

神经教育学视角下DNA结构与复制教学的认知策略重构

朱沛娟, 唐发辉*

重庆师范大学生命科学学院, 重庆

摘要: DNA结构与复制是生物学核心内容, 其抽象性和复杂性给教学带来了挑战。经融合认知神经科学与教育学, 提供了优化教学设计的理论依据。本研究主要从神经教育学视角探讨 DNA 结构与复制的教学策略, 结合认知负荷理论、多感官整合与情境学习方法, 提出优化课堂教学的认知策略。研究旨在提高学习者的理解深度和长期记忆, 为科学教育提供实践指导。

关键词: 神经教育学; DNA 结构; DNA 复制; 认知策略; 教学优化

Cognitive Strategy Reconstruction of DNA Structure and Replication Teaching from the Perspective of Neuropedagogy

Pei-juan Zhu, Fhui Tang*

Collge of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing

Abstract: DNA structure and replication are the core content of biology, and their abstractness and complexity pose a challenge to teaching. Neuropedagogy integrates cognitive neuroscience and pedagogy, providing a theoretical basis for optimizing teaching design. This study mainly explores teaching strategies for DNA structure and replication from the perspective of neuropedagogy, combining cognitive load theory, multisensory integration, and contextual learning methods, and proposes cognitive strategies for optimizing classroom teaching. The study aims to improve learners' depth of understanding and long-term memory, and provide practical guidance for science education.

Keywords: Neuropedagogy; DNA Structure; DNA Replication; Cognitive Strategy; Teaching Optimization

*通信作者: 唐发辉 (1979.6—), 女, 汉族, 重庆人, 博士研究生, 教授, 研究方向为学科教学(生物)。

1 引言

DNA（脱氧核糖核酸）是遗传信息的载体，从高中课程标准的结构与功能观分析，其双螺旋结构与复制机制是高中生物学的重点内容，知识点的前后连贯性很强，比如细胞有丝分裂间期染色体的复制，以及中心法则过程中的转录、翻译等环节都是建立在DNA复制的基础下而进行的，DNA半保留的复制功能取决于其双螺旋结构，然而，DNA分子的微观特征及其复杂过程使学生难以形成清晰的认知表征，影响知识理解与迁移能力。传统教学主要依赖教师的文本讲解与图示演示，未充分考虑学习者的认知负荷及神经生理特点，比如学生的先前知识和学习动机、学习体验感等。

根据皮亚杰的认知发展阶段理论，学生在形式运算阶段（12岁至成年（具备抽象思维，因此，对于高中生学习DNA结构与复制的学前分析来看，可充分发挥学生的抽象思维，神经教育学（Neuroeducation）结合认知神经科学与教育学，强调学习的神经机制及教师有效的教学干预措施，充分地调动学生的大脑思维，激发学生的学习兴趣及动机，从而实现高效学习。基于此，本文探讨如何利用神经教育学的研究成果优化DNA结构与复制的教学策略，以提升学生的认知加工能力和学习效果。

2 神经教育学视角下的教学优化理论

在DNA结构与复制教学中，基于神经教育学的优化策略可从认知负荷管理、多感官整合以及情境学习三方面展开。首先，认知负荷理论强调优化教学材料的呈现方式，以减少无效认知负荷，提升学生的学习效能。其次，多感官整合理论指出，通过视觉、听觉、触觉等多模态信息输入，可增强学习者的信息处理效率和长期记忆编码，使知识建构更加稳固。最后，情境学习理论强调身体活动对认知和情绪的影响，主张通过沉浸式体验，如角色扮演、虚拟实验等方式，促进学习迁移与深度理解。

2.1 认知负荷理论与DNA教学

“双减”政策已出台4年，该政策旨在减轻学

生过重的作业负担和校外培训负担，促进学生全面发展和健康成长，对于高中生物学科而言，在此背景下，教师应根据学生的身心发展规律，合理地安排教学任务。根据认知负荷理论，包括内在认知负荷、外在认知负荷、相关认知负荷，内在认知负荷是指工作记忆对认知任务本身所包含的复杂性，是由学习材料而决定的。外在认知负荷是指由教师为了达成课程标准下的教学目标，而所采用的不适当的教学设计和教学策略导致学习者耗费精力，产生了认知负荷。相关认知负荷是指学习者对知识进行重新建构而加重了工作记忆的负担。因此，学习者的工作容量是非常有限的，教师应该减轻学生的就学压力，减少无效认知负荷，从本质上优化认知负荷[1]。

根据研究表明，认知负荷与情绪存在一定的相关性，处于低认知负荷组，分别介入积极情绪与消极情绪进行对照，实验表明积极情绪有助于学生对知识点进行加工学习，而处于高认知负荷组，情绪的高低对于学习者进行知识迁移学习无显著的差异性。这一结论给予教师启示，教师在备课的过程中，应合理地组织教学内容的逻辑结构，以及前后知识点的相关性，有利于学生进行知识的迁移与运用，在多媒体及在线学习环境中，教师除了备好一节课之外，可积极地运用多媒体教学，从而减少学习材料的外在认知负荷，使抽象的知识点具体化，同时引入多通道的情绪元素，以丰富多媒体教学中的情绪调控方式。

在DNA结构与复制教学中，传统教学中，教师运用过多的专业术语，容易导致增加学生的认知负荷，因此，教师应合理安排信息呈现的方式和先后顺序，巧妙地运用物理模型，以动态的方式向学生展示DNA解旋以及半保留复制的过程，从而降低学生的无效认知负荷[2]。

2.2 多感官整合促进深度学习

根据神经科学研究表明，情绪-认知交互作用”“情绪对记忆的增强效应”等神经机制，为多感官教学策略提供了科学依据[3]。关于情绪与教育，从心理学的角度来看，身体、思维、情绪存在

一定的关联，情绪则是身体对思维的一种反应，因此在本质来看，缓解情绪的方法就是改变自身的认知，比如对于学习动机的看法，依据阿特金森的成就动机理论而言，学习动机分为趋向成功即选择中等难度任务来获得满足感、避免失败即选择极难或极易的任务维护自尊心，教师应该根据学生的自身情况实施个性化教学，为趋向成功设置阶梯式目标，为避免失败者提供更多的帮助缓解焦虑。单一的教学方式不利于驱动学生学习动机，因此，教师可以结合学生的多种感官进行激发学习兴趣，例如结合学生的视觉、听觉、触觉、多种感知信息，重新规划教学内容的设计以及呈现方式。一方面提升了学生的学习效率，另外一方面良好的情绪体验有利于促进学生由短时记忆转换为长时记忆[4]。

2.3 情境学习理论与教学迁移

情境学习理论（Situated Learning Theory）认为学习是基于一定的社会情景的活动，学习迁移产生的条件是学习对象之间的共同因素、已有经验的泛化水平、学习的理解与巩固程度、智力水平、思维定势等，因此将学生置于具体的学习情景中，正如陶行知先生提出的“生活即教育，教育即生活”的核心思想，教育源于生活，服务于生活。同时，生活决定教育，教育改造生活。从中可知，人的实践活动不仅有利于提高认知，同时从社会中所学到的理论也会反作用于实践中，真正地做到了知行合一的心流状态，从而实现了将抽象的知识与具体的情景结合，有利于学生的知识迁移[5]。

相较于传统课程，体验式心理课程更强调学生的身心参与，通过心理情境演练、角色扮演以及互动式团体活动等方式，使学生在沉浸式体验中深化情绪感知，并通过身体实践强化认知加工，从而促进深层次的学习与思维发展。这种教学策略不仅能提升学生的学习积极性，也为基于神经教育学的教学优化提供了新的实践路径。

DNA复制过程涉及酶的协同作用，其动态特性难以通过静态图示理解。因此，可利用虚拟实验室（Virtual Lab）或增强现实（AR）技术，构建交互式DNA复制模拟系统，让学生在情境化环境中探

索关键机制，从而增强学习迁移能力。

3 DNA结构与复制的认知策略重构

在DNA结构与复制的教学过程中，应基于认知科学和神经机制优化教学策略，增强学习者对复杂生物学概念的理解与掌握。首先，通过结构直观化手段，如动态3D建模和增强现实（AR）技术，将抽象的DNA结构转化为可交互的三维模型，促进空间认知。其次，采用过程可视化策略，将DNA复制拆解为多个阶段，并利用时间轴动画、颜色编码等方式降低认知负荷，提高信息整合效率。此外，借助操作体验化教学，如磁性拼接模型和情境化角色扮演，使学习者在多感官互动中加深知识迁移与长期记忆。最后，结合反馈个性化策略，利用人工智能（AI）学习系统实时检测学生的交互行为，并提供即时反馈，以强化概念建构和学习动机。这些策略的协同应用能够优化DNA结构与复制的教学效果，提高学生的认知效率和学习体验。

3.1 结构直观化：动态多模态教学

在讲授DNA的结构与复制机制时，可以采用“多模态协同构建策略”，将原本抽象复杂的分子构造和复制过程，借助多元技术手段转化为直观可感的三维可视化模型。通过增强现实（AR）技术建立动态的DNA双螺旋结构模型，可将传统教材中的静态平面图像转换为可旋转、可缩放的立体视图，便于学生从空间角度观察磷酸骨架与碱基对的具体排布。借助颜色编码的方式区分不同组成部分，例如以橙色表示脱氧核糖，红色代表磷酸基团，四种碱基分别用绿色（腺嘌呤）、蓝色（胸腺嘧啶）、黄色（鸟嘌呤）和紫色（胞嘧啶）标示，再结合动态荧光效果突出氢键的形成与断裂过程，有助于增强学生对关键分子间作用的理解。同时，运用3D建模、AR可视化与互动软件等技术手段，将DNA的立体结构和复制过程动态展示出来，使学生能通过视觉感知与操作实践，加深对空间结构与动态机制的掌握，从而有效提升学习效果。

3.2 过程可视化：减少认知负荷

在讲授DNA复制过程时，教师可以采用“分

阶段呈现”的教学方法，将整个复杂的过程细化为几个关键步骤，如DNA的解旋、互补碱基的配对、DNA聚合酶的作用等，逐步引导学生建立完整的认知结构。这种方式有助于减轻学生在理解过程中所承受的认知负担，也更容易帮助他们理清知识的逻辑顺序。在具体呈现内容时，还可以结合字幕提示和颜色区分等方式，帮助学生更清晰地识别不同的分子结构与作用环节，避免无关信息干扰理解。比如，通过一段带有时间线的动画来演示DNA复制的全过程，让学生能够在每个时间点清楚地看到复制中各个重要步骤是如何先后展开的，从而增强对整个机制的整体把握。

3.3 操作体验化：多感官互动

在教学中引入可操作的触觉学习工具，比如磁性DNA拼接模型，可以帮助学生通过亲手拼接的方式来模拟DNA的复制过程。教师还可以设计富有参与感的小组活动，让学生在实验中分别扮演不同的酶类角色，如解旋酶、DNA聚合酶等，通过角色扮演和合作完成复制的整个流程。这种情境化、互动式的教学方式，能有效调动学生的积极性，让他们在真实参与中更深入地理解抽象概念。与此同时，动手实践过程中，大脑会同时接收来自视觉、听觉和触觉的多重信息，从而在潜移默化中促进知识的吸收与迁移。相比单纯依靠文字或讲解的教学形式，这种融合图像、动画和实际操作的综合方式更能激发学生的学习兴趣，也有助于形成更深刻、持久的记忆印象[6]。

3.4 反馈个性化：智能自适应教学

在DNA结构与复制的学习过程中，增强现实与虚拟现实不同的点，在于前者协同组织多个学习者共同参与学习过程，与此同时，为了满足学习者个性需求的适配性，不同学习者对于知识有不同的目标，而基于人工智能（AI）的学习反馈系统则可以进一步优化认知策略，通过个性化反馈强化知识建构。研究表明，即时反馈不仅能激活奖赏系统（reward system），增强学习动机，还能够通过多次强化（reinforcement learning）促进长期记

忆的形成[7]。

在已有教学方式的基础上，引入AI驱动的学习反馈系统可以进一步提升学生的学习效果。比如在虚拟实验或者DNA复制的交互动画中，AI可以实时追踪学生的操作过程，例如他们如何拖动DNA聚合酶、进行碱基配对等。一旦学生在操作中出现错误，比如选择了不匹配的碱基，系统就能立刻做出反应，给予针对性的提示，比如标亮正确选项或者自动播放相关知识的讲解。这样的即时反馈不仅能帮助学生及时发现并改正错误，还能通过不断地练习和互动，加深他们对DNA复制这一复杂过程的理解和记忆。

4 结论

基于神经教育学的教学优化策略在DNA结构与复制教学中展现出显著的提升效能。通过认知负荷管理，优化教学材料的呈现方式，降低外在认知负荷，提高学习效率；利用多感官整合，结合视觉、听觉、触觉等多模态信息输入，增强知识表征的稳固性和长期记忆的形成；依托情境学习，采用角色扮演、虚拟实验等方式，提高学习的沉浸感与迁移能力。进一步的认知策略重构中，结构直观化帮助学生构建清晰的空间认知，过程可视化降低认知负荷、增强概念理解，操作体验化促进多感官协同学习，反馈个性化利用AI适应性调整教学，提高学习动机与知识内化。综合来看，这些优化策略的协同应用不仅符合神经科学的学习规律，也为复杂生物学概念的教学提供了可行路径，能够有效提升学生的认知效率、概念理解与知识迁移能力，为未来智能化、生本化的教学实践提供有力支持。

参考文献

- [1] 常欣, 王沛. 认知负荷理论在教学设计中的应用及其启示[J]. 心理科学, 2005, (05): 1115-1119.
- [2] 约翰·斯维勒, 杰伦·范梅里恩伯尔, 弗雷德·帕斯, 李爽, 盛群力(译). 认知架构与教学设计20年(上)[J]. 数字教育, 2022, 8(6): 85-92.
- [3] 伍海燕, 王乃弋, 罗跃嘉. 脑、认知、情绪与教育——情

- 绪的神经科学研究进展及其教育意义[J]. 教育学报, 2012, 8(4): 48-54.
- [4] 刘冠民, 彭凯平. 美好生活的社会情感神经科学探索[J]. 清华社会科学, 2019, 1(01): 184-201.
- [5] 范蔚, 孙榕谦, 杨霞. 教育数字化背景下的课堂教学结构改革——以具身认知理论为视角[J]. 石家庄学院学报, 2024, 26(1): 50-57.
- [6] 罗贤亮, 杜富力. 基于具身认知理论的学生体验式心理健康课程教学方法[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)教育科学, 2024(9): 0005-0008.
- [7] 谢伟旋, 孙胜格, 李亮. 基于增强现实的具身学习环境研究[J]. 中国教育技术装备, 2024(22): 1-6+18.

