



中国比较医学杂志
Chinese Journal of Comparative Medicine
ISSN 1671-7856, CN 11-4822/R

《中国比较医学杂志》网络首发论文

题目：将斑马鱼实验动物模型引入本科实验教学的改革与实践——以“抗疲劳”与“抗皱”功能评价实验为例
作者：孙黎，訾化星，陈诺，任真妍，张晶晶
收稿日期：2025-11-21
网络首发日期：2026-06-01
引用格式：孙黎，訾化星，陈诺，任真妍，张晶晶. 将斑马鱼实验动物模型引入本科实验教学的改革与实践——以“抗疲劳”与“抗皱”功能评价实验为例[J/OL]. 中国比较医学杂志. <https://link.cnki.net/urlid/11.4822.R.20260529.1614.007>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

将斑马鱼实验动物模型引入本科实验教学的改革与实践 ——以“抗疲劳”与“抗皱”功能评价实验为例

孙黎^{1,3}, 訾化星^{1,2}, 陈诺^{1,2}, 任真妍^{1,4}, 张晶晶^{1,2✉}

(1.广东医科大学&兰卫医学斑马鱼模式动物研究与创新应用实验室, 广东 东莞 523808; 2.广东医科大学医学技术学院, 广东 东莞 523808; 3.东莞兰卫医学检验实验室有限公司, 广东 东莞 523808; 4.广东医科大学第二临床医学院, 广东 东莞 523808)

*通信作者 张晶晶(1984—), 男, 博士, 教授, 研究方向: 疾病动物模型与脑血管病。E-mail: jingjing.zhang@gdmu.edu.cn.

摘要 模式生物斑马鱼在生命科学研究中应用广泛, 但其在本科实验教学体系中的系统性构建与实践仍待深化。本研究基于本科生“科研导向、系统思维、创新能力”的培养需求, 设计了以“抗疲劳”与“抗皱”功能评价为主题的斑马鱼综合实验课程。课程将行业团体标准(T/ZHCA 014-2022)及成熟的科研模型转化为适用于本科教学的综合性实验项目。通过引导学生全程参与实验设计、模型建立、数据采集与分析和学术报告撰写, 有效培养了其科学思维与实践能力。教学实践表明, 该实验教学模式不仅显著提升了学生的实验操作技能、数据分析能力与团队协作精神, 更实现了科研反哺教学、理论联系实际的教学目标。教学效果评估表明, 学生在实验操作、数据分析及科研思维等方面的能力显著提升($P<0.05$), 课程满意度达95%以上。本模式为在本科阶段开展基于前沿模型生物的创新性实验教学提供了可复制、可推广的实践范例, 是对本科教学质量工程的有益探索。

关键词 斑马鱼; 本科教学; 实验教学改革; 功能评价; 抗疲劳; 抗皱

中图分类号 G642.423; Q95-33; Q959.4

文献标志码 A

Integration of the zebrafish model in undergraduate laboratory teaching: innovations and implementation—A case study of “anti-fatigue” and “anti-wrinkle” functional evaluation experiments

SUN Li^{1,3}, ZI Huaxing^{1,2}, CHEN Nuo^{1,2}, REN Zhenyan^{1,4}, ZHANG Jingjing^{1,2✉}

(1. The Research and Innovative Application Laboratory of Zebrafish Model, Guangdong Medical University & Labway, Dongguan 523808, China; 2. School of Medical Technology, Guangdong Medical University, Dongguan 523808; 3. Dongguan Labway Clinical Laboratory Co., Ltd, Dongguan, Guangdong Province, 523808; 4. The Second Clinical Medical School, Guangdong Medical University, Dongguan 523808)

Abstract As a model organism, the zebrafish is widely used in life science research. However, its systematic integration into undergraduate experimental teaching systems requires further development. Based on the training objectives of cultivating research orientation, systematic thinking, and innovation ability in undergraduates, this study designed a comprehensive zebrafish experimental course focused on the functional evaluation of anti-fatigue and anti-wrinkle effects. The course transformed industry consortium standards (T/ZHCA014-2022) and established scientific research models into comprehensive experimental projects suitable for undergraduate education. It effectively fostered scientific thinking and practical skills by guiding students through the entire process of experimental design, model establishment, data collection and analysis, and academic report writing. Teaching practice has demonstrated that this experimental teaching model not only significantly enhanced students' experimental operational skills, data analysis capabilities, and teamwork, but also achieved the teaching goals of integrating research into teaching and linking theory with practice. The teaching effectiveness evaluation demonstrated significant improvements in students' abilities in experimental operations, data analysis, and scientific research thinking ($P<0.05$), with course satisfaction exceeding 95%. This model provides a replicable and scalable practical example

收稿日期: 2025-11-21

基金项目: 广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目(粤教高函[2024]9号, 粤教高函[2024]30号); 广东医科大学本科教学质量与教学改革工程项目(1JG23105, 1JG24080)。

作者简介: 孙黎(1986—), 男, 硕士, 研究方向: 疾病动物模型。E-mail: 315110315@qq.com

网络首发时间: 2026-06-01 08:28:47 网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.4822.R.20260529.1614.007>

for implementing innovative experimental teaching involving advanced model organisms at the undergraduate level, representing a valuable exploration for undergraduate teaching quality improvement projects.

Key words zebrafish; undergraduate education; laboratory teaching reform; functional evaluation; anti-fatigue; anti-wrinkle

随着“健康中国”战略及新医科建设的深入,对创新型医学人才培养提出了更高要求,高校实验教学改革已成为连接理论教学与科研实践、培养学生科学素养和创新能力的关键环节^[1]。然而,传统的医学本科实验教学多依赖于基础性、验证性的实验项目,学生难以系统参与从实验设计到结论形成的完整科研流程,制约了其综合实践与创新能力的培养。

斑马鱼作为一种重要的模式脊椎生物,其基因组与人类高度同源(约 87%),具有繁殖能力强、体外受精、胚胎透明、实验成本低廉等突出优点^[2]。这些特性使其不仅在生命医学基础研究中扮演关键角色,也非常适合于本科实验教学的综合性与设计性实践。目前,斑马鱼在高校《医学实验动物学》等课程中已展现出潜在的教学价值^[3],但其系统性地融入本科实验教学体系,并转化为综合性、研究型实验项目,仍有待深入探索与实践。

本科生作为一个特定的学习者群体,其认知与发展需求具有鲜明的特征:他们已具备一定的专业理论基础,渴望参与真实的科研过程以验证所学知识;对探索性、设计性的学习任务兴趣浓厚,但对简单的重复性操作缺乏耐心;同时,他们正处于科研思维与创新能力培养的关键期。因此,针对本科生的学习特点,设计一套能够激发其科研兴趣、培养其系统科研能力的实验教学方案至关重要。

本研究依托广东医科大学&兰卫医学斑马鱼模式动物研究与创新应用实验室,以“功能性饮品抗疲劳评价”和“化妆品原料抗皱功效评价”两个贴近科研与产业实际的项目为主题,面向医学技术专业本科生开设了综合性实验课程。课程严格参照《化妆品抗皱功效评价斑马鱼幼鱼尾鳍皱缩抑制率法》(T/ZHCA 014—2022)团体标准^[4],同时参考已发表的亚硫酸钠诱导疲劳模型^[5,6]。旨在探索一种基于前沿模式生物、契合本科生认知发展规律、兼具科学严谨性与教学可行性的综合实验教学模式,并通过量化数据评估其对学生综合能力的培养效果及推广价值,以期为本科实验教学改革提供参考。

1 研学课程设计与实施方法

1.1 课程设计理念与模型选择依据

本课程以“科研导向、系统设计、标准规范”为核心设计原则,针对本科生系统科研能力培养的需求,优先选取了经团体标准 T/ZHCA 014-2022^[4]规范化的“斑马鱼幼鱼尾鳍皱缩抑制法”作为抗皱功效评价模型。该模型原理清晰、操作标准化、表型在 24 小时内即可显现,非常适合学生观察与定量分析。抗疲劳实验则参考了亚硫酸钠诱导的缺氧-疲劳模型^[5,6],通过行为分析系统定量评价受试物的抗疲劳功效。该模型能有效模拟体力疲劳状态,并通过斑马鱼运动距离等直观指标提供即时反馈。

1.2 斑马鱼模型建立的专业方法参考

1.2.1 抗皱模型:紫外线诱导尾鳍皱缩模型

该方法遵循 T/ZHCA 014-2022 团体标准的原理与程序^[4]。其原理为:斑马鱼皮肤结构与人体相似,通过定量紫外线(UV)照射(波长 280~400 nm),可诱导幼鱼尾鳍中的胶原蛋白和弹性蛋白减少,表现为尾鳍面积显著皱缩。通过测量受试物处理后尾鳍面积的变化,可计算皱缩抑制率,从而评价其抗皱功效。该模型在化妆品功效评价领域已成为一种公认体外替代方法。Chen 等^[7]与 Cheng 等^[8]的研究分别验证了该模型用于评价化合物及植物提取物抗皱潜力的有效性。此外,研究也表明部分天然混合物在该模型中具有保护作用^[9],这为开发相关功能性成分提供了参考。

1.2.2 抗疲劳模型:亚硫酸钠诱导的运动能力下降模型

本课程采用亚硫酸钠诱导的缺氧-疲劳模型^[5,6]。该模型通过亚硫酸钠消耗水中的溶解氧,导致斑马鱼缺氧,进而诱发疲劳状态,表现为自发活动减弱与运动能力下降^[5]。通过行为分析系统记录斑马鱼在特定时间内的总运动距离,可以定量评价不同受试物的抗疲劳功效。该模型具有诱导快速、表型

客观、适合高通量筛选的特点。近期利用斑马鱼开展的研究也为理解疲劳相关的生理机制提供了新的视角^[10]。

1.3 实验流程的教学化改造

为适配本科实验教学的课时与目标，在保证科学本质的前提下，对部分操作进行了优化，核心步骤仍与标准保持一致：

表1 实验流程的教学化改造对比
Table 1 Comparison of the pedagogical transformation of experimental procedures

专业标准方法 ^[4] Professional standard method	教学化改造设计 Pedagogical redesign	适配特点与科学依据 Adaptations and scientific rationale
使用 6 孔板，每孔 15 尾鱼，体积 3 mL Use 6-well plates with 15 fish per well in 3 mL volume	采用 24 孔板，每孔 3 尾鱼，体积 1 mL Use 24-well plates with 3 fish per well in 1 mL volume	节约实验试剂，便于学生对个体进行精细观察与记录，同时保证组内平行性 Saves experimental reagents, facilitates by students' detailed observation and recording of individuals, while ensuring the consistency within the group
规定总辐照量为 (6.21±0.54) J/cm ² Specifies total irradiation dose of (6.21±0.54) J/cm ²	依据预实验结果，优化照射参数至 (0.54±0.0135) J/cm ² Optimizes irradiation parameters to (0.54±0.0135) J/cm ² based on preliminary experimental results	在保证模型有效性的前提下，适应教学课时安排，并培养学生根据实际情况优化方案的能力 Adapts to teaching schedule while ensuring model validity, and trains students in optimizing protocols according to actual conditions
使用 Image J 软件分析至少 10 个有效尾鳍数据 Analyzes at least 10 valid caudal fin data points using Image J software	指导学生测量 5 个有效数据，学习软件操作与数据分析方法 Guides students to measure 5 valid data points, learning software operation and data analysis methods	重点培养学生掌握图像分析原理与数据处理技能，而非单纯追求大样本量 Focuses on teaching the principles of image analysis and data processing skills, rather than pursuing a large sample size
预试验确定最大耐受浓度 Pre-experiment determines the maximum tolerated concentration	由指导教师提供预实验确定的安全浓度范围 Instructor provides the safe concentration range determined by pre-experiments	确保实验动物福利，将教学重点集中于功效评价与机制探讨 Ensures animal welfare and concentrates teaching on efficacy evaluation and mechanistic exploration

1.4 教学实施流程

实施流程遵循“理论铺垫-示范操作-分组实践-数据分析-总结汇报”的步骤展开。

理论铺垫：简述斑马鱼模式生物的优势，重点讲解 T/ZHCA 014—2022 标准^[4]中紫外线致皱与亚硫酸钠致疲劳的原理。

示范操作：教师演示标准稀释水配制、斑马鱼转移、紫外线照射装置使用、甲基纤维素固定及显微镜拍照等关键步骤，学生随即动手模仿。

分组实践：学生以小组为单位，分别承担模型建立与给药、样本固定与拍照、图像分析与数据处理等实验步骤，并进行轮换。

数据分析：指导学生使用 Image J 测量尾鳍面积，并根据标准中的公式计算皱缩抑制率；分析运动行为数据。引导学生根据标准中的“结果判定”条款，判断受试物是否具有显著功效。

总结汇报：小组整合数据，对照标准完成检测报告，并进行成果展示与讨论。

1.5 教学资源配置与实施过程

为明确本教学模式的可实施性与推广价值，现将课程资源配置与实施情况说明如下：

实验周期与学时安排：本课程总周期为 2 周，其中理论培训 4 学时，实验操作培训 6 学时，正式授课共计 10 学时。此外，课程设置了 40 学时（约合 40 h）的“学生主导实验时间”，学生在该时段内分组完成实验方案执行、数据采集与初步分析。在此期间，指导教师根据学生实验进程中出现的具体问题，实时提供个别化答疑与技术支持，保障实验流程的科学性与顺利进行。

参与学生情况：课程面向医学检验技术、口腔医学专业二年级学生，共 6 人，分为 2 个实验小组，每组 3 人。学生在分组中轮流承担不同实验任务，确保每人均能全面参与实验各环节。

实验成本与资源：每组实验的材料成本约为 500 元。主要资源配置包括：斑马鱼：实验所用斑马鱼幼鱼来源于实验室自有的 AB 系斑马鱼配对繁殖；试剂来源：功能性评价所用试剂为学生自主收集的日常饮品（奶茶）与化妆品样品；耗材与仪器：实验耗材以可重复使用的器皿为主，所用仪器均为实验室常规设备（如体视显微镜、紫外照射仪、行为分析系统等）。该资源配置模式体现了“低成本、易获取、可重复”的特点，适于在具备基础生物学实验条件的院校中推广实施，为开展基于斑马鱼的综合性实验教学提供了可复制的实践参考。

2 结果与成效分析

2.1 学生行为特点在教学实践中的具体体现

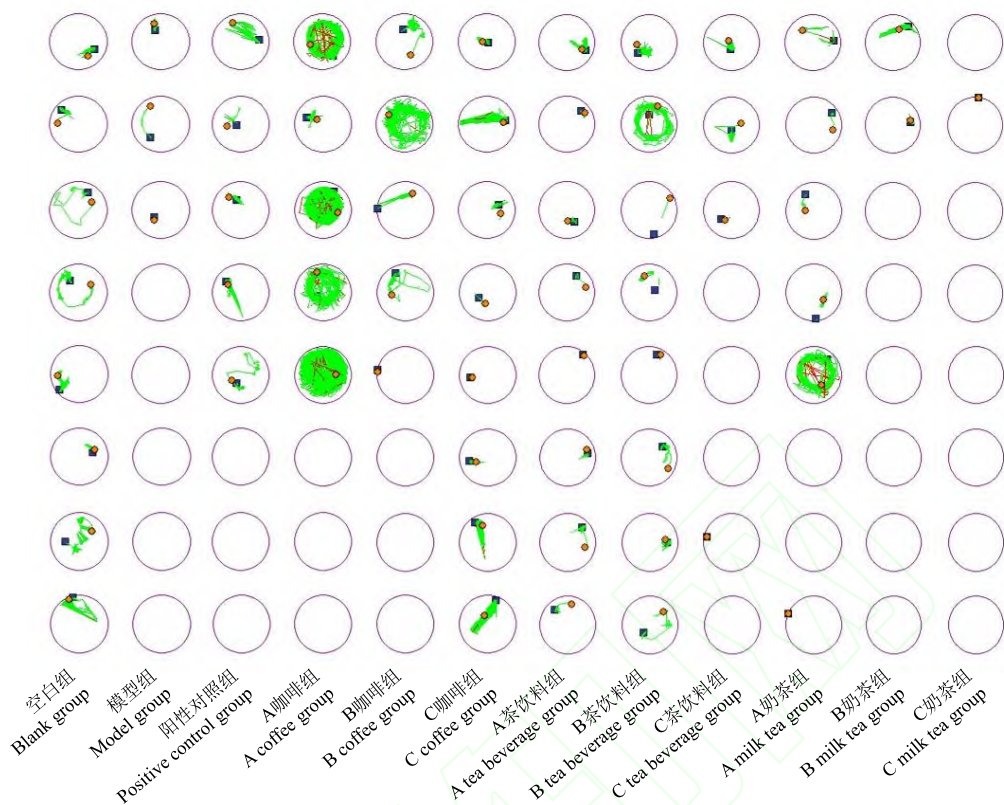
在研学过程中，本实践观察到预设的学生群体特点得到了充分验证，并据此进行了动态教学调整：

“同伴导向”成为核心驱动力：在整个过程中，小组内部形成了积极的相互学习与督促氛围。当一名学生成功掌握某项技能（如用 Image J 精准勾勒尾鳍轮廓）时，会主动、热心地指导其他组员。这种同伴教学的效率远高于教师的重复讲解。

“即时反馈”维持了高昂的探索热情：斑马鱼胚胎的快速发育（24 小时内器官形态剧变）、紫外线照射后尾鳍的直观皱缩、行为轨迹软件实时生成的游动路径与距离（图 1），这些立竿见影的实验现象为学生提供了持续的正向激励，使他们始终保持高度的专注力和好奇心。

“体力操作”增加了实验室的融入感：配制培养液、更换鱼缸水体、用甲基纤维素固定斑马鱼、重复进行样本编号等重复性、流程化的体力任务，让学生迅速融入实验室环境，建立起“我能胜任”的初始信心，为后续更具挑战性的数据分析环节铺平了道路。

“沟通推进”与“细致观察”展现的潜能在于：学生们表现出超出预期的主动性，积极与指导教师沟通实验中遇到的细节问题（如“紫外照射距离是否精确？”、“茶多酚浓度是否过高导致死亡？”等）。在实验过程中，他们敏锐地观察到了高浓度奶茶组斑马鱼出现脊柱弯曲等畸形现象，并主动追问可能的原因，展现了初步的科研洞察力。



注：橙色圆点是斑马鱼的起始位置，黑色方块是斑马鱼的结束位置，绿色是斑马鱼的低移速运动轨迹，红色为斑马鱼的高移速运动轨迹。

图 1 抗疲劳实验斑马鱼游动路径
Note. Orange dots represent the starting position of the zebrafish, black squares are the ending positions, green ones are the low-speed movement trajectories of the zebrafish, and the red ones are the high-speed movement trajectories.

Figure 1 Swimming path of zebrafish in the anti-fatigue experiment

2.2 实验模型优化与科学结果验证

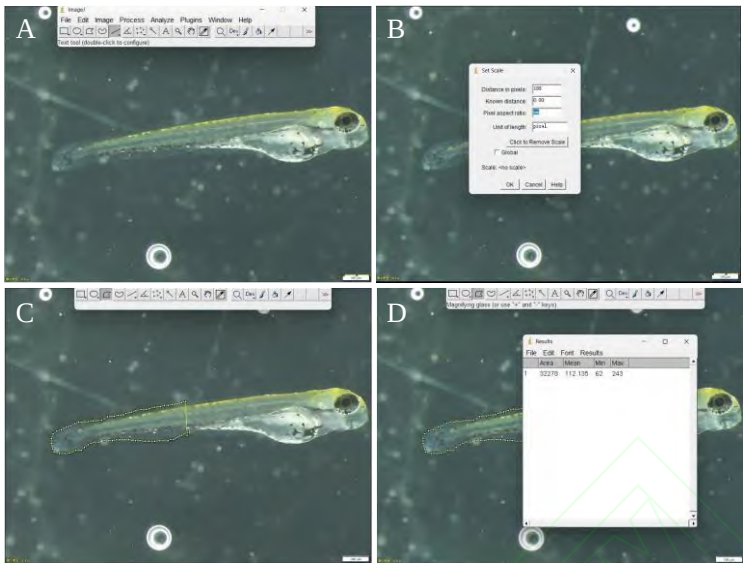
在实验过程中，本研究依据标准并结合实际情况对模型进行了优化与验证。

2.2.1 抗皱模型辐照剂量的优化与验证

在使用国内权威的团体标准（T/ZHCA 014—2022）^[4]进行抗皱实验中，本研究最初依据标准要求（总辐照量（ 6.21 ± 0.54 ）J/cm²）进行紫外线照射，发现斑马鱼全部死亡。经过对辐射量的多次测试，本研究最终将照射参数调整为：每次辐射量为（ 0.18 ± 0.0045 ）J/cm²，总辐射量为（ 0.54 ± 0.0135 ）J/cm²。此优化方案成功保证了斑马鱼在较低的死亡率条件下，获得良好的测试结果，为后续教学提供了稳定可靠的模型。

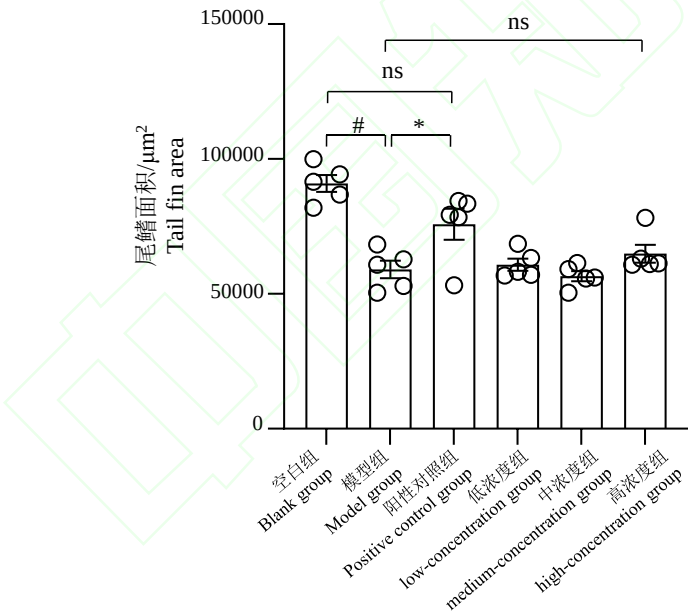
2.2.2 抗皱功效的数据分析与统计学检验

在抗皱实验中，本研究通过对斑马鱼尾鳍进行图像采集与面积量化（图 2），获得了各组尾鳍面积的统计数据（图 3）。学生使用 Image J（Version 1.53）对尾鳍图像进行轮廓勾勒与面积量化（示例操作界面见图 2）。所有数据采用 GraphPad Prism 9.0 进行统计分析，组间比较采用双侧 *t* 检验。对斑马鱼尾鳍面积数据进行统计分析，使用双侧 *t* 检验检测异方差双样本。统计分析显示：模型对照组与空白组 *P*=0.0001，表明紫外线照射成功诱导了尾鳍皱缩，模型构建成功；阳性对照组与模型对照组 *P*=0.035，说明阳性试剂能够有效缓解斑马鱼尾鳍皱缩；空白组与阳性对照组 *P*=0.07。测试某化妆品在多个浓度下均未显示出抗皱效果，该统计分析结果直观地展示于图 4 中。



注：A：图像处理界面；B：比例尺标定；C：尾鳍轮廓勾画；D：面积数据获取。

图 2 使用 Image J 软件进行斑马鱼尾鳍面积测量的操作界面示例
Note. A, Image processing interface. B, Scale calibration. C, Tail fin outlining. D, Area data acquisition.
Figure 2 Example of the Image J software interface used for measuring zebrafish tail fin area



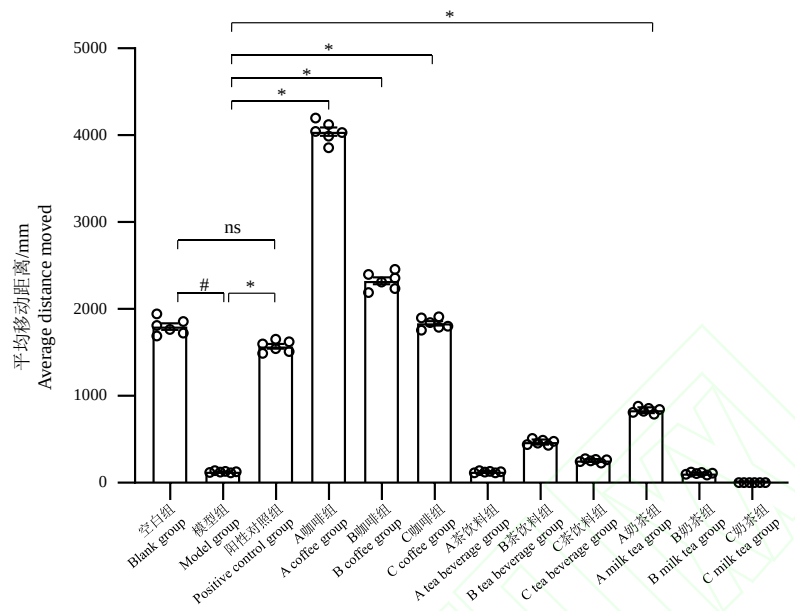
注：与空白组相比，# $P\leq0.001$ ；与模型组相比，* $P\leq0.05$ 。

图 3 斑马鱼抗皱实验尾鳍面积统计
Note. Compared with the blank group, # $P\leq0.001$. Compared with the model group, * $P\leq0.05$.
Figure 3 Statistics of the tail fin area in the zebrafish anti-wrinkle experiment

2.2.3 抗疲劳功效及饮品安全性评价

在抗疲劳实验中，所有奶茶及咖啡饮品均采用 0.25% (v/v) 和 1% (v/v) 两种浓度进行测试，本文结果以 0.25%浓度下的实验数据呈现。在标准饲养条件（光照周期 14 h/10 h）下，于白昼时段记录 1 h 内的游动距离。通过分析斑马鱼游动路径及所有行为学数据（均通过统计学检验），发现某品牌美式咖啡的抗疲劳功效最为显著（图 4）。同时，实验结果表明：多个品牌的奶茶饮品对斑马鱼具有

较大毒性，导致斑马鱼出现脊椎弯曲等畸形现象（图 5），并伴有较高的死亡率（图 6）。此发现意外地将课程延伸至食品安全与公共健康教育领域。



注：与空白组相比， $^{\#}P\leq0.001$ ；与模型组相比， $^{*}P\leq0.05$ 。

图 4 抗疲劳实验斑马鱼在不同饮品的游动距离
Note. Compared with the blank group, $^{\#}P\leq0.001$. Compared with the model group, $^{*}P\leq0.05$.
Figure 4 Swimming distance of zebrafish in the anti-fatigue experiment across different beverage groups

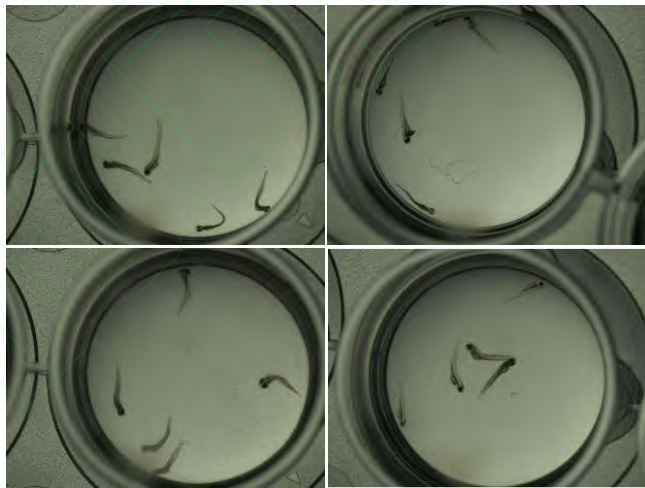


图 5 斑马鱼在某些品牌奶茶中的致畸情况
Figure 5 Teratogenic effects in zebrafish exposed to various branded milk tea

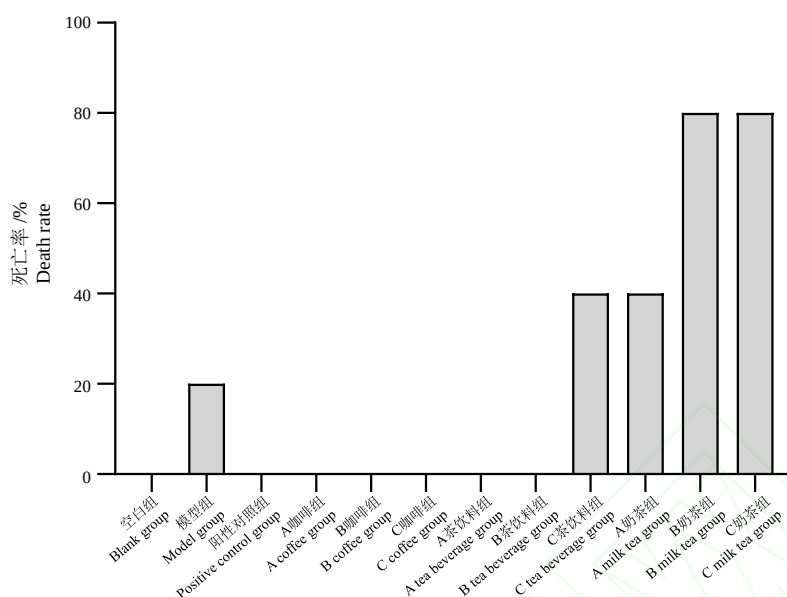


图6 斑马鱼在各品牌饮品中的死亡率
Figure 6 Mortality rate in zebrafish exposed to various branded beverages

上述实验现象和数据是学生在教师指导下自主操作获得的典型结果(图 1~6),展示了学生从模型建立到数据采集、从图像分析到统计学检验的完整科研过程。这些发现不仅验证了模型的可行性,也激发了学生对食品安全等现实问题的思考,成为培养科研兴趣和创新能力的生动素材。

2.3 研学教学成果评估

通过分析学生的实验报告、过程表现及课程考核成绩,本综合性实验课程取得了以下成效:

知识与技能层面:学生能够深入阐述斑马鱼模型在功能评价中的应用原理,并熟练掌握了体视显微镜操作、斑马鱼实验技术、溶液定量配制、Image J 图像分析及行为学数据分析等多项核心实验技能。

素养与能力层面:学生的科研思维(如实验设计、对照原则、误差分析)、团队协作能力、严谨求实的科学态度得到显著提升。在实验报告中,学生不仅能规范呈现数据,还能对异常结果(如高浓度样品效果不佳、奶茶致畸等)进行合理的分析和讨论,展现了初步的科研洞察力。

课程创新性:本课程将行业标准与前沿科研模型创造性融入本科实验教学,使学生亲历了从“标准化实验操作”到“数据化分析”再到“规范化科学结论”的完整科研训练流程。这种“科研反哺教学”的模式,对于培养本科生严谨的科学规范与创新能力具有重要意义。

创新能力层面:课程通过综合性、探索性任务有效激发了学生的创新思维。首先,学生展现出在真实情境中发现与解决问题的能力,如在实验中自主观察到“奶茶致畸”等非预期现象后,能主动结合已有知识提出假设并探讨原因。其次,在实验方案优化中,学生参与了如抗皱模型辐照剂量调整等讨论,学会了在约束条件下灵活调整参数以实现实验目标。同时,在数据分析环节,鼓励学生对阴性或异常结果进行批判性解读,引导学生深入探讨数据背后的生物学意义,而非简单接受表面结果。此外,学生能够将实验结果(如奶茶对斑马鱼的致畸现象)与食品安全、公共健康等现实议题相联系,体现出跨学科知识迁移与解决实际问题的初步能力。这些环节共同促进了学生从被动执行到主动探究的转变,实现了创新思维与科研能力的同步提升。

为了客观评估教学改革效果,本研究在课程前后分别对学生进行了实验操作与科研能力的自评问卷调查(采用 Likert 5 级评分,1=非常差,5=非常好),并收集了学生的实验报告成绩及课程满意度反馈。结果如表 2、表 3 所示。

表2 学生实验操作与科研能力自评对比 (n=6)

Table 2 Self-assessment of students' experimental operation skills and research capabilities (n=6)

能力维度 Competency dimension	课前平均分 Pre-course average score	课后平均分 Post-course average score	提升值 Improvement value	t 值 t-Value	P 值 P-Value
斑马鱼实验操作技能 Zebrafish experimental operation skills	2.3±0.5	4.5±0.5	2.2	8.14	<0.001
显微镜使用与图像采集 Microscope use and image acquisition	2.8±0.4	4.7±0.5	1.9	7.23	<0.001
ImageJ 图像分析 ImageJ software analysis	1.5±0.5	4.3±0.5	2.8	10.5	<0.001
数据统计与图表制作 Data statistics and chart creation	2.0±0.6	4.2±0.4	2.2	7.85	<0.001
科研问题发现与假设提出 Identification of research problems and hypothesis formulation	2.2±0.4	4.0±0.6	1.8	6	<0.01
实验报告撰写与逻辑表达 Experimental report writing and logical expression	2.5±0.5	4.3±0.5	1.8	6	<0.01

由表 2 可见，学生在所有核心能力维度上的自评得分均显著提高（ $P<0.01$ ），尤其在 Image J 图像分析、科研问题发现等方面提升最为明显。表 3 显示学生对课程的满意度高达 100%，表明教学改革得到了学生的充分认可。此外，学生的实验报告平均成绩为 88.5 ± 3.2 分（满分 100），其中 85% 以上的报告能对异常结果（如奶茶致畸）进行深入讨论，体现了初步的科研洞察力。这些量化数据有力地证明了本教学模式在提升本科生综合科研能力方面的有效性。

表3 学生对课程满意度调查结果 (n=6)

Table 3 Survey results on students' satisfaction with the courses (n=6)

调查项目 Survey item	非常满意 Very satisfied	满意 Satisfied	一般 Neutral	不满意 Dissatisfied	非常不满意 Very dissatisfied	满意率 Satisfaction rate
课程内容设置 Course content design	5	1	0	0	0	100%
教师指导与支持 Teacher guidance and support	6	0	0	0	0	100%
实验设计合理性 Reasonableness of experimental design	4	2	0	0	0	100%
实验条件与资源 Experimental conditions and resources	3	3	0	0	0	100%
自身收获与能力提升 Personal gains and skill improvement	5	1	0	0	0	100%
课程总体评价 Overall course evaluation	5	1	0	0	0	100%

3 讨论与教学启示

本次基于斑马鱼模型的综合性实验教学改革表明，将前沿生命科学研究资源与行业标准系统性地融入本科实验教学不仅可行，而且成效显著。其成功关键在于对本科培养目标的精准把握与教学策略的针对性设计。

“科研全过程体验”是培养创新能力的核心：本课程将完整的科研项目分解为可操作的模块化任务，使学生经历从立项、实验到成文的全过程，有效培养了其系统科研能力。

“标准化与创新性相结合”是保障教学质量的关键：课程以行业标准为纲，保证了教学的规范性与科学性；同时鼓励学生在模型优化、结果分析中主动思考，激发了其探索精神。

“贴近产业与实际”是激发学习内驱力的催化剂：选择与功能性食品、化妆品等大健康产业紧密相关的评价项目，使学生认识到所学知识的应用价值，从而自发产生探究欲望。

4 总结与展望

本研究成功地将斑马鱼这一现代模式生物引入本科实验教学体系,构建了一套契合本科人才培养需求、兼具科学性与教学性的综合性实验教学模式。实践证明,该模式能够有效激发学生的科研兴趣,全面提升其综合实践能力与科学素养,为医学院校本科实验教学改革与教学质量工程建设提供了有价值的思路与案例。

未来,本研究将进一步深化和拓展斑马鱼实验课程体系,例如开发其在毒理学安全评价(基于本次奶茶致畸现象的深入探究)、遗传学疾病模型(如利用 Werner 综合征等早衰模型研究衰老机制)^[11]、药物筛选等方面的综合性实验模块。同时,斑马鱼在肌肉萎缩等研究领域的新进展^[10],也为其在本科生探究代谢性疾病与健康问题方面提供了广阔的教学主题。本研究期望通过推动高校科研平台与本科教学的深度融合,让更多优质科研资源反哺教学,为培养具备创新思维与实践能力的新时代医学人才提供有力支撑。

孙黎, 訾化星, 陈 诺, 等. 将斑马鱼实验动物模型引入本科实验教学的改革与实践——以“抗疲劳”与“抗皱”功能评价实验为例 [J]. 中国比较医学杂志, 2026, 36(12).

Sun L, ZI HX, Chen N, et al. Integration of the zebrafish model in undergraduate laboratory teaching: innovations and implementation—A case study of “anti-fatigue” and “anti-wrinkle” functional evaluation experiments [J]. Chin J Comp Med, 2026, 36(12).

参考文献:

- [1] 中华人民共和国教育部. 中小学综合实践活动课程指导纲要[S]. 北京: 中华人民共和国教育部, 2017.
Ministry of Education of the People's Republic of China. Guidelines for the comprehensive practical activity curriculum in primary and secondary schools[S]. Beijing: Ministry of Education of the People's Republic of China, 2017.
- [2] WESTERFIELD M. The zebrafish book. A guide for the laboratory use of zebrafish (*Danio rerio*) [M]. 5th ed. Eugene: University of Oregon Press, 2007: 25-77.
- [3] 訾化星, 党驰, 张晶晶. 模式动物斑马鱼在医学实验动物学教学中的应用 [J]. 中国比较医学杂志, 2025, 35(5): 81-86.
ZI H X, DANG C, ZHANG J J. Application of zebrafish in medical experimental zoology teaching [J]. Chin J Comp Med, 2025, 35(5): 81-86.
- [4] 浙江省保健品化妆品行业协会. 化妆品抗皱功效评价 斑马鱼幼鱼尾鳍皱缩抑制率法: T/ZHCA 014—2022 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
Zhejiang Health Products and Cosmetics Association. Anti-wrinkle effect evaluation of cosmetics—Method for inhibition rate of caudal fin shrinkage of zebrafish larvae: T/ZHCA 014-2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [5] 张明哲, 戴明珠, 梁云飞, 等. 中华跌打丸调节钙通道及 ATP 代谢改善外周疲劳作用研究 [J]. 中国现代应用药学, 2022, 39(24): 3234-3239.
ZHANG M Z, DAI M Z, LIANG Y F, et al. Study on anti-peripheral fatigue effect of Zhonghua *Dieda* pills by regulating calcium channel and ATP metabolism [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2022, 39(24): 3234-3239.
- [6] 张成岗, 蒋斌, 任长虹, 等. 利用亚硫酸钠建立低氧和缺氧模型的方法以及一种低氧和缺氧模型: 中国, CN102188444A [P]. 2011-09-21.
ZHANG C G, JIANG B, REN C H, et al. Method for establishing hypoxia and anoxia models using sodium sulfite and a hypoxia and anoxia model: China, CN102188444A [P]. 2011-09-21.
- [7] CHEN Y H, WEN C C, LIN C Y, et al. UV-induced fin damage in zebrafish as a system for evaluating the chemopreventive potential of broccoli and cauliflower extracts [J]. Toxicol Mech Meth, 2011, 21(1): 63-69.
- [8] CHENG C C, CHOU C Y, CHANG Y C, et al. Protective role of comfrey leaf extracts on UV-induced zebrafish fin damage [J]. J Toxicol Pathol, 2014, 27(2): 115-121.
- [9] SUN C, LIU Z, FENG M, et al. Mixtures of EGCG, bamboo leaf flavonoids, and broccoli seed water extracts exhibit anti-glycation and skin-protective effects [J]. Phytomedicine, 2025, 140: 156592.
- [10] 刘海波, 支媛, 汪会玲, 等. 基于斑马鱼幼鱼的抗氧化物筛选模型建立及其应用 [J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(5): 871-877.
LIU H B, ZHI Y, WANG H L, et al. Establishment and application of antioxidant screening model based on zebrafish larva [J]. Chin J Food Hyg, 2022, 34(5): 871-877.
- [11] ZHU L, HUANG W, SHI J, et al. Multipotent anti-aging recombinant human elastin: Counteracting zebrafish caudal fin shrinkage and D-galactose-induced intrinsic skin aging in mice [J]. Int J Biol Macromol, 2025, 319: 145467.