

指向元认知能力培养的高中生物学ADI 教学设计

——以“DNA的结构”为例

崔凯媛¹, 杨玉睿¹, 孔令奎², 赵美荣^{1*}

¹赤峰学院化学与生命科学学院, 内蒙古 赤峰

²赤峰市教育教研中心, 内蒙古 赤峰

收稿日期: 2025年5月21日; 录用日期: 2025年6月19日; 发布日期: 2025年6月27日

摘 要

培养学生的元认知能力是发展学生终身学习能力的有效途径之一, ADI教学模型能通过文化学习、个人构建和同伴互动等提高学生的元认知能力。本文将ADI教学模型引入高中生物学培养学生元认知能力的教学中, 构建了“情境创设-论证循环-反思总结”的三阶递进式教学模式, 主要包括创设情境、明确目标; 收集证据、初步论证; 开展会议、科学论证; 互助评议、修正主张; 撰写报告、反思总结五个教学环节。以人教版必修二“DNA的结构”为例, 进行了教学案例设计, 采用了多元评价方式, 促进学生元认知能力的提高。

关键词

高中生物, ADI教学模型, 元认知能力

ADI Teaching Design of High School Biology towards Metacognitive Ability Cultivation

—Taking “the Structure of DNA” as an Example

Kaiyuan Cui¹, Yurui Yang¹, Lingui Kong², Meirong Zhao^{1*}

¹Chemistry and Life Sciences College of Chifeng University, Chifeng Inner Mongolia

²Chifeng Education and Research Center, Chifeng Inner Mongolia

Received: May 21st, 2025; accepted: Jun. 19th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 崔凯媛, 杨玉睿, 孔令奎, 赵美荣. 指向元认知能力培养的高中生物学 ADI 教学设计[J]. 教育进展, 2025, 15(6): 960-967. DOI: 10.12677/ae.2025.1561085

Abstract

To cultivate students' metacognitive ability is one of the effective ways to develop students' lifelong learning ability. ADI teaching model can improve students' metacognitive ability through cultural learning, personal construction and peer interaction. This paper introduces the ADI teaching model into the teaching of metacognitive ability of high school biology students, and constructs a three-step progressive teaching model of "situation-argumentation circulation-reflection and summary", which mainly includes setting up situations and clarifying goals; Collecting evidence and preliminary argumentation; Conduct meetings and scientific demonstration; Mutual evaluation and amendment of claims; Writing reports, learning summary five teaching links. Taking compulsory Course Two of the People's Education Edition "The Structure of DNA" as an example, the teaching case design is carried out, and multiple evaluation methods are adopted to promote the improvement of students' metacognitive ability.

Keywords

High School Biology, ADI Teaching Model, Metacognitive Ability

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中共中央、国务院在 2019 年印发的《中国教育现代化 2035》中强调将终身学习作为指导教育改革与发展的统领性理念，并将其定位为国家战略[1]。《普通高中生物学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》明确提出发展学生“生命观念、科学思维、科学探究、社会责任”的四维核心素养目标。元认知作为“关于认知的认知”，是指个体对自身认知过程的觉察、监控和调节能力[2]。元认知水平直接影响学生的学习效率、问题解决能力以及思维发展水平。在高中生物学教学中注重学生元认知能力的培养，是发展学生核心素养、培养学生终身学习能力的有效途径之一。然而传统教学往往忽视对学生认知策略的培养，导致多数学生“机械记忆有余，创新应用不足”。

论证式教学(Argument-Driven Inquiry, ADI)通过“提出问题 - 构建模型 - 科学论证 - 反思修正”等流程促进学生自主学习、科学推理、论证等能力。然而，目前将 ADI 模型和元认知能力培养深度整合的研究还不足，相关的教学设计还不多见。本研究将在理论探究的基础上，进行指向元认知能力培养的高中生物学 ADI 教学设计，突破传统教学设计的线性思维，构建“情境创设 - 论证循环 - 反思总结”的三阶递进式教学模式，为高中生物学教学提供一定的参考。

2. ADI 教学模型下元认知能力的培养与双向互动

(一) ADI 教学模型与元认知能力培养

ADI 教学模型是从图尔明(S.E. Toulmin)论证模型补充、变化而来，经过众多学者的深入研究和不断完善，形成现今广受学术界认可的教学模型。2012 年刘恩山教授将 ADI 教学模型本土化，将其归纳为 8 个步骤：① 提出任务阶段；② 收集数据和资料阶段；③ 建构论证阶段；④ 论证阶段；⑤ 撰写研究报告阶段；⑥ 学生相互评论阶段；⑦ 改进阶段；⑧ 讨论反思阶段，并提出一套详尽的教学实践路径与实

施策略[3]。

弗莱威尔认为元认知是“关于认知的认知”，是个体对自身认知过程及其状态的意识与调控，包含元认知知识、元认知体验和元认知调控三个维度[4]。Schraw 认为“文化学习、个人构建、同伴互动”是影响元认知能力形成的三个因素[5]。许多学者提出了元认知能力培养的模式或策略，如巴尔(Bauer)的概念图策略[6]，周光岑构建了反思模式、监控模式、领悟反省式和问题点拨式教学模型[7]，黄燕的生物学作业设计策略等[8]。

元认知能力培养模式各有不同，但往往都包含“计划、调控、改善、反思和评价”五个方面，这些方面与 ADI 模型的教学环节相适应。ADI 教学模型通过结构化步骤能为学生提供元认知能力发展的实践场景。将元认知维度嵌入科学论证流程的设计，使 ADI 模型不仅是知识建构工具，更成为元认知能力培养的系统性框架。

(二) ADI 教学模型有利于元认知能力的培养

ADI 教学模型，是一种既属于渗透式论证教学策略，又属于探究教学的教学模型，旨在培养学生运用资料进行有效推理与论证能力，培育其科学思维。ADI 教学模型的各个环节与元认知能力的三个维度相适应，通过 ADI 教学有利于元认知能力的培养。

1. ADI 教学模型有利于提高元认知知识

对个体知识来说，ADI 教学模型中的“构建论证”阶段可以通过小组合作和同伴反馈来帮助学生了解自身的特点；“撰写研究报告”环节鼓励学生记录学习日志，通过分析自己的学习过程，从而了解自身的学习偏好，达到了解自己、增强个体知识的目的。对任务知识来说，ADI 教学模型中的“提出任务”阶段可以通过明确学习目标与任务要求，帮助学生理解任务的复杂性及所需技能，提高学生对任务的认知。对策略知识来说，ADI 教学模型中的“数据收集与论证”阶段需要学生选择证据支持假设，帮助学生依据任务需求匹配策略；“相互评论阶段”学生可以在讨论过程中将自己的论证策略与他人的策略进行对比，了解更多策略方法，并灵活运用。

2. ADI 教学模型有利于提高元认知体验

对于认知体验而言，ADI 教学模型中的“收集数据和资料”、“构建论证”阶段通过体验科学发现过程，从而深化对科学探究本质的认知。对于情感体验而言，ADI 教学模型中的“相互评论阶段”、“讨论反思”与“撰写研究报告”阶段通过公开论证激发学生的成就动机，利用小组讨论或反思性写作引导学生表达论证过程中的直观感受，并通过教师反馈强化积极情感、缓解焦虑，平衡情感体验。

3. ADI 教学模型有利于提高元认知监控

对于计划维度而言，ADI 教学模型中的“提出任务”阶段要求学生制定详细的操作流程，教师可以通过提供结构化模板强化学生的计划能力。对于监控维度而言，ADI 教学模型中的“收集数据和资料”阶段要求学生审视资料的准确性以及是否运用合理；“论证阶段”学生通过讨论，审视自己的论证过程，这个过程能强化学生的监控能力；在“讨论反思”及“撰写研究报告”阶段引入自我提问单，帮助学生动态评估学习效果。对于调节维度而言，ADI 教学模型中的“相互评论”阶段可以让学生在讨论的过程中认识到自己的论证过程与他人的差距，从而促使学生调整自己的论证策略；“改进”阶段要求学生根据同伴或老师的反馈修改实验方案，重新选择论证策略并再次论证。对于反思维度而言，ADI 教学模型中的“讨论反思”阶段通过小组辩论和教师反馈，推动学生对整个论证过程的批判性反思；在“撰写研究报告”阶段结合教师提供的研究报告模板对整个学习过程进行梳理并进行系统反思。

(三) 元认知能力与 ADI 的互动关系

学生元认知能力的系统发展也能促进 ADI 教学模式的顺利进行：当学习者了解自身认知特征后，能促进任务拆解与责任分配，提升小组合作的效率；对任务本质的透彻理解则能驱动“提出任务”阶段生

成精准研究问题，提升数据采集靶向性；高阶元认知能力促使学生在“收集数据资料”阶段主动辨析，同时在“论证”阶段发起批判性质询推动深度研讨；策略调适能力确保“改进”阶段灵活应对突发问题，而情感管理机制则转化为面对挑战时的韧性及接纳质疑的开放心态；系统性规划能力缩短探究路径，实时监控能提升结论信效度，反思性实践催生的方法论沉淀更突破模板限制。最终使元认知各子能力贯穿 ADI 全过程，推动学习者从被动接受转向自主知识建构。

3. 指向元认知能力培养的 ADI 教学模型

结合 ADI 教学模型的 8 个教学环节和元认知能力的发展特点，以提高学生元认知能力为目标，以 ADI 教学模型为基础，强调探究性学习、论证驱动和小组合作，构建指向培养学生元认知能力的 ADI 教学模型，形成“情境创设 - 论证循环 - 反思总结”的三阶递进式教学模式，主要包括明确目标、收集证据、科学论证、互助评议、撰写报告五个环节。如图 1 所示。

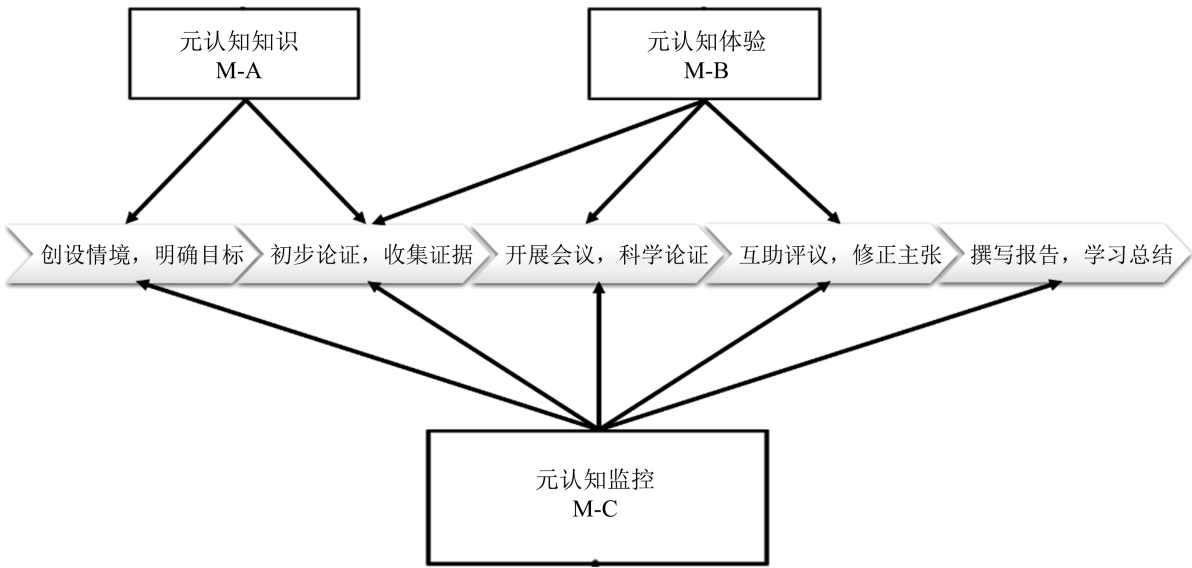


Figure 1. The ADI teaching model for promoting students' metacognitive development
图 1. 促进学生元认知发展的 ADI 教学模型

(一) 创设情境、明确目标

在这个环节，教师需要提供与学生实际生活或与科学技术前沿紧密结合的生物学真实情境，并向学生展示具有挑战性的问题情境。引导学生提炼与本节课内容相关的生物学知识或问题，利用问题链逐步聚焦核心概念，帮助学生明确学习任务和目标，制定学习计划，促使学生明确个体认知水平与任务要求之间的关联，在目标设定中自然渗透对学习策略的元认知觉察。

(二) 收集证据、初步论证

在本环节，教师需提供学习资源，同步渗透信息筛选工具与实验设计方法。学生在依据假设收集证据时，需评估资料可靠性，通过交叉验证与证据分级构建论证框架。教师设置反思节点，引导学生对比假设与证据链的匹配度，识别预设偏差并调整探究策略。这种动态修正过程使学生觉察认知局限，在科学探究中同步发展批判性思维与元认知知识、体验及监控能力。在初步论证阶段，学生可能由于对材料的不熟悉而提出错误观点，教师需要耐心进行讲解，帮助学生进行模型建构。

(三) 开展会议、科学论证

小组讨论和集体论证是这个环节的主要活动,通过角色分配和论证模板规范科学对话,接受其他小组和老师的提问与建议,迫使学生在辩护中暴露认知盲点,从而继续完善自己的论证过程和结果。这种互动不仅能让学生们更深入地理解知识、提升学生的批判性思维和沟通能力,讨论过程产生的思维冲突将直接转化为元认知体验,驱动学生主动对比自身论证与他人逻辑的差异。在辩论过程中学生之间可能因为观点不统一而产生冲突或情绪失控等现象,教师需要安抚学生情绪,培养学生情绪调节与冲突解决的能力。

(四) 互助评议、修正主张

在这个环节中要求每个小组派出代表展示小组的论证成果,其他小组的成员和老师会根据证据和逻辑,给出反馈意见。学生根据这些反馈意见再次审视自己的主张,修正论证过程中的错误并完善自己的论证。这种互动式反思不仅凝聚集体智慧优化论证,通过外部反馈引发内部调整,逐步提升学生自我监控、反思与调节的元认知能力。

(五) 撰写报告、反思总结

撰写研究报告是 ADI 教学模型的最后一步,学生回顾整个探究过程,按照“问题提出-方法选择-证据分析-结论推导”的研究报告模版,整合研究成果,特别强调对探究过程的元认知回溯。报告还专门设置反思模块,促进学生进行自我评估。这个环节不仅能帮学生巩固学到的知识,还能增强自我监控和调节的能力,提升元认知调节与反思能力。在初次撰写报告时,教师需对报告模板进行简单的讲解并对学生进行引导,帮助学生完成报告的撰写。

4. 指向元认知能力培养的 ADI 教学设计方案

以人教版高中生物必修二《遗传与进化》的第三章第二节“DNA 的结构”为例,进行教学设计。本节内容属于大概念“遗传信息控制生物性状,并代代相传”中的次位概念,课标要求学生掌握 DNA 分子的构成、结构及碱基排列的意义,并对生命观念和科学思维应达到的水平进行了明确的阐述。

(一) 教材分析

本节以中关村 DNA 雕塑切入“问题探讨”,激发学生兴趣与探究动机;“本节聚焦”明确学习目标导向;“思考与讨论”通过 DNA 结构发现史的解析支撑学生自主探究;结构模式图实现微观结构的可视化呈现;“探究实践”模型制作活动能深化双螺旋结构认知,培养建模思维与科学探究能力。

(二) 学情分析

授课对象为高一学生,学生已具备“DNA 是长链状的分子,呈螺旋形”、“核酸的组成,包括氢键、碱基、核糖、磷酸”等知识,知道 DNA 是主要的遗传物质,但对于 DNA 的双螺旋结构、碱基互补配对原则等问题尚不清楚。

现阶段学生已具备了一定的信息筛选、整合与系统化处理能力,能建立条理化知识体系,能够运用材料尝试构建基础物理模型,并较为清晰地阐述论证过程。但是抽象思维能力还有待加强。高一学生元认知能力处于快速发展的关键期,虽具备基础目标设定与结果评价能力,但由于缺乏系统训练,元认知水平仍显薄弱。多数学生虽能制定学习计划,却难以精准调控学习节奏,在复杂任务中易陷入低效重复;自我监控机制薄弱,易高估认知水平且难定位知识盲区;策略调适能力不足,面对学习障碍时缺乏有效的应对迁移机制。

(三) 教学目标

生命观念:通过资料分析、小组讨论,列举 DNA 分子的结构特点,形成“结构与功能相适应”的生命观念,认识到生物的统一性和复杂性。在信息处理中渗透关键词提取与冗余信息过滤策略,发展元认知监控能力。

科学思维：通过对真实资料的分析，培养提炼重点、分析图表的能力，从而培养归纳与概括和批判性思维；通过小组合作构建模型，发展建模能力与元认知知识体系；在修正模型的过程中，实现对元认知监控技能的培养。

科学探究：通过观察 DNA 双螺旋结构模型，建立三维空间想象的方法论，培养观察能力、空间想象能力等，实现对元认知知识维度的培养；通过论证过程培养学生的反思、论证能力，强化元认知监控中的策略调控；通过小组合作初步建构模型以及修正模型，培养团队合作能力，实现对元认知体验维度的培养。

社会责任：了解科学家构建模型的研究历程，体会“实验 - 失败 - 实验”循环中体现的科学精神，领悟模型构建在研究中的应用，实现对元认知监控和体验维度的培养。

(四) 教学过程

1. 创设情境，明确目标(3 分钟)

教学活动 1 创设情境：展示资料，2004 年雅典奥运会中激光展示的 DNA 双螺旋结构、中关村的 DNA 双螺旋建筑、2022 年北京冬奥会“五环廊桥”等图片。提出问题：“这些建筑是什么结构？”、“你知道这些结构具有什么意义吗？”

设计意图 1：展示双螺旋结构在生活中的使用，贴近学生生活，激发学生的兴趣，引导学生认知自我，学生是否能正确认识自己的观察力、审美等认知。

教学活动 2 明确目标：提出问题：“DNA 结构是什么样的？它的结构又是如何被发现的呢？”、“这种结构有哪些特点？”，明确本节课学习目标：“DNA 的结构”。

设计意图 2：通过设置问题，明确本节课所要学习的内容，使学生明确本节课的重点，帮助学生理解任务的本质、复杂性及所需技能，从而帮助学生围绕核心问题制定方案或策略。

2. 收集资料，初步论证(12 分钟)

教学活动 3 收集资料，初步论证：提供并展示 DNA 结构研究相关的资料。资料一：DNA 是以四种脱氧核苷酸为单位连接而成的长链。同一条链的脱氧核苷酸之间通过磷酸二酯键进行连接[9]。资料二：DNA 的衍射图谱及翻转 180°后的 DNA 衍射图谱。资料三：沃森、克里克结合当时的资料，尝试搭建各种模型，在无数次的失败以及科学家们的帮助下排除了 DNA 单螺旋和三螺旋结构，认为 DNA 最可能呈双螺旋结构[9]。资料四：DNA 位于液体环境中，磷酸与脱氧核糖亲水，碱基疏水。资料五：四种碱基的结构式图片，且 DNA 双螺旋直径恒定为 2 nm [10]。资料六：展示内容为人、小麦、禽类结核杆菌、母鸡、鲑鱼的 DNA 中嘌呤与嘧啶的比为 1:1 的表格，且 A:T=G:C=1:1 [11]。提出问题：“通过这些信息，我们能够知道 DNA 结构具有哪些特点？这些信息为我们构建 DNA 结构提供哪些帮助？”“你能构建出多少种可能的双链模型？”组织小组讨论，进行初步论证。

设计意图 3：通过资料，资料显示 DNA 结构研究历程中的成就或观点，根据资料引导学生逐步整合信息，认识 DNA 结构的研究历程；引导学生推导 DNA 链外侧排列方式、构建正确配对方式、推理 DNA 立体结构，培养科学思维。在这个过程中学生需要不断审视自己的理解，从而培养元认知中的监控和调节。

3. 开展会议，科学论证(13 分钟)

教学活动 4 开展会议：提出讨论主题“DNA 双螺旋结构是什么样的？”，组织小组讨论，提出问题并进行辩论，利用卡纸模型，以小组为单位讨论、制作 DNA 的双螺旋结构。

设计意图 4：制作 DNA 模型，需要学生主动整合之前的知识，如脱氧核苷酸的结构、磷酸二酯键的连接方式，以及双螺旋的特点。在这个过程中，学生需要不断审视自己的理解，从而提高元认知监控中的反思能力。学生在优化模型建构的过程中不断评估自己的思维，识别错误并修正，从而提高学生元认

知监控中的监控和调节能力。通过小组合作,鼓励学生积极表达自我、耐心倾听他人,通过他人反馈来调整自己的认知策略,进一步反思自己的思路是否正确,培养批判性思维和社会性元认知能力。

4. 互助评议,修正主张(10分钟)

教学活动 5 互助评议:小组派代表将本小组的模型展示在黑板上,并讲述本小组的构建思路,其他小组进行评价,教师进行点评。

设计意图 5:在学生和教师的评价过程中,学生根据这些反馈意见修正完善自己的论证。在这个过程中学生不断审视自己的假设并进行修正,从而强化元认知监控中的反思与调节技能,培养学生的批判性思维。

教学活动 6 修正主张:老师展示 DNA 的双螺旋结构球棍模型,并指出,这一模型是沃森、克里克经历了无数次的失败后才构建成功的,并且借鉴了许多科学家的成果和方法,最后构建出的模型与基于衍射照片推算出的 DNA 模型相符。引导学生认识 DNA 双螺旋模型,修正自己的模型。最后,总结 DNA 的结构特点。

设计意图 6:通过与真实模型进行对比,能够促进学生反思自己的思考过程,检查自己的论证、建模过程是否有错误或遗漏,这将培养学生元认知监控中的反思与监控技能。教师讲述沃森和克里克的多次失败,能使学生认识到科学探索需要不断修正,有助于学生形成批判性思维,从而实现对元认知的监控和体验维度的培养。

5. 撰写报告,反思总结(7分钟)

教学活动 7 课堂总结:提出问题:“DNA 双螺旋结构的研究过程,对你有什么启发?在这一过程中都用到了哪些学科的知识?”引导学生总结反思:科学发现不仅需要跨学科的渊博知识、科学严谨的论证过程,还需要科学家们的默契配合、善于利用他人的研究成果以及背后无数的努力。

设计意图 7:学生回忆论证过程中用到的跨学科知识,让学生认识到知识是一个整体,帮助学生灵活运用所学知识,形成自己的知识体系。强调善于合作和利用他人成果,还能培养学生在团队中监控和调整合作策略的能力。

教学活动 8 布置任务:要求学生根据课堂中 DNA 结构模型的构建论证过程,撰写报告。

设计意图 8:让学生回顾整个模型建构的过程记录论文要点,不仅能促进学生反思自己的学习策略,对学生的元认知知识和监控进行培养,还能培养学生的书面表达能力。

(五) 教学评价

本节课采用多元化评价方式,将过程性评价与结果性评价相结合,注重学生在科学探究中的元认知发展与合作能力。教师通过课堂巡视记录学生在模型构建中的参与度、问题解决策略及元认知表现。依据小组模型成果的合理性、论文要点撰写的逻辑性进行等级评分。组间围绕模型修正的讨论质量作为论证能力的评价依据。通过总结环节的学科整合回答,评估知识迁移能力。最终通过多维反馈促进学生元认知监控与科学探究素养的协同发展。

(六) 教学反思

本节课以科学史为脉络,通过资料分析、模型迭代修正、跨学科知识整合及模拟论文撰写,构建了沉浸式探究场景。活动设计注重元认知能力培养,强化批判性思维与合作意识,并深度渗透学科核心素养。学生通过自主探究与修正,理解 DNA 结构发现的科学逻辑,初步掌握跨学科解决问题的路径,提升元认知调控能力。

本节课的不足之处还需要后期加以改进。学生讨论交流的时间不容易掌控,在后续的教学活动中可以抓住重难点,在课堂上有针对性的进行讲解,给学生提供更多的交流机会,也可以设置时间、任务提醒,将任务明确分配给学生,提醒学生在有限的时间内完成讨论任务。除此之外,研究报告的撰写也可

能会给学生的课后任务带去负担,可以在后续的教学活动中将个人的研究报告改为小组总结,并为学生提供报告模版以降低写作难度从而减少作业量。

5. 小结

随着知识经济时代的深入发展和全球化浪潮的加速演进,构建全民终身学习型社会已成为国家教育现代化战略的重要支点。元认知能力的提高能有效地提升学生的终身学习能力。ADI 教学模式自引入以来已经经过多年的发展,是一种适用于本土学生的教学模式。本文根据元认知的结构将其与 ADI 教学模式相结合,设计了以 ADI 教学模式为基础以提升学生元认知能力为目标的“情境创设-论证循环-反思总结”的三阶递进式教学模式。以“DNA 结构”为例,设计了教学案例,为培养学生元认知能力提供了参考。

基于 ADI 的“情境创设-论证循环-反思总结”的三阶递进式教学模式,为新时代发展学生终身学习能力,提高元认知能力提供切实可行的教学方法,这既是对探究论证式教学进行的拓展创新,也为一线教师如何培养学生元认知能力提供思路。

基金项目

内蒙古自治区教育科学研究“十四五”规划课题(2024NGHGZ193);赤峰学院研究生教育教学改革项目暨研究生课程建设项目(CFXYYKC2260);赤峰学院重点实验室项目(CFXYZD202001);赤峰学院一流学科建设项目(CFXYYLXKB202102)。

参考文献

- [1] 陈丽, 谢浩, 郑勤华. 我国教育现代化视域下终身学习的内涵与价值体系[J]. 现代远程教育研究, 2022(4): 311.
- [2] 汪玲, 郭德俊. 元认知的本质与要素[J]. 心理学报, 2000(4): 458-463.
- [3] 何嘉媛, 刘恩山. 论证探究式教学模型的设计和运用[J]. 生物学通报, 2013, 48(10): 25-29.
- [4] Flavell, J.H. (1979) Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive-Developmental Inquiry. *American Psychologist*, **34**, 906-911. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.34.10.906>
- [5] Schraw, G. and Moshman, D. (1995) Metacognitive Theories. *Educational Psychology Review*, **7**, 351-371. <https://doi.org/10.1007/bf02212307>
- [6] Bauer, L.B. (2014) Concept Mapping: Developing Metacognitive Awareness in a Postsecondary Reading and Writing Classroom. *Journal of College Literacy & Learning*, **40**, 35-44.
- [7] 成都市第十二中学《高考能力考查与中学学科教学关系研究》课题组, 周光岑, 陈明英. 元认知能力培养教学模式的研究与实践[J]. 四川教育学院学报, 2000(12): 1-3.
- [8] 黄燕, 李伟华. 基于培养高中生元认知的生物学作业设计策略[J]. 生物学通报, 2024, 59(6): 79-82.
- [9] 袁维新. DNA 双螺旋模型的建立过程[J]. 生物学通报, 1993(10): 42-43.
- [10] 王璐阳, 吕秀华. 基于科学史及模型构建的“DNA 分子的结构”教学设计[J]. 生物学教学, 2021, 46(8): 28-30.
- [11] Chargaff, E., Vischer, E., Doniger, R., Green, C. and Misani, F. (1949) The Composition of the Desoxypentose Nucleic Acids of Thymus and Spleen. *Journal of Biological Chemistry*, **177**, 405-416. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)57098-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)57098-8)