

基于PCRR论证模型的批判性思维的培养

——以“DNA的结构”为例

董 瑾

扬州大学生物科学与技术学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2026年5月15日; 录用日期: 2026年6月18日; 发布日期: 2026年6月25日

摘 要

批判性思维是科学思维的核心, 论证教学是发展该能力的重要途径。本文以“DNA的结构”一节教学为例, 探索如何运用PCRR论证模型开展论证教学以培养学生的批判性思维。教学设计基于PCRR模型的四个环节, 引导学生针对DNA的结构特征进行科学论证, 为高中生物学教学中批判性思维的培养提供实践参考。

关键词

PCRR论证模型, 批判性思维, 论证教学

Fostering Critical Thinking Based on the PCRR Argumentation Model

—A Case Study of “The Structure of DNA”

Jin Dong

College of Bioscience and Biotechnology, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: May 15, 2026; accepted: June 18, 2026; published: June 25, 2026

Abstract

Critical thinking lies at the heart of scientific thinking, and argumentation instruction is a key means of developing this ability. Taking the teaching of the section “The Structure of DNA” as an example, this paper explores how the PCRR argumentation model can be used to conduct argumentation teaching in order to cultivate students’ critical thinking. The lesson design is based on the four stages of the PCRR model, guiding students to construct scientific arguments regarding the structural characteristics of

DNA, thereby providing a practical reference for the cultivation of critical thinking in high school biology education.

Keywords

PCRR Argumentation Model, Critical Thinking, Argumentation Teaching

Copyright © 2026 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

《普通高中生物学课程标准（2017年版2025年修订）》将“科学思维”列为核心素养之一，要求学生能够“基于证据和逻辑，运用科学思维方法以及批判性创造性思维探讨阐释生命现象及规律”[1]。批判性思维需要在结构化的科学论证实践中得以发展，然而当前教学实践中，学生虽具备知识基础，却普遍缺乏系统经历“提出主张、评估证据、逻辑推理、回应反驳”的全过程的机会，其批判性思维发展受限[2]。论证教学成为联通素养目标与课堂实践的关键桥梁，其中 PCRR (Present, Critique, Reflect, Refine)模型因其结构清晰、循环递进，为开展科学论证提供了操作性强的框架[3]。

2. 批判性思维的内涵

批判性思维作为现代教育的核心目标之一，其理论源流深远。美国哲学家恩尼斯将其定义为“为决定相信什么或做什么而进行的合理的、反省的思考”，揭示了批判性思维的目的性与反思性。《德尔菲报告》确立其双维结构，明确指出完整的批判性思维包含认知技能(如分析、评估、推理)与思维倾向(如好奇心、思想开放)两个相辅相成的维度。将这一经典理论置于我国高中生物学教学的具体语境中，生物学教学中的批判性思维，其本质是学生在探究生命现象时，主动运用分析、评估等认知技能，以审慎、求真的态度，对“实验资料”、“科学史资料”等多元证据进行逻辑严密的审视、推理与建构，从而形成或修正科学解释的思维过程与实践能力。近年研究指出，论证式教学是发展科学思维的有效路径，而结构化的论证模型如 PCRR，因其“批判”与“反思”环节与上述思维能力高度契合，为系统训练学生的证据分析、逻辑推理与自我反思能力提供了清晰的操作框架，成为连接批判性思维目标与课堂实践的关键桥梁[4]。

PCRR 论证模型概述

PCRR 论证模型由美国学者 Kujawski 于 2015 年基于《新一代科学教育标准》提出，将科学论证过程分解为“呈现”“批判”“反思”“精炼”四个螺旋上升的环节[5]。作为一种渗透式教学模型，PCRR 结构清晰、形式灵活，不依赖复杂实验条件，能够融入常规课时教学，为学生“像科学家一样思考”提供有效脚手架[6]。该模型的核心环节——“批判”与“反思”，直接对应批判性思维中“分析”、“评估”与“元认知”等关键认知技能。研究证实，在科学课堂中系统应用此类结构化论证模型，能有效促进学生基于证据的推理、辩证性质疑与自我调节的学习能力[7]。国内生物学教学中已开始探索 PCRR 模型的实践路径，例如秦艺鸣等以“细胞膜结构的探索”为例，展示了如何运用该模型引导学生经历呈现、批判、反思与精炼的完整论证过程，为高中生物学课堂培养科学思维提供了可参照的案例[8]。图 1 为 PCRR

论证模型的4个阶段，本研究结合人教版高中生物学教材必修二第3章第2节“DNA的结构”为例来介绍该模型各个阶段。

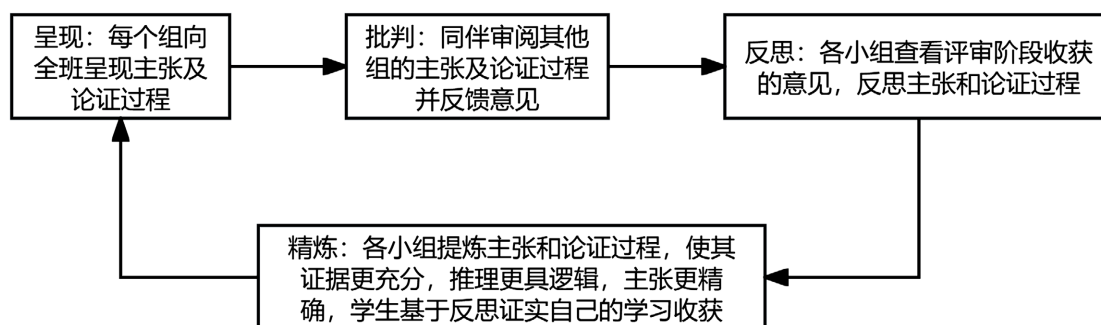


Figure 1. PCRR argumentation model

图 1. PCRR 论证模型图

3. 指向批判性思维培养的 PCRR 模型运用

在高中生物学教学中，以 PCRR 论证模型为依据，借助由图尔敏论证模型设计的论证记录表来记录学生物理模型的构建过程，使他们科学论证的思维清晰可视化[9]，引导其针对“DNA 如何形成其稳定且能承载遗传信息的双螺旋结构”这一核心议题，围绕三个递进的核心问题进行论证。

3.1. 创设问题情境，激发探究意识

教学伊始，教师以 DNA 双螺旋形态的直观认知(如《生命》雕塑)为切入点，提出问题：“DNA 为何呈现如此精巧的双螺旋结构？其‘形’背后隐藏着怎样的建构逻辑？”由此引发学生思考：科学家当年是如何一步步探究得出这一结构的？引导学生沿着科学史脉络开启 DNA 双螺旋结构的探究之旅。

3.2. 呈现科学证据，运用新的证据

在生物科学发展的历程中，许多关键节点都是以实验为证据，基于真实实验形成新的认识，接着在认识的驱动下再去获取新证据来修正认识，如此循环推动科学进步。因此教学中教师应充分利用多种教学资源，让学生体验真实的科学研究过程，尝试像科学家一样科学获取、评价、表达、运用证据去解决生物学问题，深化学生批判性思维。

3.2.1. 第一循环：螺旋构型的提出与局限反思

呈现(P)阶段：教师呈现 DNA 的 X 射线衍射图谱及弹簧的模拟衍射图，学生通过观察与比较，运用类比推理提出初步主张：“DNA 可能是一种螺旋结构。”学生在此阶段填写论证记录表(表 1)，初步呈现主张、证据与推理过程。

批判(C)阶段：教师引导学生以“同行评审”视角对主张进行批判。各小组交换论证记录表进行审议，对其他组的主张、证据和论证过程进行质疑，关键问题包括：“衍射图谱能否唯一确定螺旋构型？”“能否确定螺旋的股数或方向？”学生通过讨论意识到当前证据支持力度有限，结论存在多解性。此环节培养学生评估证据的能力，既看到证据“支持什么”，也明晰证据“不能支持什么”。

反思(R)与精炼(Ref)阶段：学生在批判基础上进行集体反思，认识到必须超越形态推测，深入到物质的化学组成与连接方式。教师顺势引导学生将问题聚焦为：“该螺旋结构由几条链构成？链间通过何种方式连接？”教师引导学生用不同颜色的笔修改论证记录表，比较前后差异，梳理逻辑推理过程。

Table 1. Argumentation record sheet for DNA spatial configuration
表 1. DNA 空间构型论证记录表

记录项目	记录内容
问题	DNA 具有怎样的空间构型?
主张	DNA 分子是一种螺旋结构。
证据	1) DNA 的 X 射线衍射图谱(“X”形特征)。 2) 弹簧模拟衍射图相似。
推理	类比已知螺旋结构(如弹簧)的衍射图, 推测 DNA 为螺旋构型。
条件限制	仅基于形态类比, 无法确定螺旋股数(单/双/三链)及手性(左/右旋)。
待探究问题	螺旋由几条链构成? 链间如何连接?

3.2.2. 第二循环：碱基互补配对原则的发现

呈现(P)阶段：教师引导学生从 DNA 的化学组成与水环境背景出发，提出双链排列(同向平行 vs 反向平行)和碱基配对(多种嘌呤 - 嘧啶组合)的初步假说。学生在此阶段填写论证记录表(表 2)，呈现多元主张及初步推理。

批判(C)阶段：各小组交换论证记录表进行审议，对主张、证据和论证过程进行反馈。教师分阶段引入关键证据驱动学生进行批判：首先利用电镜测得的恒定直径(约 2nm)与结构旋转 180° 不变的对称性证据，学生通过几何逻辑推理发现“同向平行”模型无法满足中心对称要求，将其证伪，确立“反向平行”的必然性；继而引入查伽夫法则(A = T, G = C)这一精确定量证据，学生筛除随机配对假说，指出 A-T 与 C-G 的特异性配对原则。

反思(R)与精炼(Ref)阶段：学生通过对证据的批判性审视，逐步修正观点，构建出平面、反向平行、碱基互补配对的双链 DNA 模型。教师引导学生思考：这一平面结构如何进一步折叠为立体构象？螺旋方向是左旋还是右旋？从而自然引出第三循环的核心问题。

Table 2. Argumentation record sheet for DNA double-strand linkage mode
表 2. DNA 双链连接方式论证记录表

记录项目	记录内容
问题	DNA 双链如何排列？碱基如何配对？
主张	两条反向平行的多核苷酸链，碱基按 A-T、C-G 互补配对。
证据	化学组成与方向性；直径恒定约 2 nm；结构中心对称；查伽夫法则(A = T, G = C)。
推理	为满足直径恒定与中心对称，双链必须反向平行；查伽夫法则排除随机配对，确定 A-T、C-G。
待探究的问题	平面双链如何形成立体构象？螺旋方向左旋还是右旋？
精炼后物理模型	平面、反向平行、碱基互补配对的双链 DNA 模型。

3.2.3. 第三循环：右手螺旋的最终确立

呈现(P)阶段：学生将第二循环确立的平面双链模型尝试扭转为立体螺旋，自然产生左旋与右旋的实践分歧，将问题从“如何连接”提升至“空间构象如何”。

批判(C)阶段：教师提供拓展资料，一是功能适配证据——DNA 聚合酶、RNA 聚合酶等分子机器的

活性中心专一性识别右手螺旋 DNA 的沟槽结构；二是进化逻辑证据——若左手螺旋同样普遍存在，细胞需进化出两套不同的遗传信息处理系统，这与生命系统的简约性原则相悖。学生结合上述证据展开讨论，发现右手螺旋并非偶然，而是与细胞内功能执行系统协同进化的结果。

反思(R)与精炼(Ref)阶段：学生综合前两轮循环的结论，将平面双链模型与右手螺旋构象整合，最终精炼出完整的 DNA 右手双螺旋结构模型(表 3)，并理解其作为遗传信息载体的合理性。

Table 3. Argumentation record sheet for the three-dimensional conformation of DNA double helix

表 3. DNA 双螺旋立体构象论证记录表

记录项目	记录内容
问题	DNA 双螺旋是左旋还是右旋？
主张	DNA 主要以 B 型右手双螺旋形式存在。
证据	沃森-克里克模型及高分辨率结构证实为右手螺旋；聚合酶等分子机器特异适配右手螺旋沟槽；左右螺旋共存需两套酶系统，违背简约原则。
推理	平面双链自然卷曲为稳定螺旋；右手螺旋是与功能系统协同进化的结果，左旋与生命系统不兼容。
条件/限制	适用于自然生理条件下主要形式(B-DNA)，极端条件可能存在其他构象。
精炼后物理模型	两条反向平行链，碱基互补配对(A = T, G = C)，右手螺旋，磷酸 - 脱氧核糖骨架在外侧，碱基在内侧。

3.3. 教学效果评价与反思

为评估学生在 PCRR 论证过程中的批判性思维表现，本研究设计了过程性评价工具。除论证记录表外，采用如表 4 所示的评价量表，从论证的核心要素出发对学生思维水平进行分层评价。论证过程可由学生自评、互评，最后由教师评分，以此促进学生反思论证过程，提升论证能力。

Table 4. Evaluation rubric for student argumentation quality

表 4. 学生论证质量评价量表

评价维度	水平 1 (初步形成)	水平 2 (逐步发展)	水平 3 (良好具备)	评价方式
主张的明确性与发展性	模糊、片面或静止 (如：仅提出“DNA 是螺旋的”，未区分单/双链；对应：分析)	明确，能随证据调整(如：能根据衍射图局限性修正为“螺旋但股数不定”；对应：分析、推理)	清晰、精准，能界定条件 (如：提出“反向平行双链右手螺旋，生理条件下稳定”；对应：分析、推理)	过程性观察记录表对比
证据的获取、选择与评估	能列举证据，但缺乏甄别 (如：列出查伽夫法则但未说明如何支持配对；对应：评估)	能有选择地使用相关证据，能说明其用途(如：用恒定直径证伪同向平行；对应：评估)	能主动选取关键证据，评估其可靠性、充分性与局限(如：综合衍射图、直径、查伽夫法则，指出各证据的局限；对应：评估、分析)	记录表分析课堂提问
推理的逻辑性与批判性	逻辑链单一，难发现漏洞 (如：仅从衍射图直接得出双螺旋，忽略其他可能；对应：推理)	能多步推理，在引导下发现明显问题(如：通过直径恒定推理反向平行，但需提示才质疑左/右旋；对应：推理、评估)	逻辑严密完整，能主动进行有依据的批判与反驳 (如：主动提出“左旋能否与聚合酶适配”并论证；对应：推理、评估)	小组辩论批判环节表现

续表

反思的深度与修正的有效性	外部指出错误后被动修正(如: 教师指出衍射图不能定股数后才修改主张; 对应: 评估)	能根据新证据或反馈, 反思局部不足并修正(如: 引入查伽夫法则后自主排除随机配对; 对应: 评估、推理)	能系统性元认知反思, 主动整合信息, 精炼模型(如: 综合三循环证据, 自主构建完整模型并解释合理性; 对应: 评估、分析、推理)	记录表版本对比 反思环节陈述
论证记录表的完整性	填写不全, 要素缺失, 逻辑混乱(如: 只写主张和证据, 缺少推理和条件限制; 对应: 分析、评估)	较完整, 要素基本具备且有关联(如: 能完成各要素填写, 但推理过程较简略; 对应: 分析、评估)	完整清晰, 真实反映论证动态过程与思维提升(如: 三轮记录表对比清晰呈现“螺旋→双链→右手双螺旋”的主张演变; 对应: 分析、评估、推理)	记录表评价

4. 小结

基于 PCRR 模型的 DNA 结构教学在实践中可能遇到学生在“批判”环节质疑意识薄弱、班级规模影响互评深度等挑战, 需要教师具备设计递进式批判性问题、捕捉典型论证误区等能力。本研究作为教学设计案例, 尚未收集完整实证数据, 未来可采用教学实验结合表 4 的评价量表检验该模型对批判性思维各维度的提升效果, 并探索其在光合作用、进化论等其他复杂概念教学中的迁移性。总体而言, PCRR 模型通过“呈现 - 批判 - 反思 - 精炼”的循环为学生搭建了科学论证的思维框架, 为高中生物学教学中批判性思维的培养提供了可操作的实践路径。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中生物学课程标准(2017年版2025年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2025.
- [2] Fan, H., Guo, S. and Xu, J. (2026) Shifts in Critical Thinking Dispositions: A Cross-Temporal Meta-Analysis of Mainland Chinese Students, 2000-2025. *Personality and Individual Differences*, **255**, Article ID: 113681. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2026.113681>
- [3] 弥乐, 郭玉英. 渗透式导向的两种科学论证教学模式述评[J]. 全球教育展望, 2017, 46(6): 60-69.
- [4] 卯迪, 张锋. 基于 PCRR 论证模式的证据意识的培养——以“DNA 是主要的遗传物质”为例[J]. 生物学教学, 2022, 47(5): 23-25.
- [5] Kujawski, D.J. (2015) Present, Critique, Reflect, and Refine: Supporting Evidence-Based Argumentation through Conceptual Modeling. *Science Scope*, **39**, 29-34. https://doi.org/10.2505/4/ss15_039_04_29
- [6] Governor, D. and Ramirez Villarin, L. (2024) Exploring Socioscientific Issues through Evidence-Based Argumentation with MEL Diagrams. *Science Scope*, **47**, 37-45. <https://doi.org/10.1080/08872376.2023.2290295>
- [7] Yu, S., Li, Y., Yao, C. and Wang, C. (2025) Promoting Primary Students' Critical Thinking via an Optimized SDOA Model: A Cross-Cultural Study in China and Thailand. *Acta Psychologica*, **260**, Article ID: 105635. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105635>
- [8] 秦艺鸣, 吴甘霖, 等. PCRR 论证模型在高中生物学教学中的应用——以“细胞膜结构的探索”为例[J]. 中学生物教学, 2024(17): 4-7.
- [9] 陈仁旭, 王长江, 等. 基于 PCRR 教学模式培育科学论证能力——以高中物理“自由落体运动”教学为例[J]. 物理通报, 2021(5): 23-26.