

在细胞生物学概念教学中培养师范生科学思维探析

王宝娟¹ 薛森¹ 夏行权¹ 方大伟² 吴志强³ 陈冬生^{1*}

(¹安徽师范大学, 生命科学学院, 芜湖 241000; ²安徽师范大学, 教育科学学院, 芜湖 241000;

³芜湖市教育科学研究所, 芜湖 241000)

摘要 科学思维是生物学核心素养的重要组成部分, 细胞生物学作为生物科学(师范)专业的基础课程, 为培养学生的科学思维提供了丰富的实验事实和概念基础。该文首先强调在生物科学专业师范生教育中, 利用概念教学实现知识传授与科学思维培养的必要性; 随后探讨了概念建构中体现的科学思维方法, 并详细论证了采用概念图、科学史、建模教学和思辨式学习的教学策略, 培养师范生归纳与概括、演绎与推理、模型与建模、批判性与创造性的思维方法; 最后通过建立教学评价体系和实施效果分析, 验证了概念教学在提升学生细胞生物学成绩和科学思维能力方面的有效性。由此可见, 该研究成功构建了一种融合知识传授与科学思维培养的概念教学实践范式, 为高等师范院校细胞生物学课程中生物科学专业师范生的教育教学提供了有效策略, 同时为其他学科的课程教学改革提供了参考。

关键词 生物科学; 概念建构; 知识传授; 思维方法; 教学策略

An Analysis on Cultivating Scientific Thinking of Normal Students in the Concept Teaching of Cell Biology

WANG Baojuan¹, XUE Miao¹, XIA Xingquan¹, FANG Dawei², WU Zhiqiang³, CHEN Dongsheng^{1*}

(¹School of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China; ²School of Educational Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China; ³Wuhu Institute of Education Science, Wuhu 241000, China)

Abstract Scientific thinking is an essential component of the core literacy in biology, and as a foundational course in the Biology Science (Teacher Education) major, Cell Biology offers a rich array of experimental facts and conceptual foundations to foster students' scientific thinking. This paper first emphasized the necessity of employing conceptual teaching to achieve both knowledge transmission and the cultivation of scientific thinking in the education of prospective biology teachers. It then explored the scientific thinking methods reflected in conceptual construction and provided detailed arguments for teaching strategies such as concept map, history of science, modeling, and critical thinking to develop prospective teachers' abilities in induction and generalization, deduction and reasoning, modeling and model-building, as well as critical and creative thinking. Finally, it validated the effectiveness of conceptual teaching in improving students' performance in Cell Biology and their scientific thinking skills through the establishment of a teaching evaluation system and analysis of its implementation outcomes. Therefore, this study successfully developed a conceptual teaching paradigm that integrates knowledge transfer with the culti-

收稿日期: 2025-01-15 接受日期: 2025-04-17

安徽省高等学校省级质量工程(批准号: 2021jyxm0509、2024jyxm0118)和新时代育人省级质量工程学科教学(生物)专业学位教学案例库(批准号: 2024zyxwjk018)资助的课题

*通信作者。Tel: 0553-3869297, E-mail: cds2001@ahnu.edu.cn

Received: January 15, 2025 Accepted: April 17, 2025

This work was supported by the Provincial Quality Engineering Project for Higher Education Institutions in Anhui Province (Grant No.2021jyxm0509, 2024jyxm0118) and the New Era Talent Development Provincial Quality Engineering Project: Discipline Teaching (Biology) Professional Degree Teaching Case Library (Grant No.2024zyxwjk018)

*Corresponding author. Tel: +86-553-3869297, E-mail: cds2001@ahnu.edu.cn

vation of scientific thinking, which provided an effective strategy for the education and teaching of biological science majors in Cell Biology courses at normal universities, and also serves as a reference for curriculum reform in other disciplines.

Keywords Biology Science; concept construction; knowledge transmission; thinking method; teaching strategies

2017年, 习近平总书记在中国政法大学发表重要讲话中指出“青年时期是培养和训练科学思维方法和思维能力的关键时期”^[1]。2020年5月, 教育部颁布《高等学校课程思政建设指导纲要》, 明确指出“理学类专业课程要注重科学思维方法的训练和科学伦理的教育, 培养学生探索未知、追求真理、勇攀科学高峰的责任感和使命感”^[2]。高等师范院校生物科学专业以培养中学生物学教师为首要目标, 应高度重视知识传授与科学思维培养的深度融合, 师范生在加强知识学习的同时, 接受有效科学思维训练, 这一举措不仅是对师范生在不同学习阶段生物学学科核心素养培养的延续与深化, 而且为师范生未来在教育岗位上有效实施课程标准中的核心素养奠定坚实基础。作为生物科学专业的必修课程, 细胞生物学是一门以实验为基础的学科, 科学思维贯穿实验探究的全过程, 同时实验探究的成果主要以科学概念的形式呈现, 包含诸多零散的生物学事实和概念, 使其成为一个以概念系统为主要特征的学科。我国的教育工作者虽关注科学思维的培养, 但尚未聚焦利用概念教学培养师范生科学思维能力的研究。因此, 本文拟以细胞生物学教学改革作为突破口, 探索依托概念教学培养师范生科学思维能力的实践途径, 以期实现基于概念教学的知识传授和科学思维培养的双重使命。

1 利用概念教学培养师范生科学思维的必要性

《普通高中生物学课程标准(2017年版, 2020年修订)》确定以核心素养为课程宗旨, 将科学思维列为生物学学科四大核心素养之一, 指出科学思维是指尊重事实和证据、崇尚严谨务实的求知态度, 并运用科学的思维方法认识事物和解决实际问题的思维习惯与能力^[3]。随后, 《义务教育生物学课程标准(2022年版)》也将科学思维纳入初中生物学课程的核心素养^[4]。由此可见, 发展中学生科学思维的能力和品质是中学生物学教学的重要任务。生物科

学专业的师范生是中学生物学教师的预备军, 其科学思维水平将影响中学生物学学科核心素养的落实, 因此生物科学师范生科学思维能力的培养至关重要。概念教学是教师通过一系列的教学活动, 帮助学生理解、掌握和运用核心概念的过程, 其不仅关注学生对概念本身的理解, 还强调学生如何形成概念以及运用概念进行推理、分析和解决问题。在细胞生物学课程中, 学生通过运用观察、推理、归纳、比较等科学思维方法, 从具体现象中提炼出概念的本质特征, 促进概念的形成, 科学思维方法是科学思维的表现形式^[5]; 概念教学为学生提供了必要的学科知识和思维工具, 使他们能够更有效地进行科学思维活动; 通过科学思维的培养, 学生能够更加深入地理解和运用核心概念。因此, 概念教学的实施可有效发展学生科学思维, 概念教学与科学思维之间存在着紧密的内在联系和相互促进的关系。目前概念教学普遍存在重结果轻过程、重知识轻能力的现象, 形成了讲概念、背概念、考概念的教学模式^[6]。这样的概念教学使得学生虽能获取细胞生物学核心概念, 但缺乏独立思考和深入探索的机会, 忽略了学生主动建构概念的过程, 妨碍了学生科学思维能力的发展。对此, 高等教育学校应通过改善概念教学策略对生物科学专业师范生进行科学思维能力的培养。

2 探讨概念教学中培养科学思维的途径

2.1 概念建构中体现的科学思维

作为生物师范生的核心基础课程, 细胞生物学包含众多规律、原理、定律, 这些重要概念的建构离不开多种科学思维方法的应用。同时, 概念学习是一个转变过程, 是学习者在原有概念基础上的改变、发展和重建过程, 接纳新概念或形成新概念。本文举例说明《细胞生物学》(第五版)^[7]中概念建构时所体现的科学思维方法(表1), 启发教师在教学实践过程中不仅关注概念的形成, 还注重概念建构中科学思维的培养。

表1 细胞生物学概念建构中体现的科学思维

Table 1 Scientific thinking embodied in the construction of concepts in cell biology

概念 Concepts	构建过程 Construction process	科学思维 Scientific thinking
物质运输、细胞器结构与功能、蛋白质合成及修饰	归纳物质运输方式、膜转运蛋白需求、能量及转运物质等要点,形成概念图;梳理线粒体、内质网、高尔基体等细胞器的结构与功能对应关系;蛋白质作为重要的生命大分子,从合成、修饰到分选过程复杂,涉及多个章节内容,概括蛋白质合成方式、涉及因子、修饰类型及分选途径	归纳与概括
病毒与细胞在起源与演化中的关系、“RNA世界”假说	细胞是生命活动的基本单位,病毒的生命活动只能在细胞内实现,由此推理病毒起源于细胞;双链稳定的DNA为遗传信息载体,多样的蛋白质具催化功能,单链RNA具遗传信息和催化双功能,由此推理在生命起源之初,最早出现生物大分子为RNA	演绎与推理
生物膜结构、ATP合酶结构、染色质组装、细胞周期	制作流动镶嵌模型及脂筏模型,理解生物膜结构与功能;绘图或制作ATP合酶动画,构建其工作模型;染色质组装中的多级螺旋及骨架-放射环模型,从DNA到蛋白质经过多级组装;构建细胞周期模型,展示细胞周期各阶段的调控机制	模型与建模
氧化磷酸化、光合作用、干细胞、细胞自噬	引导学生思考临床上使用ATP片剂辅助治疗心脑血管疾病的科学性;组织学生思考光合作用在地球生命演化中的作用;提出问题体外受精遗留下来的胚胎是否可以用作生物医学研究干细胞来源,深化学生对干细胞的认识;探讨细胞自噬在细胞生存和死亡中的双重作用,评估其在疾病治疗中的潜力	批判性思维
脂质体、信号转导	脂质体作为药物的运载体,若在其表面添加某种特异性抗体可将药物送至特定的靶细胞发挥作用;探讨霍乱毒素和百日咳毒素如何改变GPCR信号通路引起疾病	创造性思维
蛋白质分选、细胞骨架、细胞凋亡	归纳信号肽序列特征,演绎囊泡运输路径,构建COPII组装数学模型,设计内质网逃逸蛋白回收系统;归纳微丝、微管及中间丝组成成分、结构特征及生理功能,演绎踏车现象机制,建模动态不稳定性曲线,批判评估抗癌药物靶向性差异;归纳细胞凋亡的特征与途径,比较不同凋亡机制的差异,推理细胞凋亡对维持生物体内部环境稳定的重要性	多种科学思维方法融合

2.2 教学策略

课堂是学生科学思维养成的重要场所。在我校教学规划中,细胞生物学课程(共51课时)设置于大二下学期,学生在完成植物学、动物学与生物化学等先修课程基础上,已具备系统的生物学知识框架。教师采用恰当的策略将科学思维方法融入概念教学,引导学生从最初对概念产生的感性认识,到开展基于科学思维方法的各种思维活动加工概念,再到实践中应用概念解决现实问题,最后实现观念的更新。同时学生在对概念内涵和外延形成深度认知的同时,又实现了运用科学思维方法能力的训练,提升了科学思维品质。

2.2.1 利用概念图培养归纳与概括能力

归纳与概括作为科学思维的基础,是师范生应掌握的最基本科学思维方法之一。细胞生物学概念是学生对该学科核心问题的本质认识或看法,厘清概念间的关系是学生理解和掌握知识的基础。概念图作为一种组织和表征知识的工具,能够有效拓展和延伸概念,清晰地反映事物之间的因果关系。例如,在“物质运输”内容中,涉及多个复杂且重要的概念,学生极易混淆。通过确定核心概念、建立概念层次、绘制概

念关系及添加具体实例,逐步构建和完善概念图,学生依据概念间的逻辑关系对知识进行再处理,并把握其中的内在联系,把零散的知识串联起来,构建系统的知识体系(图1)。这不仅有助于直观展示物质运输方式(被动运输、主动运输、胞吞与胞吐作用)、转运物质、是否涉及膜转运蛋白、是否需要能量等之间的关系,还能加深对这些概念的理解。因此,构建概念图不仅有助于学生整合和归纳知识,也是培养学生掌握归纳与概括能力的重要途径。

2.2.2 利用科学史培养演绎与推理能力

科学史作为演绎与推理的实践范本,通过还原科学家建构概念的真实过程,让学生了解科学家进行科学探究的过程和使用的方法,揭示概念形成的逻辑框架,使学生在追踪科学发现轨迹中自然掌握严密思维的范式^[8]。以信号转导相关知识——细胞感知和适应氧气变化机制(2019年诺贝尔生理学或医学奖)为例。(1)现象溯源与问题提出:教师通过呈现科学史背景,高原地区人体促红细胞生成素(erythropoietin, EPO)水平升高、SEMENZA团队^[9]发现低氧诱导因子-1(hypoxia inducible factor-1, HIF-1)氧依赖性表达,还原真实研究场景,引导学生观察现象并提出核

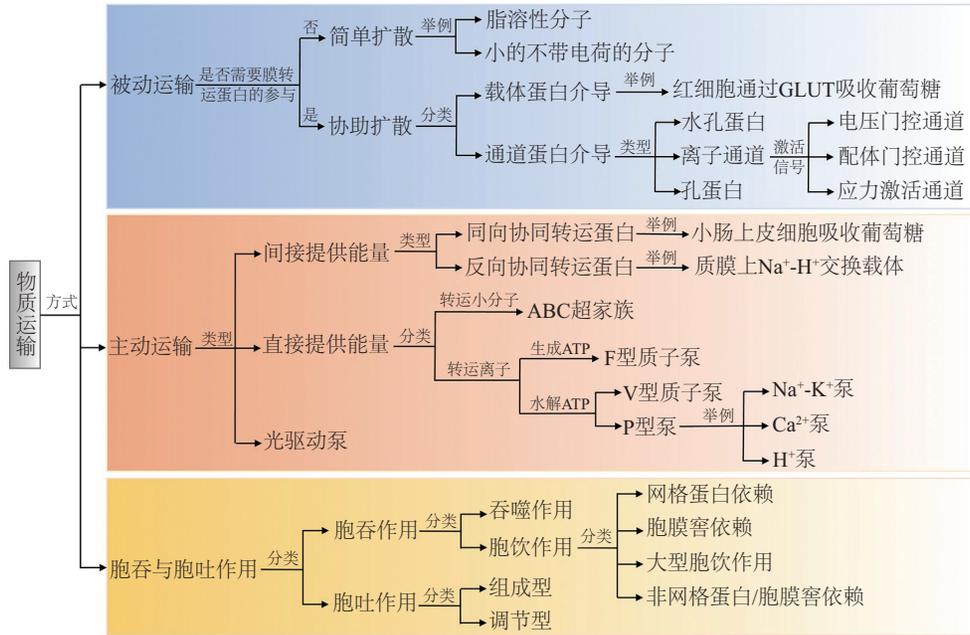


图1 物质运输概念图

Fig.1 The concept map of material transport

心问题 HIF-1 α 如何调控细胞对低氧环境的应答, 建立现象与科学问题的直接联系。(2) 假说演绎与概念关联: 激活学生已有概念泛素-蛋白酶体途径及基因表达调控, 提出解释性假说富氧环境下 HIF-1 α 被泛素化降解导致靶基因沉默及低氧环境下 HIF-1 α 稳定并与 HIF-1 β 结合激活基因表达, 并强调假说需包含可验证的因果逻辑链; 在此过程中, 教师通过提问泛素化修饰如何影响蛋白质稳定性强化概念关联, 明确信号转导及蛋白质动态调控的生物学意义。(3) 证据评估与概念修正: 教师引入 RATCLIFFE 团队^[10]与 KAELIN 团队^[11]的实证研究, 常氧下 HIF-1 α 的 Pro564 羟基化介导泛素化降解, 学生据此整合新证据, 修正原有假说, 生成核心概念, 氧浓度通过调控 HIF-1 α 羟基化与泛素化决定其稳定性及低氧响应基因表达, 同时理解科学研究的迭代性。(4) 概念应用与迁移: 教师梳理氧信号转导机制的关键要素氧感知、泛素化修饰及基因调控, 指导学生将概念迁移至临床分析如 EPO 药物治疗贫血的原理及其他氧依赖性通路如肿瘤微环境中缺氧诱导 VEGF 表达的推理, 实现概念的深化与应用拓展。

2.2.3 利用建模教学培养模型与建模能力 通过模型构建与应用, 建模教学紧密围绕概念教学, 助力学生直观理解生物学抽象概念, 培养模型与建模能力。在细胞生物学教学中, 针对不同模型采用多样

化教学策略。对于流动镶嵌和脂筏这类物理模型, 教学直观且实践性强。课前, 教师通过雨课堂等平台推送教学 PPT 及动画, 展示模型结构特点与动态过程, 让学生初步了解并自主构建模型。课堂上, 抽取小组展示并讲解模型, 其他小组提问评价。随后, 教师总结强调模型体现的生物膜结构特点与功能联系, 如流动性、物质运输、信息传递等, 深化学生对细胞膜结构与功能相适应核心概念的理解。鉴于动作电位产生和膜电位变化数学模型的复杂性, 教学活动以教师引导与学生自主探索相结合。课堂上, 教师通过 PPT 或动画展示静息和动作电位产生过程, 引导学生思考离子跨膜移动与膜电位变化关系, 随后基于 Hodgkin-Huxley 方程简化模型, 用 Excel 或 Origin 绘制膜电位随时间变化曲线。课后, 学生自行设定参数构建并运行模型, 观察不同条件下的动作电位变化, 讨论参数对膜电位的影响, 并深入探究静息和动作电位产生机制, 精准把握膜电位是细胞兴奋性的基础, 其产生和变化由离子跨膜运输决定的关键概念。总之, 通过模型制作前的概念导入、制作过程和制作后的概念深化环节, 建模教学培养学生模型与建模能力, 让学生在动手实践中深化细胞生物学核心概念理解, 提升科学素养与创新能力。

2.2.4 通过概念思辨培养批判性与创造性思维 批判性与创造性思维的培养需以核心概念的深度理

解为前提。在概念教学中,教师应设计基于概念的思辨活动,引导学生从“概念记忆”转向“概念质疑-概念修正-概念创新”,从而提升高阶科学思维。以下是两种具体实施方式。(1) 组织辩论会:教师精心挑选细胞生物学中具争议性的问题,如细胞周期调控、细胞凋亡及肿瘤干细胞等,学生在准备和参与辩论过程中,需要分析和论证各种观点和论据,批判审视他人观点,并努力提出有力反驳。以“肿瘤干细胞”辩论教学为例,教师先梳理“肿瘤干细胞(具自我更新与耐药性的细胞亚群)”、“癌变机制(基因与微环境交互)”、“治疗靶点(特异性清除防复发)”三大核心概念,随后组织学生围绕“靶向肿瘤干细胞是否为核心治疗策略”展开辩论。正方依据“干细胞驱动肿瘤转移”概念,结合移植实验与耐药性证据强调必要性;反方则通过“肿瘤异质性”和“微环境调控”概念,论证单一靶向的局限性。最终学生突破概念边界,提出“联合靶向干细胞与免疫微环境”的创新策略。(2) 布置开放性问题:教师可以布置与细胞生物学紧密相关的开放性问题,要求学生阅读相关文献或书籍,评估信息的可靠性和可信度,并撰写小论文进行深入分析和评价。如在“细胞衰老”问题设计中,教师要求基于“端粒酶调控”概念设计抗衰老方案时,学生需先整合“端粒缩短”、“DNA损伤响应”等机制的知识,继而批判评估致癌风险,最终提出“组织特异性启动子”或“CRISPR可控表达系统”等创新方案。此类教学实践通过概念解构与重组,促使学生理解生物学概念的动态发展特性,同时实现批判性与创造性思维的同步提升。

3 教学效果评价

3.1 建立教学评价体系

教学评价是推动课程教学质量持续改进的基础,是评价课程教学是否有效和教学目标是否达成的关键环节^[12]。为全面评估生物科学专业师范生完成“细胞生物学”课程后科学思维能力的发展状况,我们构建了一套较系统的教学评价体系。具体如下:(1) 评价目标,聚焦学生概念掌握、分析综合、实践应用、创新以及批判性思维的成长,全面深入评估其在该课程中科学思维能力的培养情况;(2) 评价指标,围绕基础概念、问题解决、批判性思维、创造性思维四大维度,构建核心框架,确保评价体系全面且针对性强;(3) 评价主体,包括学生自评、同伴互

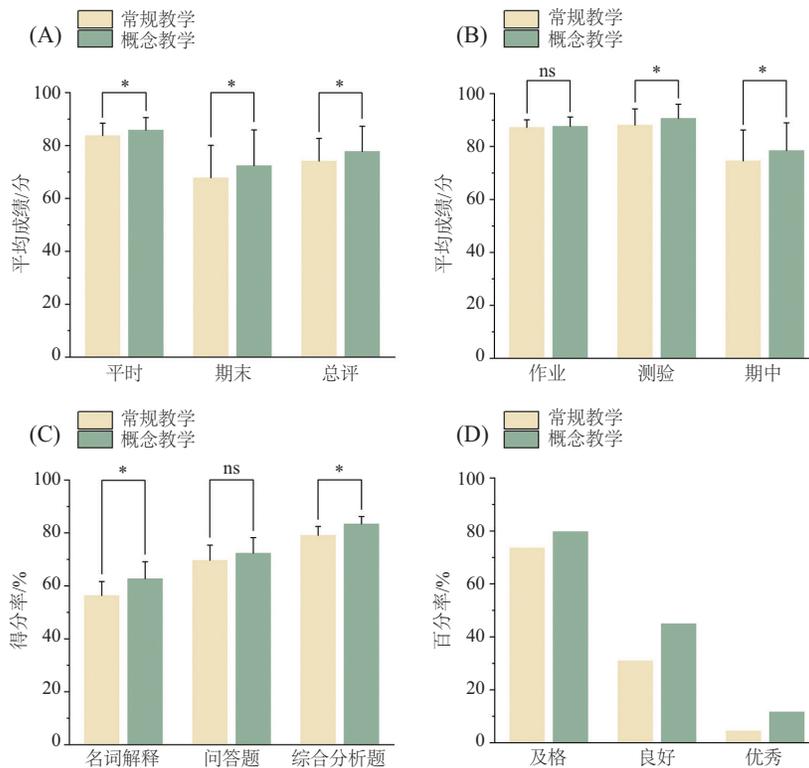
评和教师评价,多元化评价主体保障评价结果全面公平;(4) 评价方式,融合过程性、表现性及终结性评价,全面、准确地评估学生学习情况,为教师的教学和教育决策提供支持。总之,该体系以明确评价目标为导向,设定合理评价指标,采用多元化评价主体和多种评价方式,能够科学系统地评估通过细胞生物学的学习,生物科学专业师范生专业知识掌握与运用及科学思维能力发展水平,同时为教学实践和教育改革提供有价值的反馈和指导。

3.2 教学实施效果分析

2023—2024学年第2学期,针对2021级生物科学专业的学生实施不同教学方法,融合概念教学的细胞生物学课程在1班(69人)实施,2班(68人)仍采用常规教学。对两班细胞生物学平时、期末及总评成绩(平时成绩占40%,期末成绩占60%)进行统计,结果如图2所示,概念教学班级的总评成绩显著高于常规教学班级,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。平时成绩构成包括作业(占40%)、测验(占30%)和期中考试(占30%),在测验和期中考试两个维度上,概念教学班级平均成绩显著高于常规教学班级($P < 0.05$),而作业维度在两班间无显著差异($P > 0.05$)。进一步对期末考试中的名词解释、问答和综合分析三类题型的得分以及考试成绩及格、良好、优秀率进行统计分析,结果表明两班问答题得分无显著差异($P > 0.05$),但概念教学班级的名词解释和综合分析题的得分率显著高于常规教学班级($P < 0.05$),且概念教学班级的及格率、良好率和优秀率均更高。综上所述,实施概念教学对提升学生细胞生物学课程成绩具有较显著效果,并且有助于增强学生对细胞生物学概念的掌握以及运用科学思维方法分析综合问题的能力。

3.3 科学思维问卷调查结果分析

为进一步掌握基于概念教学的细胞生物学课程培养学生科学思维素养的效果,向学生发放《生物科学师范生科学思维能力现状调查问卷》,问卷从学生态度、科学思维方法与科学思维品质三个维度编制,采用李克特量表形式,每个问题有“完全符合、基本符合、不确定、基本不符合、完全不符合”五个评定层次,正向问题分别赋5、4、3、2、1分,反向问题记分相反。学生选择最符合自身实际情况的答案,分值越高,代表科学思维能力越强。对获得的数据进行统计分析(表2),均值等同性 t 检验显示“归



A: 平时、期末及总评平均成绩; B: 作业、测验及期中平均成绩; C: 期末三种题型平均得分率; D: 期末成绩及格、良好、优秀率。* $P < 0.05$; $^{ns}P > 0.05$.
 A: average score of ordinary, final and overall evaluation; B: homework, tests and midterm grade averages; C: the average scoring rate of the three types of questions in the final exam; D: pass, good, and excellent rates for the final exam. * $P < 0.05$; $^{ns}P > 0.05$.

图2 常规教学和概念教学模式下学生细胞生物学成绩分析

Fig.2 Analysis of students' cell biology performance under conventional teaching and conceptual teaching modes

表2 常规教学班级和概念教学班级学生科学思维各维度差异分析

Table 2 Analysis of the difference of each dimension of scientific thinking between students in conventional teaching class and conceptual teaching class

科学思维 Scientific thinking	班级 Class	均值± 标准差 $\bar{x} \pm s$	均值等同性 <i>t</i> 检验 Mean equivalence <i>t</i> -test		科学思维 Scientific thinking	班级 Class	均值± 标准差 $\bar{x} \pm s$	均值等同性 <i>t</i> 检验 Mean equivalence <i>t</i> -test	
			<i>t</i>	<i>Sig.</i>				<i>t</i>	<i>Sig.</i>
方法					品质				
归纳与概括	1班	4.13±0.50	2.826	0.005	深刻性	1班	3.45±0.68	2.293	0.023
	2班	3.86±0.61				2班	3.19±0.64		
演绎与推理	1班	3.85±0.60	2.333	0.021	灵活性	1班	3.42±0.82	2.197	0.030
	2班	3.60±0.63				2班	3.13±0.75		
模型与建模	1班	3.80±0.70	2.971	0.004	敏捷性	1班	3.53±0.67	2.384	0.019
	2班	3.43±0.73				2班	3.24±0.74		
批判性思维	1班	3.46±0.64	0.554	0.581	批判性	1班	3.46±0.64	0.554	0.581
	2班	3.39±0.77				2班	3.39±0.77		
创造性思维	1班	3.36±0.73	0.878	0.381	独创性	1班	3.40±0.70	0.705	0.482
	2班	3.24±0.77				2班	3.31±0.79		
学生态度	1班	3.68±0.68	0.041	0.967	整体	1班	3.58±0.35	2.988	0.003
	2班	3.68±0.65				2班	3.39±0.39		

Sig.: 显著性。

Sig.: significance.

纳与概括”、“演绎与推理”、“模型与建模”、“深刻性”、“灵活性”、“敏捷性”和整体方面下 t 检验结果 $Sig.$ 均小于 0.05, 表明采用不同教学方法进行教学实践后, 概念教学班级与常规教学班级在这些方面均存在显著性差异, 仅“学生态度”、“批判性思维”、“创造性思维”、“批判性”、“独创性”维度未见显著性差异。由此可见, 依托概念教学的细胞生物学课程实现了对生物科学师范生科学思维能力的培养。

4 结语

综上所述, 本文通过实证研究和教学实践表明, 细胞生物学概念教学在高等师范教育中能够有效地融合知识传授与科学思维培养。通过采用概念图、科学史、建模教学和思辨式学习多样化的教学策略, 不仅加深了学生对生物学概念的理解, 提升了其掌握程度, 而且促进了学生归纳与概括、演绎与推理、模型与建模、批判性与创造性科学思维能力的全面发展; 教学评价体系的建立和实施效果分析, 进一步证实了概念教学在提升学生细胞生物学课程成绩和科学思维能力方面的显著效果。由此可见, 在高等师范院校细胞生物学教学中实施概念教学, 不仅能培养具备扎实专业知识和优秀科学思维能力的生物科学师范生, 而且为他们未来在中学生物学教育岗位上有效落实学科核心素养要求奠定坚实基础。

参考文献 (References)

- [1] 习近平在中国政法大学考察时强调: 立德树人德法兼修抓好法治人才培养, 励志勤学刻苦磨炼促进青年成长[N]. 新华社, 2017-05-03(1).
- [2] 中华人民共和国教育部. 高等学校课程思政建设指导纲要[EB/OL]. (2020-05-28) [2025-01-15]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/06/content_5517606.htm.
- [3] 中华人民共和国教育部. 普通高中生物学课程标准(2017年版2020年修订)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [4] 中华人民共和国教育部. 义务教育生物学课程标准(2022年版)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2022.
- [5] 吴成军. 试论科学思维及其在生物学学科中的独特性[J]. 生物学教学(WU C J. A tentative discussion on scientific thinking and its uniqueness in the discipline of biology [J]. Biology Teaching), 2018, 43(11): 7-9.
- [6] 刘军锋, 刘璐, 王永生, 等. 在“细胞生物学”概念教学中强化生命观念教育的探析[J]. 中国细胞生物学学报(LIU J F, LIU L, WANG Y S. Study on strengthening the education of life idea in concept teaching of “Cell Biology” [J]. Chinese Journal of Cell Biology), 2023, 45(9): 1376-81.
- [7] 丁明孝, 王喜忠, 张传茂, 等. 细胞生物学(第5版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020.
- [8] 杨淑萍, 桂磊, 高瑞好. 生物学教学中实施HPS的价值、原则与策略研究[J]. 中学生物教学(YANG S P, GUI L, GAO R H. Research on the value, principles and strategies of implementing HPS in biology teaching [J]. Teaching of Middle School Biology), 2025(6): 17-9.
- [9] WANG G L, JIANG B H, RUE E A, et al. Hypoxia-inducible factor 1 is a basic-helix-loop-helix-PAS heterodimer regulated by cellular O₂ tension [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1995, 92(12): 5510-4.
- [10] IVAN M, KONDO K, YANG H, et al. HIF α targeted for VHL-mediated destruction by proline hydroxylation: implications for O₂ sensing [J]. Science, 2001, 292(5516): 464-8.
- [11] JAAKKOLA P, MOLE D R, TIAN Y M, et al. Targeting of HIF- α to the von Hippel-Lindau ubiquitylation complex by O₂-regulated prolyl hydroxylation [J]. Science, 2001, 292(5516): 468-72.
- [12] 王宝娟, 郭玉冰, 夏行权, 等. 生物科学(师范)专业细胞生物学教学中融入思政元素的探索[J]. 高校生物学教学研究(电子版)(WANG B J, GUO Y B, XIA X Q, et al. Exploration of integrating ideological and political elements into Cell Biology teaching for biology normal students [J]. Biology Teaching in University, Electronic Edition), 2023, 13(2): 34-8.