UbD理念下PhET仿真实验的教学探析

——以高中生物学“基因指导蛋白质的合成”为例

刘 源[1],王 婧[1],朱太平[2],范志强[1]

(1.安庆师范大学生命科学与食品工程学院,安徽安庆 246133;2.安徽省潜山野寨中学,安徽安庆 246309)

摘 要:针对高中生物学微观概念抽象难懂,及传统实验教学评价滞后的现状,有必要探索技术赋能教学的新路径。基于此,探析UbD理念与PhET仿真实验融合的策略。以“基因指导蛋白质的合成”为例,遵循“以终为始”原则重构教学流程,将PhET仿真作为认知支架嵌入评估任务,利用其动态可视化特征消除微观认知盲区,并依托多维过程性数据实现“教—学—评”一致性。实践表明,该模式能有效降低认知负荷,深化学生对复杂生命过程的理解,并为高中生物学核心素养的落地提供了实证参考。

关键词:UbD理念;仿真实验;PhET;高中生物学;基因;蛋白质合成;探析

DOI:10.19935/j.cnki.1004-2326.2026.09.011

引用格式:刘源,王婧,朱太平,等.UbD理念下PhET仿真实验的教学探析:以高中生物学“基因指导蛋白质的合成”为例[J].实验教学与仪器,2026,43(09):44-49.

《中国教育现代化2035》提出将现代信息技术广泛应用于课堂教学、课外学习及教育管理各环节,以提升教育质量与效率;同时,强调引进国际优质教育资源,在注重本土化创新实践的同时,借鉴国际先进教育理念与教学方法,着力构建网络化、数字化、智能化的教育体系,尤其关注以信息化促进教育公平,切实缩小城乡教育鸿沟,推动中国教育高质量发展[1]。

UbD(Understanding by Design,追求理解的教学设计)是一种目标导向鲜明的教学模式,强调以预期学习结果统领教学过程,促进学生深入理解知识并将其迁移应用于解决真实问题,要求教学评价与教学活动均围绕既定目标展开[2]。高中生物学中“基因指导蛋白质的合成”内容抽象微观,其转录与翻译过程历来是教学难点。

为突破这一认知壁垒,实现信息技术与高中生物学教学的深度融合,有必要依托PhET(Physics Education Technology,物理教育技术)仿真平台直观呈现“从基因到蛋白质”的动态过程。尽管数字化仿真工具能有效激发学生的探究兴趣,但其教学效能的充分发挥,必须以明确的教学目标为导向,方能促进学生深度理解,发展其核心素养。为使仿真实验在高中生物学教学中切实发挥实效,有必要探析基于UbD理论的PhET仿真实验教学设计策略,旨在增强学生的实践体验与课堂参与度,确立以知识理解与迁移应用为核心的教学目标。

1 理论基础与研究综述

1.1 UbD理论的内涵

UbD由美国教育学者格兰特·威金斯(Grant Wiggins)和杰伊·麦克泰(Jay McTighe)于20世纪90年代末提出,其代表作*Understanding by Design*系统阐述了该理论的框架与实践指南。书中建构了逆向设计三阶段模型:确定预期结果、确定评估证据与设计学习体验。该模型为破解传统教学“重流程轻评价、重知识轻迁移”的弊端提供了有效抓手。该理论主张以学习目标为起点,逆向推导教学过程,强调学生对知识的深度理解及在真实情境中的迁移应用能力,倡导学习者主动建构知识体系,这与建构主义强调“基于真实问题情境建构知识”的核心理念高度契合。

在国内,UbD理论已逐步渗透至高中生物学教学实践。相关研究涵盖基于该理论的单元教学设计,如以“基因突变及其他变异”为例开展的逆向、整体性教学实践[3],亦涉及大单元教学策略、评价工具研制及学习任务单设计等多个维度。放眼全球,UbD已发展成为促进学生深度理解的重要理论工具,不仅为课程设计提供了系统性框架,更推动了教育范式的转型,引导教育者聚焦学生在真实情境中运用知识解决实际问题的能力培养。

1.2 PhET仿真实验在高中生物学教学中的研究现状

虚拟实验依托计算机及虚拟现实技术,构建沉浸式

实验环境，支持学生在虚拟空间中完成操作、采集与分析数据，以期达到逼近真实实验的教学效果[4]。目前，国内关于NOBOOK虚拟实验室的高中生物学教学应用研究较为丰富，亦有学者将VR技术引入高中课堂，以直观方式呈现微观分子结构。作为一类便捷的学习工具，虚拟实验可有效控制教学成本，提升学习效率。然而，此类虚拟实验多侧重于现象呈现与操作模拟，在支持学生通过互动探究深化科学原理理解方面仍显不足。

相比之下，PhET是由美国科罗拉多大学博尔德分校开发的互动仿真平台。该平台涵盖物理、化学、生物学、地理学及数学等领域的科学模拟，支持学生通过互动探究深化原理理解。当前，PhET仿真实验在高中物理与化学教学中的应用研究已趋成熟，但在生物学领域的应用探索仍相对匮乏。鉴于PhET主题仿真与高中生物学教学诉求的高度契合性，其在深化学生概念理解及提升综合素养方面具有重要潜力。

2 教学活动设计

基于图1所示的UbD逆向设计三阶段框架，融合PhET仿真实验平台，笔者对人教版高中生物学“基因指导蛋白质的合成”一课进行了教学重构与课堂实施。

2.1 梳理课标要求，确定预期结果

《普通高中生物学课程标准（2017年版2020年修订）》中关于“基因指导蛋白质的合成”的内容要求包括：概述DNA携带的遗传信息经由RNA介导指导蛋白质合成的基本过程；理解细胞分化的实质是基因选择性表达；阐明生物性状主要通过蛋白质表现；阐明基因碱基序列的改变可引发蛋白质功能异常，甚至诱发致死表型。

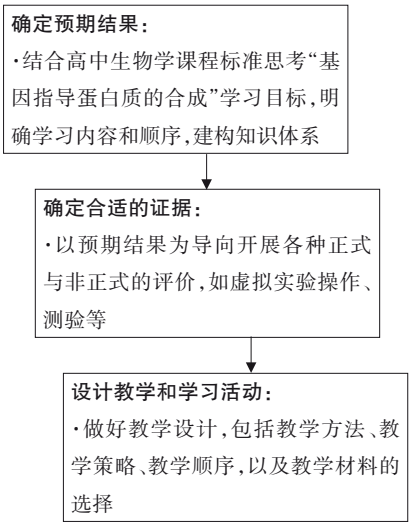


图1 UbD逆向设计三阶段框架

作为高中生物学的核心内容，该部分知识揭示了遗传信息传递的基本规律。学生通过剖析转录与翻译的分子机制，不仅能理解基因如何控制生命活动，亦能为阐释疾病发生的分子机理及基因突变的影响奠定认知基础。据此，表1展示了“基因指导蛋白质的合成”在UbD逆向设计阶段1（确定预期结果）的具体规划。

表1 “基因指导蛋白质的合成”逆向设计阶段1

阶段1——确定预期结果	
所确定的目标： ·能基于复制、转录、翻译等过程的认识，阐明物质、能量和信息变化的统一性及细胞各部分结构和功能的整体性 ·通过分析密码子表并基于地球上几乎所有生物共用一套密码子的事实，认同当今生物可能有共同的起源 ·基于DNA与RNA的结构和功能，建构出从DNA到蛋白质的过程模型 ·通过总结和完善中心法则，体会科学在不断发展	
基本问题： ·在DNA与蛋白质之间，谁充当中间物质 ·碱基与氨基酸之间的对应关系是怎么样的 ·游离在细胞质中的氨基酸是如何被运送到合成蛋白质“生产线”上的 ·翻译的具体过程是怎样的 ·遗传信息是如何在DNA、RNA和蛋白质之间传递的	**学生将会理解：** ·理解DNA、RNA和蛋白质之间的关系 ·理解DNA的转录和翻译的过程模型 ·理解中心法则所蕴含的遗传物质流动过程
学生将知道： ·知道转录和复制的共同点和RNA为什么适合充当信使 ·知道转录和翻译的场所以及所需要的酶 ·知道碱基与氨基酸的对应关系 ·知道tRNA的结构和功能	**学生将能够做到：** ·能够详细描述转录过程中RNA聚合酶的作用、mRNA的形成过程，以及翻译中tRNA如何将氨基酸带到核糖体，合成多肽链 ·能够运用遗传信息的流动过程的知识来宏观解释一些遗传现象，提高对生物学的认识 ·能够将所学的生物学知识与现实生活联系起来，理解现代生物学技术在农业、医学等领域的应用

2.2 确定评估证据，检测学习效果

有效的评估不应止于教学终结时的纸笔测验。多元化评价方式有助于全面诊断学生对“基因指导蛋白质的合成”这一复杂生命过程的理解程度，从而为教学调适提

供实证依据。在教学过程中,需通过持续性评价搜集多维证据,以匹配差异化的课程目标(图2)。所采集的证据既包含传统纸笔测验,亦涵盖表现性任务及兼顾个体差异的自我评价。

笔者以表现性任务与阶段性测验作为主要评估证据。具体而言,设计基于生物学实验报告及PhET仿真平台的任务载体,通过实操评估学生的实践能力与知识迁移水平。与此同时,辅以课堂问答与随堂测验,即时诊断学生对核心内容的掌握情况。

为进一步捕捉学习动态,可采集学生自我评价及反馈信息,以精准定位其认知障碍并提供针对性干预。上述多维评估证据的有机整合,紧扣课程标准与素养目标,从而完整构建了UbD逆向设计阶段2(确定评估证据)的实施框架,详见表2。

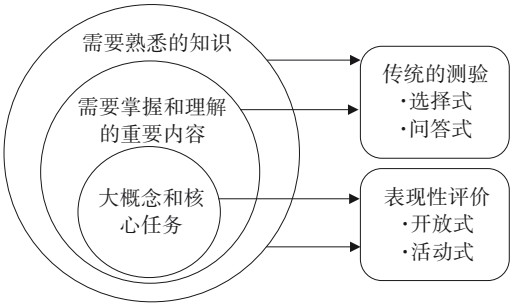


图2 评估方法

表2 “基因指导蛋白质的合成”逆向设计阶段2

阶段2——确定合适的评估证据	
表现性任务: ·生物学实验报告——探究转录和翻译所需要的DNA模板链、RNA聚合酶、核糖体、tRNA等条件对于基因表达的影响 ·基因表达仿真实验——不同的基因表达出的产物不同,表达的产物速率与所需的条件数量有关	**其他证据:** ·小测试——选择题、填空题 ·课后练习——与基因表达过程相关的问答题
学生的自我评价和反馈: ·学生在课堂学习过程中的表现,例如小组讨论、回答问题、积极反应 ·学生自己操作基因表达仿真实验时的兴趣和表现	

2.3 预期学习体验,确定学习环节

在UbD的反向设计中,第一阶段确定了期望的学习成果,第二阶段明确了评估标准。在第三阶段,需要根据这些学习目标来选择合适的教学活动。

教学是达到目标的一种手段,包括教学方法、教学顺序,以及资源材料的选择等。教学活动需要密切联系学生需要掌握的知识、技能和概念。每个活动都应精准服务于学习目标,以帮助学生深化对核心概念的理解。学习环节的设计必须严格对标前两个阶段确立的预期结果与评估证据,因此,教师需要转变传统教学思路,践行以学生为中心的理念,确保所有教学活动均能助力目标的达成。具体设计详见表3。

表3 “基因指导蛋白质的合成”逆向设计阶段3

阶段3——设计学习计划
WHERE TO
1.介绍镰状细胞贫血是由β-珠蛋白基因突变引起的遗传性疾病,借此引入新课(H)
2.告知学生基因指导蛋白质合成的基本概念和步骤,掌握转录过程DNA如何转化为mRNA,理解翻译如何使mRNA的信息转化为蛋白质(W)
3.讨论本节内容的最终表现性任务(生物学实验报告和虚拟仿真实验)(W)
4.通过图示演示DNA转录为mRNA的过程,解释关键酶的作用。讨论转录中的起始、延伸和终止步骤(E)
5.通过提问“DNA和RNA有何区别?”“RNA聚合酶在转录中起到什么作用?”鼓励学生思考基因转录的本质(R)
6.设置几道选择题和简答题,检验学生是否能准确描述转录过程的各个环节(E)
7.基于PhET开展一些实验活动,帮助学生更好地理解DNA转录的过程(T)
8.通过讲解—讨论—实验—反思—小测试的环节,逐步引导学生以小组报告和互动回答问题的形式加强记忆(O)
9.解释转录后的mRNA如何进行翻译;解释核糖体、tRNA和氨基酸如何共同工作,将mRNA翻译成蛋白质(E)
10.让学生写出mRNA加工和翻译的步骤,并描述每个步骤中关键分子的作用(E)
11.运用仿真实验加深学生对翻译过程的理解,探究不同因素对翻译过程的影响(T)
12.查阅资料,了解沃森和克里克等科学家对中心法则完善的贡献,并在班级内开展讨论与交流(T)
13.带领学生一起在黑板上画出中心法则图;结合“如果转录错误会怎样?”鼓励学生思考转录与翻译过程中的潜在问题及其后果(R)
14.在单元总结时,学生回顾所完成的实验并撰写实验报告,自己独立操作仿真实验(E)
15.在单元结束时,学生结合自己对基因表达过程的理解进行自评,发布一些小测验,探讨基因的表达对人类社会的农业、制药和医疗等方面的影响(T)

3 教学活动实施

笔者的教学实施对象为高二学生，共安排了2节课时（转录、翻译各1节课时）。以基于PhET仿真平台的“基因表达”片段教学为例，其活动目标设定为：引导学生借助PhET仿真平台，直观观察并阐明DNA转录为mRNA、mRNA在细胞质中指导蛋白质合成的全过程；辨识DNA、mRNA及tRNA的结构特征，理解其在遗传信息传递过程中的特定功能；通过宏观现象与微观机制的关联分析，深化学生对“基因决定蛋白质，蛋白质体现性状”这一生命观念的认知。

3.1 “基因指导蛋白质的合成”的学习路线

其学习路线（教学进程设计）如图3所示。

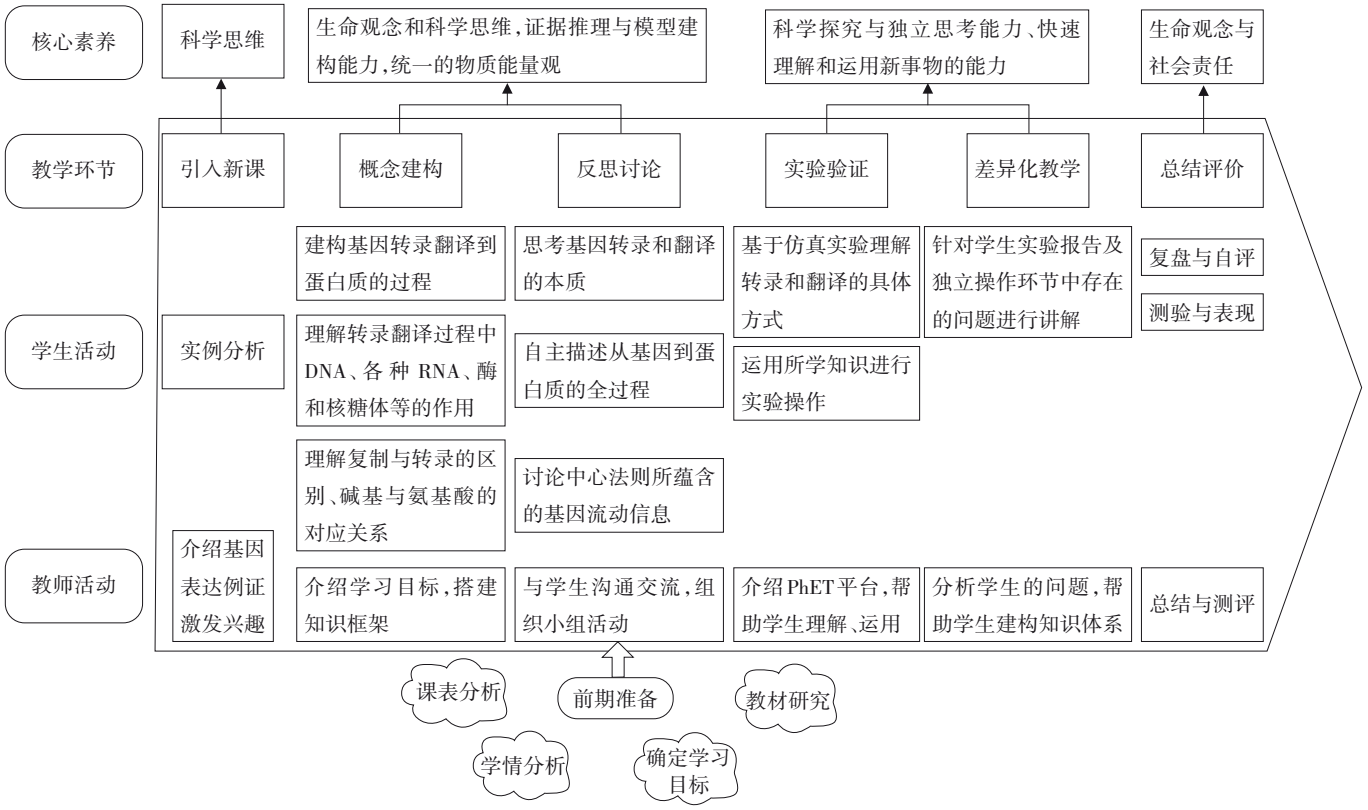


图3 “基因指导蛋白质的合成”的学习路线（教学进程设计）

3.2 基于PhET基因表达实验的教学活动设计与实施

笔者依托PhET仿真平台“Gene Expression Essentials”仿真模型开展探究。该模型涵盖基因表达概览、DNA转录机制及细胞蛋白质合成共3个功能模块（图4）。利用该模型，可自主选择DNA模板链，动态添加RNA聚合酶等关键元件，并模拟不同环境条件下对表达效率的影响；能够微观呈现转录与翻译的全动态过程，且支持对表达进程进行实时调控以观测表型变化。笔者基于该模型，设计了以下3项递进式的仿真探究活动。

（1）活动1：探究基因与蛋白质之间的媒介。

【活动目标】让学生了解DNA、mRNA与蛋白质之间的关系，以及转录的基本过程。

①教师活动。

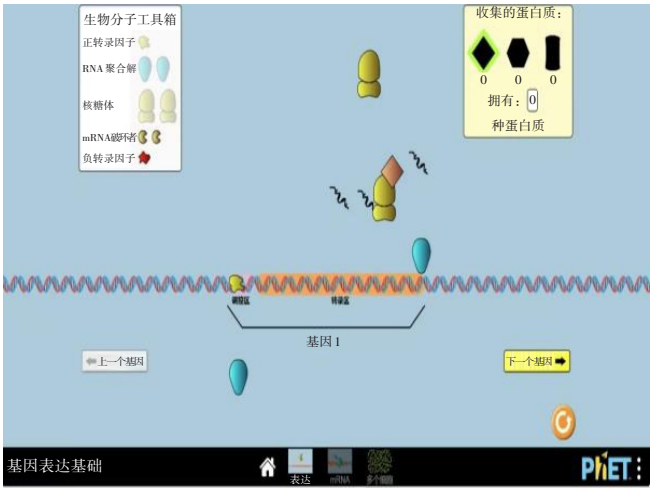


图4 基于PhET平台的仿真实验

【知识引入】介绍mRNA的发现过程，讲解从DNA到mRNA的转录过程。

【展示PhET仿真实验】向学生展示PhET仿真平台中的“DNA转录”实验，展示DNA如何转录为mRNA。

【引导解释】教师提供操作指引，引入正调控因子与负调控因子概念，通过调节二者浓度观察转录速率的变化，直观理解转录的调控机制。

【总结讨论】通过提问，帮助学生理解从DNA到mRNA的转录过程。

②学生活动。

【操作实验】学生在PhET仿真平台上调控正、负转录因子的浓度和亲和性，观察其对mRNA的合成过程的影响。

【记录观察】学生记录不同影响因素对生成mRNA速率的影响，并分析正、负转录因子的作用。

【讨论分析】学生讨论不同的影响因素如何对转录过程施加影响。PhET仿真平台提供的交互式实验，可帮助学生通过动手操作加深对抽象生物学概念的理解。

（2）活动2：蛋白质合成中的转录和翻译过程。

【活动目标】深入理解转录和翻译的详细步骤，增强学生对遗传信息表达过程的理解，认识到不同基因表达会产生不同的蛋白质。

①教师活动。

【复习概念】引导学生复习转录和翻译的基本步骤。

【演示实验】展示PhET仿真平台中的“基因表达”模拟，演示转录（DNA到mRNA）和翻译（mRNA到蛋白质）的过程。

【引导学生操作】教师引导学生逐步开展实验操作，探究驱动基因转录生成mRNA所需的关键因素，进而通过翻译合成蛋白质。

【小组讨论】引导学生讨论不同的DNA翻译产生不同蛋白质的原因。

②学生活动。

【实验操作】学生在PhET仿真平台中操作，模拟不同DNA的转录和翻译过程，观察基因如何产生mRNA，并在翻译过程中合成蛋白质。

【小组讨论】学生分组讨论，分析不同DNA经转录产生不同mRNA，进而翻译出不同蛋白质的内在机制，并阐释mRNA在遗传信息传递中所发挥的关键桥梁作用。

【总结发言】各小组分享观察与分析结果，探讨基因通过转录与翻译指导功能性蛋白质合成的具体路径。

设计意图：该活动依托PhET仿真平台，引导学生动手模拟转录与翻译过程，动态观测遗传信息从DNA到蛋白质的传递规律，旨在通过可视化交互，突破微观认知壁垒，深化学生对“基因指导蛋白质的合成”这一核心概念的理解，进而建构结构与功能相适应的生命观念。

（3）活动3：探究不同因素对细胞内蛋白质含量的影响。

【活动目标】通过模拟不同因素（如正、负转录因子，聚合酶和蛋白质降解速度等）对蛋白质合成的影响，帮助学生理解这些因素是如何调控细胞内蛋白质的合成量的，并且知道DNA不是调控蛋白质合成的唯一因素。

①教师活动。

【引入主题】教师简要介绍影响蛋白质合成的因素。

【展示PhET仿真实验】教师展示PhET仿真平台中的“细胞蛋白质合成”实验，讲解如何模拟不同的因素和条件，观察这些变化对蛋白质合成的影响。

【引导学生设置实验条件】教师指导学生调控实验变量，通过改变正调控因子与负调控因子的浓度配比、调节RNA聚合酶效率等手段，观测蛋白质合成速率与产量的变化。

【总结与提问】教师通过问题引导学生思考不同因素是如何影响细胞内的蛋白质含量的，并总结影响蛋白质合成的主要因素。

②学生活动。

【操作PhET仿真实验】学生在PhET仿真平台上调整不同调控因素，观察不同条件下蛋白质表达量的变化。

【数据记录与分析】学生记录每次实验中的蛋白质平均表达量，并分析哪些因素对蛋白质含量有显著影响。

【小组讨论】学生分组研讨仿真实验结果，分析不同调控因素对蛋白质合成进程的影响。

【总结发言】各组分享本组的实验设置与结果，归纳影响细胞内蛋白质合成的核心调控因素。

设计意图：此活动旨在引导学生阐明蛋白质合成的多层级调控机制，明晰基因序列与分子调控变量协同影响细胞内蛋白质表达水平的内在逻辑。依托PhET仿真平台的可操控性，学生通过调控核心变量、分析动态数据，明确正调控因子、RNA聚合酶等关键因素的影响权重。该设计旨在实现双重目标：既深化学生对“基因→蛋白质→性状”生命观念的建构，又同步培育其科学探究与数据分析素养，落实“教—学—评”一致性要求。

3.3 教学反思

（1）设计优点。

该教学设计基于UbD理念，借助PhET仿真平台模拟

基因转录与翻译的动态过程，引导学生自主探究基因表达的核心逻辑，深化其对基因调控蛋白质合成机制的持久理解。整个活动的设计关注学生对核心概念的理解，并通过设计具体的学习活动和评估，帮助学生高效地掌握知识。

通过引入影响基因表达的因素，学生不仅能够了解基因表达调控的基本概念，还能理解其他因素对蛋白质合成的具体影响。这种拓展知识的设计，能够帮助学生将生物学的基本概念与实际生活中的环境变化和调控机制相联系，从而增强学习的实际意义。在PhET仿真实验的操作环节，学生能够自主调节不同的实验设置，观察和记录所带来的变化。通过这种动手操作，学生不仅能直观理解转录、翻译过程和蛋白质合成的基本规律，还能激发探究兴趣，促使其在实践过程中发现问题，进而加深对知识的理解。通过小组讨论和总结发言环节，引导学生分析实验现象，思考哪些因素对基因表达过程有显著影响，并促使他们在分享中相互交流。这种合作学习的设计可以促进学生互动、知识建构和逻辑思维等能力的发展，同时培养其团队合作和沟通能力。

（2）设计不足及改进建议。

但是在实际教学过程中，依然存在一些问题：部分学生在操作PhET仿真实验时，由于缺乏对实验内容的深刻理解，初期可能存在一定的操作困难，或对结果的分析不够深入。在后续教学中，笔者建议：在实验前加强对基础概念的讲解，确保学生充分理解理论背景，使其能够更好地操作实验并分析结果。此外，对于自主学习能力薄弱的学生，这样的教学方式可能会导致其学习更加困难。对此，教师需要布置必要的课前预习任务，或在课外给予有针对性的指导[5]。

（3）小结。

总体来说，高中生物学教学活动在UbD理念指导下，有效结合仿真实验进行逆向设计，促进了学生对知识的理解，激发了学生对生物学的兴趣，并通过实验数据分析提升了其科学思维和问题解决能力。

4 总结与展望

笔者基于UbD教学理念，融合PhET仿真平台的“Gene Expression Essentials”模型开展教学设计与实践。平行班评价对比显示，UbD逆向设计实现了预期结果，学生表现与教学体验达到了高度契合，有效深化了学生对核心知识的掌握：在简答题测验中，实验班学生对基因表达过程的描述准确、翔实。

此外，PhET仿真实验与高中生物学教学内容契合度高，实验设计灵活性强，课堂学生参与度显著高于对照班。相较于传统讲授式教学，PhET仿真平台通过仿真操作引导学生自主建构知识，借助可视化探究激发学习兴趣，教学实效显著提升[6]。

在应用PhET“基因表达”模型开展教学的过程中，采用“教师演示+学生实操”的参与式设计，旨在引导学生深度理解并自主建构基因表达过程。但实践发现，仿真模型包含部分超出课标要求的拓展性内容，需额外补充相关背景讲解，在一定程度上增加了学生的认知负荷与操作难度，也对教师的跨学科素养提出了更高要求：教师需探索仿真实验与课堂教学的有机融合路径；而学生需要提升自主探究能力。

后续需持续深化仿真实验的应用策略，多维度拓展其在微观概念教学中的适用场景，全方位切实提升生物学教学效能。

基金项目：2023年安庆师范大学生物科学一流专业建设项目，编号：2021071；2024年皖西南生物多样性研究与生态保护安徽省重点实验室开放课题“安庆市滨水植物群落对温湿度调节作用研究”，编号：Wxn202427。

作者简介：刘源（2002—），男，助教，研究方向：生物学教学与研究，E-mail：3258932562@qq.com。

通信作者：范志强（1974—），男，副教授，研究方向：生物学教学与研究，E-mail：654539271@qq.com。

参考文献

[1] 中共中央，国务院.中国教育现代化2035[EB/OL].(2019-02-23)[2025-02-16].https://www.gov.cn/zhengce/2019-02/23/content_5367987.htm.

[2] 曾怡兰.运用UbD模式在高中生物学中促进深度学习的实践研究[D].太原：太原师范学院，2024.

[3] 秦东军.基于UbD模式的高中生物学单元教学设计研究：以“基因突变及其他变异”为例[J].中学生理科应试，2024(08)：51-53.

[4] 孙铃.在线教学模式下虚拟平台实验在高中生物教学中的应用策略[J].现代盐化工，2023，50(05)：133-135.

[5] 刘汝凤，兰威，周业虹，等.PhET软件在化学跨学科教学中的应用：以“从原子结构到分子构建”为例[J].中小学数字化教学，2025(02)：43-46.

[6] 黄春梅，叶晓波.PhET在初中物理教学中的应用研究：以“杠杆”为例[J].中国现代教育装备，2020(02)：9-11.