giải thích về các sự vật mà phải từ sự quan sát trực tiếp”. Chương trình giáo dục phổ thông 2018 đã chỉ rõ, thông qua hoạt động thực hành, trải nghiệm giúp HS hình thành và phát triển các năng lực chung, các năng lực đặc thù. Đồng thời, HS có cơ hội huy động và vận dụng kiến thức, kỹ năng môn học để giải quyết các tình huống thực tế trong học tập và đời sống (Bộ GD-ĐT, 2018). Tuy nhiên, do những yếu tố khách quan và chủ quan về nội dung môn học, điều kiện cơ sở vật chất của trường mà việc áp dụng thí nghiệm thực hành trong dạy học trở thành rào cản đối với GV. Do đó, thí nghiệm ảo (Virtual Experiment - VE) đã được nghiên cứu và đưa vào sử dụng ngày càng rộng rãi, phổ biến trong trường học.

Hiện nay, ở nhiều trường đại học trên thế giới như Đại học Stanford (Mỹ), Đại học Moroccan (Tây Ban Nha), Đại học Victoria (Úc), Đại học Gazi (Thổ Nhĩ Kỳ), Đại học Birzeit (Palestine),... đã triển khai, nghiên cứu và vận dụng VE trong giảng dạy. Các tác giả đã xem việc sử dụng các VE cho phòng thí nghiệm như một phần bổ sung cho các phòng thí nghiệm thực hành thông thường, giúp HS hiểu sâu hơn và hứng thú với giờ học thực hành thí nghiệm. Đây cũng là cơ sở để VE được đưa vào hoạt động giáo dục ở các trường phổ thông (Shin, 2003; Quiroga & Choate, 2019; Hamed & Aljanazah, 2020; El Kharki et al., 2021). Cùng với sự phát triển của công nghệ thông tin, nguồn tài nguyên số hiện nay vô cùng phong phú với giao diện đẹp, nội dung kiến thức khoa học chính xác, phản ánh một cách sinh động các quá trình, hiện tượng và cơ chế sinh học. Vì vậy, việc sử dụng VE để tổ chức dạy học sẽ tạo được hứng thú và phát huy tính chủ động của HS trong quá trình khám phá khoa học.

Bài báo trình bày khái niệm và vai trò của VE trong dạy học, đề xuất quy trình sử dụng VE trong dạy học và ví dụ minh họa kiến thức “Dòng mạch gỗ” thuộc chủ đề “Trao đổi chất và chuyển hoá năng lượng ở thực vật” cấp THPT trong Chương trình giáo dục phổ thông môn Sinh học 2018.

2. Kết quả nghiên cứu

2.1. Khái niệm và vai trò của thí nghiệm ảo trong dạy học

2.1.1. Khái niệm thí nghiệm ảo

VE là tập hợp các tài nguyên số đa phương tiện dưới hình thức đối tượng học tập, nhằm số hóa các hiện tượng vật lý, hóa học, sinh học... xảy ra trong tự nhiên hay trong phòng thí nghiệm, có đặc điểm là tính năng tương tác cao, giao diện thân thiện với người sử dụng và có thể ghi lại trạng thái của những quá trình, điều kiện tới hạn khó xảy ra trong tự nhiên hay khó thu được trong điều kiện phòng thí nghiệm truyền thống (Trịnh Đông Thư, 2021a).

2.1.2. Vai trò của thí nghiệm ảo trong dạy học

Trong dạy học, VE thể hiện được nhiều tính năng như sau: (1) VE đóng vai trò là phương tiện trực quan giúp HS tìm hiểu về sinh học và thực hành sinh học; (2) VE có thể mô phỏng các quá trình, hiện tượng sinh học cần nhiều thời gian, công sức để có thể hoàn thành được trong môi trường phòng thí nghiệm khoa học truyền thống. Mặc dù VE không thể thay thế thí nghiệm thật, nhưng chúng là một công cụ hữu ích trong cả dạy học lẫn nghiên cứu khoa học; (3) VE có thể được sử dụng như một công cụ nhận thức thu hút HS tham gia vào các hoạt động học tập và hình thành giả thuyết trong các tình huống giải quyết vấn đề; (4) VE có thể được “vận hành” một cách nhanh chóng, linh hoạt tùy theo sự điều khiển của GV và cho phép HS dễ dàng quan sát, thu thập dữ liệu, thông tin. VE cũng được sử dụng như phương pháp tiếp cận để tìm hiểu khoa học bằng cách cho phép người học đưa ra quyết định và kiểm soát các biến số; (5) VE giảm thiểu “tiếng ồn” mà HS trải qua trong môi trường lớp học thực tế, giúp HS làm quen với các ý tưởng, nội dung cơ bản của thí nghiệm, thiết bị, nguyên vật liệu, tiến trình thực hiện thí nghiệm và luôn đạt được kết quả như mong đợi (Trịnh Đông Thư, 2021a; Hossain et al., 2015; Huo & Yue, 2021); (6) VE kết hợp với thí nghiệm thật để tổ chức cho HS thực hành thí nghiệm; (7) VE sử dụng trong kiểm tra, đánh giá là sự kết hợp hiệu quả giữa việc kết nối kiến thức đã học và kỹ năng vận dụng để giải thích các hiện tượng, quá trình trong thực tiễn cuộc sống.

2.2. Quy trình sử dụng thí nghiệm ảo trong dạy học

Qua nghiên cứu và tham khảo quy trình của một số tác giả, chúng tôi đã xây dựng quy trình sử dụng VE trong dạy học để phát triển năng lực nhận thức sinh học gồm 5 bước như sau (Trịnh Đông Thư, 2021a, 2021b, 2022):

- *Bước 1. Phân tích chương trình, nội dung học tập và yêu cầu cần đạt của chủ đề:* GV cần tìm hiểu kỹ nội dung chương trình học; phân tích vị trí, cấu trúc và yêu cầu cần đạt của từng bài; hệ thống hóa các nội dung bài học có thể sử dụng VE để phát triển năng lực nhận thức sinh học. Đây là bước định hướng cho việc tìm kiếm VE đáp ứng đúng yêu cầu.

- *Bước 2. Tuyển chọn VE tương ứng với nội dung học tập:* Từ mục tiêu, yêu cầu cần đạt của từng nội dung bài học đã xác định ở bước 1, GV tiến hành tìm kiếm các VE có liên quan trong nguồn tài nguyên số. Sử dụng từ khóa bằng tiếng Anh để tìm kiếm. Đặc biệt, trong quá trình tìm kiếm và sưu tầm cần lựa chọn nguồn tư liệu đáng tin cậy và chính xác về mặt khoa học. Nguồn tài nguyên đa phương tiện rất phong phú nên cần tiến hành nghiên cứu và phân tích nội dung của VE sao cho thỏa mãn yêu cầu của nội dung học tập để lựa chọn. Đây là nguồn tư liệu thô rất quan trọng để xây dựng kế hoạch bài dạy.

- *Bước 3. Gia công sơ phạm các VE phù hợp với kế hoạch bài dạy:* Phần lớn các VE sưu tầm được đều có phụ đề hoặc thuyết minh bằng tiếng Anh. Điều này gây khó khăn cho HS trong việc quan sát, theo dõi thí nghiệm và thu nhận kiến thức. Vì vậy, GV cần nghiên cứu kỹ các thí nghiệm, tài liệu có liên quan để chèn phụ đề, thuyết minh tiếng Việt cho các VE. Trên cơ sở nguồn tư liệu thô đã được tích lũy đó, tùy theo mục đích dạy học, có thể gia công sơ phạm thêm phù hợp với kế hoạch bài dạy.

- *Bước 4. Xây dựng kịch bản cho việc sử dụng VE:* Trên cơ sở VE đã được tuyển chọn và gia công, GV xây dựng một kịch bản theo logic tiến trình tổ chức hoạt động dạy học khám phá kiến thức, đó là: (1) Trình bày cho HS về nội dung của bài học kết hợp trình chiếu VE; (2) Giao nhiệm vụ học tập cho mỗi nhóm; (3) Theo dõi VE và thu nhận kiến thức. Tùy theo nội dung bài học và các yêu cầu cần đạt mà lựa chọn phương pháp cũng như công cụ đánh giá phù hợp với VE và xây dựng kế hoạch bài dạy.

- *Bước 5. Tổ chức hoạt động dạy học để phát triển năng lực nhận thức sinh học:* Dựa trên kịch bản và kế hoạch bài dạy đã xây dựng ở bước 4, GV tổ chức hoạt động dạy học với mục đích phát triển năng lực nhận thức sinh học cho HS. Trong quá trình tổ chức hoạt động dạy học, từ các tình huống thực tế, có thể điều chỉnh kế hoạch bài dạy phù hợp hơn để vận dụng cho những lần dạy học tiếp theo.

Để đánh giá mức độ phát triển nhận thức sinh học của HS khi sử dụng VE trong dạy học, GV có thể sử dụng các công cụ như câu hỏi, Rubrics, bảng kiểm... thông qua sự đánh giá của GV và HS.

2.3. Vận dụng quy trình sử dụng thí nghiệm ảo trong dạy học chủ đề “Trao đổi chất và chuyển hóa năng lượng ở thực vật” cấp trung học phổ thông

Qua phân tích chủ đề “Trao đổi chất và chuyển hóa năng lượng ở thực vật” cấp THPT trong Chương trình giáo dục phổ thông môn Sinh học 2018, chúng tôi xác định được hệ thống các tiêu chủ đề có thể xây dựng và sử dụng VE như sau (xem bảng):

Bảng. VE dạy học chủ đề “Trao đổi chất và chuyển hoá năng lượng ở thực vật”

Tiêu chủ đề	Tên VE
Sự hấp thụ nước và khoáng ở rễ	VE về sự hấp thụ nước và ion khoáng ở rễ.
Sự vận chuyển các chất trong cây: - Dòng mạch gỗ - Dòng mạch rây	- VE về sự vận chuyển nước trong cây. - VE về áp suất rễ.
Sự thoát hơi nước ở lá	- VE về thoát hơi nước ở lá. - VE về sự phân bố khí khổng trên lá. - VE về hoạt động của khí khổng. - VE về sự ảnh hưởng của các yếu tố ngoại cảnh đến thoát hơi nước.
Các nhân tố ảnh hưởng đến trao đổi nước và dinh dưỡng khoáng ở thực vật và ứng dụng	VE về sự ảnh hưởng của các nguyên tố khoáng đến sinh trưởng và phát triển của cây.
Quang hợp ở thực vật	- VE về quang hợp hấp thụ CO ₂ . - VE về quang hợp giải phóng O ₂ . - VE về sự ảnh hưởng của các yếu tố ngoại cảnh đến quang hợp. - VE về nhận biết các chất hữu cơ trong các loại nông sản.
Hô hấp ở thực vật	- VE về hô hấp giải phóng CO ₂ - VE về hô hấp hấp thụ O ₂ . - VE về hô hấp sinh nhiệt. - VE về sự ảnh hưởng của các yếu tố ngoại cảnh đến hô hấp.

Sau đây là minh họa vận dụng quy trình sử dụng VE về sự vận chuyển nước trong cây và VE về áp suất rễ để tổ chức 03 hoạt động dạy học, đó là: Hoạt động hình thành kiến thức mới; Hoạt động luyện tập; Hoạt động tìm tòi, mở rộng (Theo Công văn số 5512/BGDĐT-GDTrH 2020 của Bộ GD-ĐT về tổ chức thực hiện kế hoạch giáo dục của nhà trường) trong dạy học kiến thức “**Dòng mạch gỗ**” thuộc tiêu chủ đề “**Sự vận chuyển các chất trong cây**” (Bộ GD-ĐT, 2018):

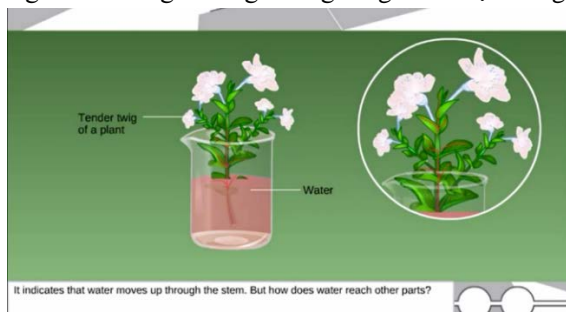
2.3.1. Hoạt động hình thành kiến thức mới

- *Bước 1. Phân tích chương trình, nội dung học tập và yêu cầu cần đạt của chủ đề:* Nghiên cứu nội dung “Dòng mạch gỗ” với yêu cầu cần đạt như sau: + Mô tả được hướng di chuyển của nước và ion khoáng trong dòng mạch gỗ; + Trình bày được sự vận chuyển nước và khoáng trong cây phụ thuộc vào: động lực hút của lá (do thoát hơi nước tạo ra), động lực đẩy nước của rễ (do áp suất rễ tạo ra) và động lực trung gian (lực liên kết giữa các phân tử nước và lực bám giữa các phân tử nước với thành mạch dẫn).

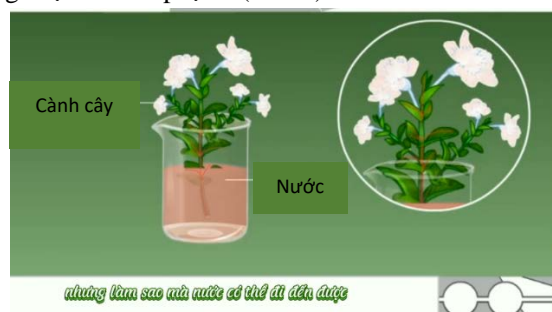
Để HS nhìn thấy và mô tả được hướng di chuyển của nước và ion khoáng trong cây là khó khả thi do những trở ngại khách quan khi tiến hành thí nghiệm thực hành. Vì vậy, VE sẽ là lựa chọn phù hợp để tổ chức dạy học nhằm giúp HS đạt được yêu cầu cần đạt này.

- *Bước 2. Tuyển chọn VE tương ứng với nội dung học tập:* Nhập từ khóa tiếng Anh “To show that water moves up with the help of stem” trên kênh youtube để tìm kiếm. Kết quả có nhiều đoạn phim hướng dẫn quá trình làm thí nghiệm về sự vận chuyển nước trong cây. Qua phân tích nội dung VE và nguồn gốc đáng tin cậy về mặt khoa học, VE được lựa chọn như sau (hình 1):

- *Bước 3. Gia công sơ phạm các VE phù hợp với kế hoạch bài dạy:* VE sau khi được tuyển chọn có phụ đề bằng tiếng Anh. Chúng tôi đã gia công bằng cách: Dịch sang tiếng Việt và chèn phụ đề (hình 2).



Hình 1. VE về vận chuyển nước trong cây
(Nguồn: <https://www.youtube.com/watch?v=x-RXyzXP7II>)



Hình 2. Kết quả VE về vận chuyển nước trong cây
(Nguồn: <https://www.youtube.com/watch?v=x-RXyzXP7II>)

- *Bước 4. Xây dựng kịch bản cho việc sử dụng VE:* Trên cơ sở VE đã được tuyển chọn và gia công, chúng tôi thiết kế hoạt động gồm 3 bước:

(1) *Chuyển giao nhiệm vụ:* + GV chia lớp thành 4 nhóm; + Yêu cầu HS theo dõi VE về sự vận chuyển nước trong cây; + Dừng lại ở giây thứ 53 và giao nhiệm vụ học tập cho HS; + Thảo luận nhóm trong thời gian 6 phút và hoàn thành phiếu học tập sau:

PHIẾU HỌC TẬP

Câu 1. Mô tả hiện tượng xảy ra trong VE. Từ hiện tượng đó, em hãy đưa ra giả thuyết về sự vận chuyển nước và các ion khoáng trong cây.

Câu 2. Dựa vào thí nghiệm hãy chứng minh giả thuyết trên.

Câu 3. Sự vận chuyển của nước và ion khoáng trong thân nhờ vào những lực nào?

(2) *Thực hiện nhiệm vụ:* GV chiếu lại đoạn phim cho đến khi kết thúc để HS thu nhận thông tin và hoàn thành phiếu học tập.

(3) *Báo cáo, thảo luận:* GV gọi 1-2 HS trả lời và nhận xét; sau đó, GV nhận xét, đánh giá và chính xác hóa kiến thức.

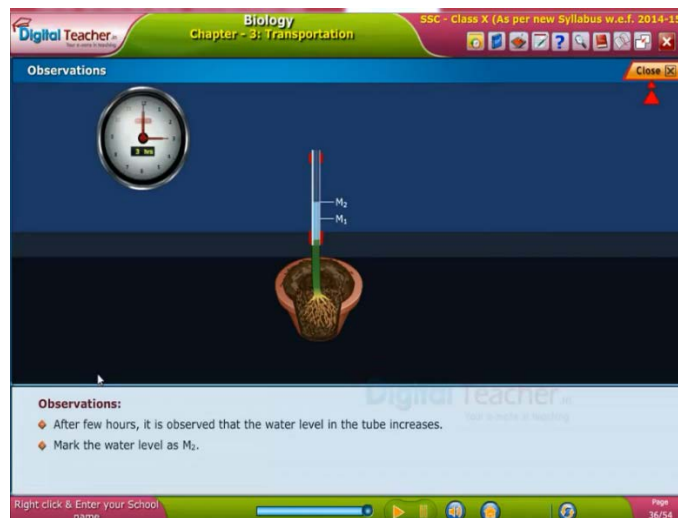
- *Bước 5. Tổ chức hoạt động dạy học để phát triển năng lực nhận thức sinh học:* Dựa trên kịch bản và kế hoạch bài dạy đã xây dựng ở bước 4, chúng tôi tổ chức hoạt động dạy học với mục đích phát triển năng lực nhận thức sinh học cho HS.

Trong quá trình sử dụng VE, kết hợp với các công cụ như câu hỏi, bảng kiểm... để đánh giá mức độ phát triển của năng lực nhận thức sinh học ở HS.

2.3.2. Hoạt động luyện tập

- *Bước 1. Phân tích chương trình, nội dung học tập và yêu cầu cần đạt của chủ đề* (giống hoạt động trước).

- *Bước 2. Tuyển chọn VE tương ứng với nội dung học tập:* Nhập từ khóa bằng tiếng Anh “Root pressure transportation” trên kênh youtube để tìm kiếm. Kết quả có nhiều đoạn phim thí nghiệm chứng minh lực đẩy của rễ. Qua phân tích nội dung VE và nguồn gốc đáng tin cậy về mặt khoa học, VE được lựa chọn như sau (xem hình 3):



Hình 3. VE về áp suất rễ

(Nguồn: <https://www.youtube.com/watch?v=iWTX2juEZcE>)

- *Bước 3. Gia công sơ phạm các VE phù hợp với kế hoạch bài dạy:* VE sau khi được tuyển chọn có phụ đề bằng tiếng Anh. Chúng tôi đã gia công bằng cách: Chèn phụ đề, thuyết minh tiếng Việt vào VE và cắt bớt 20 giây đầu của VE (phần giới thiệu sự vận chuyển).

- *Bước 4. Xây dựng kịch bản cho việc sử dụng VE:* Trên cơ sở VE đã được tuyển chọn và gia công, chúng tôi xây dựng hoạt động gồm 3 bước:

(1) *Chuyển giao nhiệm vụ:* GV giao nhiệm vụ sau:

Bài tập thực tiễn: Nhân ngày sinh nhật của mẹ, bạn Lan ra vườn vào buổi ban mai để cắt những bông hoa cúc dành tặng mẹ. Sau khi cắt, bạn quan sát và thấy có giọt nước nhỏ ứa lên ở bề mặt của vết cắt ngang gốc thân cây.

Lan cho rằng, những giọt nước ấy do sương đọng lại.

Em hãy cho biết:

1. Lan nói như vậy là đúng hay sai?
2. Hãy quan sát kết quả VE và giải thích.

(2) *Thực hiện nhiệm vụ:* GV chiếu VE về áp suất rễ để HS tiếp nhận thông tin và trả lời câu hỏi.

(3) *Báo cáo, thảo luận:* GV mời HS trả lời và nhận xét. Sau đó, GV nhận xét, đánh giá, chính xác hóa kiến thức.

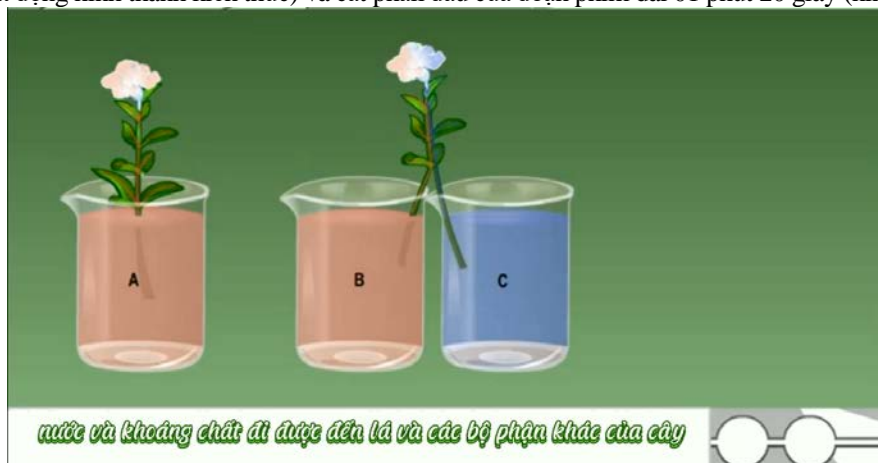
- *Bước 5. Tổ chức hoạt động dạy học để phát triển năng lực nhận thức sinh học:* Dựa trên kịch bản và kế hoạch bài dạy đã xây dựng ở bước 4, chúng tôi tổ chức hoạt động dạy học với mục đích phát triển năng lực nhận thức sinh học cho HS. Để đánh giá mức độ phát triển nhận thức sinh học của HS khi sử dụng VE để dạy học, chúng tôi sử dụng công cụ như câu hỏi thông qua sự đánh giá của GV.

2.3.3. Hoạt động tìm tòi, mở rộng

- *Bước 1. Phân tích chương trình, nội dung học tập và yêu cầu cần đạt của chủ đề:* Nghiên cứu nội dung “Dòng mạch gỗ” với yêu cầu cần đạt: Thiết kế được thí nghiệm có liên quan đến sự vận chuyển các chất trong cây. Để HS thiết kế được các thí nghiệm thì việc cho các em quan sát cách tiến hành một thí nghiệm mẫu là phương pháp hiệu quả nhất. Vì vậy, VE sẽ là lựa chọn phù hợp để tổ chức dạy học nhằm giúp HS đạt được yêu cầu cần đạt này.

- *Bước 2. Tuyển chọn VE tương ứng với nội dung học tập* (tương tự hoạt động hình thành kiến thức).

- *Bước 3. Gia công sơ phạm các VE phù hợp với kế hoạch bài dạy:* Sử dụng VE về quá trình vận chuyển nước trong cây (Hoạt động hình thành kiến thức) và cắt phần đầu của đoạn phim dài 01 phút 20 giây (hình 4).



Hình 4. Kết quả của VE về vận chuyển nước trong mạch gỗ
(Nguồn: <https://www.youtube.com/watch?v=x-RXyzXP7II>)

- *Bước 4. Xây dựng kịch bản cho việc sử dụng VE:* Trên cơ sở VE đã được tuyển chọn và gia công, chúng tôi xây dựng hoạt động gồm 3 bước:

(1) *Chuyển giao nhiệm vụ:* GV giao nhiệm vụ bằng bài tập sau:

Bài tập thực tiễn: Để thể hiện tình cảm của mình đối với các cô giáo giảng dạy nhân ngày 20/10, các bạn nam sinh của lớp 11A đã có ý tưởng tạo ra những bông hoa có nhiều màu sắc độc đáo để làm quà tặng. Sản phẩm của các bạn nam đã được hoàn thành trên cơ sở tìm hiểu VE về quá trình vận chuyển nước trong cây.

Em hãy:

1. Trình bày quá trình thực hiện để tạo nên những bông hoa nhiều sắc màu của các bạn nam sinh.
2. Quay lại video hướng dẫn cách tiến hành để những bạn khác cùng thực hiện.

HS thực hiện nhiệm vụ theo nhóm và nộp sản phẩm vào tiết học sau. Các nhóm sẽ đánh giá chéo sản phẩm của nhau.

(2) *Thực hiện nhiệm vụ:* GV trình chiếu VE về sự vận chuyển các chất trong cây (Đã gia công ở bước 3) để HS tự quan sát và tiến hành thí nghiệm nhuộm màu hoa.

(3) *Báo cáo, thảo luận:* Các nhóm sẽ trưng bày, trình bày sản phẩm và đánh giá chéo lẫn nhau. GV nhận xét, đánh giá sản phẩm của các nhóm.

- *Bước 5. Tổ chức hoạt động dạy học để phát triển năng lực nhận thức sinh học:* Dựa trên kịch bản và kế hoạch bài dạy đã xây dựng ở bước 4, chúng tôi tổ chức hoạt động dạy học với mục đích phát triển năng lực nhận thức sinh học cho HS.

3. Kết luận

Sử dụng VE để tổ chức dạy học là một trong những biện pháp mang lại hiệu quả. Có thể nói rằng, VE là một biện pháp trực quan thể hiện nhiều ưu điểm và đã được chuyển hoá một cách tích cực đối với chủ thể nhận thức trong quá trình tổ chức dạy học thực nghiệm. Thông qua các hoạt động có sử dụng VE, HS có cơ hội khám phá kiến thức sinh học một cách trực quan, tính chính xác đến mức tuyệt đối và đặc biệt tính thẩm mỹ cao. Từ đó, HS dễ dàng ghi nhận và khắc sâu kiến thức; tiếp thu kiến thức một cách chủ động, tích cực; nâng cao ý thức học tập, mong muốn giải thích được các vấn đề mang tính khoa học trong thực tiễn bằng thực nghiệm. Như vậy, VE là một nền tảng học liệu có giá trị cần được khai thác và sử dụng một cách rộng rãi trong dạy học Sinh học nói riêng và các môn Khoa học tự nhiên nói chung ở các trường phổ thông hiện nay. Quy trình và ví dụ minh họa trên đây là tài liệu tham khảo không chỉ đối với GV môn Sinh học ở trường THPT mà còn dùng cho GV và các nhà khoa học thuộc môn học/lĩnh vực khác. Tuy nhiên, trong quá trình vận dụng, cần phát triển các bước sao cho phù hợp với thực tiễn từng trường, địa phương và đặc thù môn học/lĩnh vực giáo dục nhất định.

Tài liệu tham khảo

- Bộ GD-ĐT (2018). *Chương trình giáo dục phổ thông môn Sinh học* (ban hành kèm theo Thông tư số 32/2018/TT-BGDĐT ngày 26/12/2018 của Bộ trưởng Bộ GD-ĐT).
- El Kharki, K., Berrada, K., & Burgos, D. (2021). *Design and Implementation of a Virtual Laboratory for Physics Subjects in Moroccan Universities*. MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. <https://doi.org/10.3390/su1307371>
- Hamed, G., & Aljanazrah, A. (2020). The effectiveness of using virtual experiments on students' learning in the general physics lab. *Journal of Information Technology Education: Research*, 19, 976-995. <https://doi.org/10.28945/4668>
- Hossain, Z., Jin, X., Bumbacher, E. W., Chung, A. M., Koo, S., Shapiro, J. D., ... & Riedel-Kruse, I. H. (2015). Interactive cloud experimentation for biology: An online education case study. In *Proceedings of the 33rd annual ACM conference on human factors in computing systems* (pp. 3681-3690).
- Huo, J., & Yue, X. (2021). Research and implementation of mechanical virtual experiment teaching platform. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*. <https://doi.org/10.1177/00207209211002077>
- Quiroga, M. D. M., & Choate, J. K. (2019). A virtual experiment improved students' understanding of physiological experimental processes ahead of a live inquiry-based practical class. *Advances in Physiology Education*, 43(4), 495-503. <https://doi.org/10.1152/advan.00050.2019>
- Shin, Y. K. (2003). *Virtual experiment environments design for science education*. [Conference presentation]. 2003 International Conference on Cyberworlds (pp. 388-395). Singapore: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CYBER.2003.1253480>
- Trịnh Đông Thư (2021a). Sử dụng thí nghiệm ảo - Giải pháp để tổ chức dạy học thực hành Sinh học ở trung học phổ thông bằng hình thức online. *HNUE Journal of Science: Educational Sciences*, 66(4G), 98-105. <https://doi.org/10.18173/2354-1075.2021-0173>
- Trịnh Đông Thư (2021b). Sử dụng thí nghiệm để tổ chức dạy học chủ đề “Chuyển hoá năng lượng”, Sinh học Trung học phổ thông. *UED Journal of Social Sciences, Humanities and Education*, 11(1), 96-103. <https://doi.org/10.47393/jshe.v11i1.936>
- Trịnh Đông Thư (2022). Sử dụng thí nghiệm ảo để kiểm tra đánh giá trong dạy học Sinh học ở trung học phổ thông bằng hình thức trực tuyến. *Tạp chí Khoa học, Đại học Huế: Khoa học xã hội và nhân văn*, 131(6D). <https://doi.org/10.26459/hueunijssh.v131i6D.6521>