

“强基计划”背景下生物学实验教学改革——以“生物学综合设计”课程为例

刘晶^{1#}, 孙韬^{2,3#}, 黄金海¹, 彭予心¹, 王汉杰¹

1 天津大学 生命科学学院, 天津 300072

2 天津大学 生物安全战略研究中心, 天津 300072

3 天津大学 化工学院 合成微生物学实验室, 天津 300072

刘晶, 孙韬, 黄金海, 彭予心, 王汉杰. “强基计划”背景下生物学实验教学改革——以“生物学综合设计”课程为例. 生物工程学报, 2022, 38(7): 2655-2664.

LIU J, SUN T, HUANG JH, PENG YX, WANG HJ. Reform of biology experiment teaching in the context of “Strengthening Basic Disciplines Program”—taking the course of comprehensive biology design as an example. Chin J Biotech, 2022, 38(7): 2655-2664.

摘 要: 人才培养是未来国家竞争的核心。“强基计划”是我国对基础学科拔尖创新人才培养模式的重要探索, 是满足国家重大战略人才需求的重要举措。“强基计划”招收的学生, 往往成绩优异、兴趣浓厚, 这为相关学科的人才培养模式提出了新要求和新目标。其中, “强基计划”背景下的基础教学改革势在必行。超学科教育理念 (science, technology, engineering, arts, mathematics, STEAM) 作为一种跨学科的综合教育概念, 与“强基计划”的建设理念不谋而合。鉴于此, 天津大学生命科学学院根据“强基计划”背景下生物学科人才培养目标, 结合 STEAM 教育理念, 以“生物学综合设计”课程为例, 对生物学实验教学改革进行了探索与实践。

关键词: 强基计划; 实验教学改革; 生物学综合设计

Received: December 29, 2021; **Accepted:** April 1, 2022; **Published online:** May 27, 2022

Supported by: National Key Research and Development Program of China (2019YFA0906500); National Natural Science Foundation of China for Outstanding Young Scientists (32122047); National Natural Science Foundation of China (31971300, 81771970)

[#]These authors contributed equally to this study

Corresponding author: WANG Hanjie. E-mail: wanghj@tju.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFA0906500); 国家优秀青年科学基金 (32122047); 国家自然科学基金 (31971300, 81771970)

Reform of biology experiment teaching in the context of “Strengthening Basic Disciplines Program”—taking the course of comprehensive biology design as an example

LIU Jing^{1#}, SUN Tao^{2,3#}, HUANG Jinhai¹, PENG Yuxin¹, WANG Hanjie¹

1 School of Life Sciences, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2 Center for Biosafety Research and Strategy, Tianjin University, Tianjin 300072, China

3 Laboratory of Synthetic Microbiology, School of Chemical Engineering & Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: Talent training is the core of future national competition. “Strengthening Basic Disciplines Program” is an important initiative exploring the training mode for top-notch creative talents in basic disciplines, and an important measure to meet the needs for fostering future talents. The students enrolled in the “Strengthening Basic Disciplines Program” often have excellent grades and strong motivation, which puts forward new requirements and new goals for the talents training mode. Among them, the teaching reform under the background of “Strengthening Basic Disciplines Program” is imperative. The science, technology, engineering, arts, mathematics (STEAM) education concept is an interdisciplinary comprehensive educational philosophy that happens to coincide with the philosophy of the “Strengthening Basic Disciplines Program”. In view of this, the School of Life Sciences of Tianjin University has explored and practiced the reform of biology experimental teaching based on the objective of fostering biology talents in the context of “Strengthening Basic Disciplines Plan” and the STEAM education concept, by taking the course of comprehensive biology design as an example.

Keywords: Strengthening Basic Disciplines Program; experimental teaching reform; comprehensive biology design

面临当今世界百年未有之大变局，科技创新作为核心竞争力，已成为国家竞争的焦点。十年树木，百年树人，拔尖创新人才的培养是国家科技创新发展的根本源泉^[1-2]。2020年9月11日，习近平总书记在科学家座谈会上强调，要加强创新人才教育培养，加强数学、物理、化学、生物等基础学科建设，加强基础学科拔尖人才培养^[3]。2020年，教育部印发《关于在部分高校开展基础学科招生改革试点工作的意见》，开展基础学科招生改革试点，简称“强基计划”，旨在突出基础学科的支撑引领作用，培养基础学科领域、关键技术领域、“卡脖子”

技术领域的拔尖创新人才，最终服务于国家重大战略需求^[4]。“强基计划”开启了我国对基础学科拔尖创新人才培养模式探索的新篇章。

天津大学生物科学专业作为首批“强基计划”试点专业，锚定国家重大战略需求，扎根生命科学领域前沿，发挥天津大学新工科领军高校优势，构建科研创新能力全程化训练体系，培养现代生物科学领域拔尖创新领军人才^[5]。生物学是实验性很强的一门科学，在相关专业学生的培养过程中，实验教学作为重要组成部分，是大学教育培养学生实践创新能力的“最后一公里”^[6-7]。近年来，生物科学学科发展迅

猛,相关创新技术层出不穷,为学科教学改革提供了源源不断的动力与有力支撑^[8]。然而,理论教学中的生物学新方法、新技术和新应用,无法及时有效地转换为教学实践^[9]。此外,强基计划学生成绩整体较为优秀,对基础学科有着较为浓厚的兴趣,如何深入挖掘学生的学术创新潜力、保护学生的学术探究兴趣、培养学生学术探究能力,是强基计划背景下实验教学改革的另一个重要问题^[10-11]。总之,“强基计划”对基础学科人才培养提出了新指导、新要求和新目标^[12-14],“强基计划”背景下的生物学实验教学亟待改革与创新。

“强基计划”坚持“以学生为中心”的宗旨,强调基础强化的同时,兼顾个性培养的策略,注重学生的全面发展,注重教学内容的跨学科性、教学方式的引导性、教学模式的开放性、人才培养的综合性,旨在引导学生对基础科学的探究兴趣,激发学生对基础科学的探索欲望,“强基计划”的终极目标是为国家培养一批具有基础科学创新精神和实践能力的卓越拔尖人才。这与 STEAM 教育理念有很多共通之处。因此,天津大学生命科学学院鉴于强基计划背景下生物学科人才培养目标,结合 STEAM 教育理念,对生物科学综合实验教学进行了探索与实践。

1 生物学综合设计

根据“强基计划”的培养要求和全国试点高校的招生简章^[15],科教协同育人是“强基计划”的必然要求,“强基计划”是科教协同育人的“试验田”,以前沿科学研究支撑拔尖创新人才培养,以拔尖创新人才培养推动前沿科学研究。科研创新实践能力训练是培养生物科学领域拔尖创新人才的必备环节。如何充分利用实验教学实现科教协同育人,夯实学生的基础学

科能力,贯通学生跨学科能力的交叉培养,值得探究。天津大学生命科学学院立足人本教育理念,秉持“宽基础、精专业、多交叉、重创新”的人才培养理念,开设学科内涵深度融合、教学科研深度融合、学科交叉深度融合的“生物学综合设计”课程。

1.1 “生物学综合设计”课程的改革目标

“生物学综合设计”课程将“合成生物学”“纳米生物学”和“光遗传生物学”3个学科的理论和技术有机交叉融合,立足生物科学研究前沿,瞄准具体科学问题,设置学生课程学习任务。不同于传统的实验课程,“生物学综合设计”课程没有既定的实验方案,突破“教-学-做”的实验教学模式,学生需要灵活运用所学理论知识和所拥有的实验技术,自主设计实验方案,自主探索解决问题。“生物学综合设计”旨在引导学生将理论灵活应用于实践,在实践中对理论知识进行再思考、在实践中夯实理论基础、在实践中激发专业探究兴趣、在实践中提升创新能力。

通过“生物学综合设计”课程的系统训练,学生的实验操作能力、团队协作意识、科学研究思维得到了全面启蒙和系统训练,培养具有扎实专业基础、娴熟实验技能、拔尖创新能力的面向强基计划的领军人才。

1.2 “生物学综合设计”课程的改革方向

“强基计划”对基础学科人才培养提出了新指导、新要求和新目标,也对实验教学提出了新的要求。对标“强基计划”的人才培养目标,“生物学综合设计”课程也将秉持“宽基础、精专业、多交叉、重创新”的人才培养理念,以多学科交叉融合创新为改革驱动力,瞄准生物学关键技术领域的实际需求,探索学科内涵深度融合、教学科研深度融合、学科交叉深度融合的实验课程体系,创新未来生物科学领域科技创

新领军人才培养模式,推动“强基计划”背景下生物学实验教学改革。

(1) 实验内容的综合性与创新性。传统的实验教学内容多为验证性实验,实验内容陈旧,与学科前沿脱钩,学生无法通过实验课程接触到学科领域最新的动态进展^[16];且传统实验内容仅对涉及到的实验原理进行验证,无法充分将理论知识与实验实践有机结合,相关的新方法、新技术和新应用无法及时、有效地转化为实验教学内容,最终导致学生的实验操作能力、探索创新能力、科学研究思维无法得到系统训练^[17]。“生物学综合设计”将注重专业课程的交叉融合,立足当前研究热点,通过梯度设置科学问题,将最新理论知识与最新的实验技术融入实验教学课堂,夯实学生专业知识基础、提升学生专业实验技能、提升学生创新能力、培养学生科研思维。

(2) 教学体系的系统性和全面性。传统的实验教学内容往往只注重实验技能的训练,对专业知识的实践应用、学术成果的落地转化缺乏系统介绍,加之生物学的基础学科属性,导致学生对专业认知与实践应用脱钩,知识学习与职业发展脱钩,对专业从业前景感到迷茫甚至是失望。此外,传统的实验教学缺乏对学生家国情怀、使命感以及责任感的塑造,难以使其自觉投身到民族伟大复兴的事业中^[18]。“生物学综合设计”课程将结合国家重大战略需求以及专业相关产业的发展方向,设置亟待研究的科学问题,明确专业知识的运用范畴,帮助学生清晰职业规划。此外,“生物学综合设计”课程将坚持立德树人的根本任务,推进三全五育,培养全面发展的有用人才。

(3) 学习探索的求知欲与自主性。传统的实验教学内容常采用“教-学-做”的模式,保姆式的实验教学模式以及标准化的实验结果要求

极易导致学生仅仅是根据实验讲义机械性地重复实验过程,知其然而不知其所以然;长此以往,学生的自主性被极大抑制,只知机械性照搬实验操作,没有掌握实验原理,缺乏思辨思维和变通能力,无法根据实际情况进行灵活调整,缺乏成就感与满足感,最终对专业研究失去探索兴趣,不再主动学习^[19]。“生物学综合设计”课程将通过课题牵引式或问题引导式的教学形式,通过梯度设置科学问题,鼓励学生利用所具备的实验技能,设计实验方案,自主开展相关研究,以最大程度地激发学生学习的自主性,培养学生的学习兴趣,培养拔尖创新人才。

(4) 实验平台的先进性与开放性。传统的实验教学所用的仪器设备多为教学设备,缺乏高精尖的大型仪器设备教学,无法为学生提供先进的实验技术与专业视野^[20]。“生物学综合设计”课程依托天津市生物大分子结构功能与应用重点实验室与天津市微纳生物材料与检药工程技术中心,利用学院仪器平台所拥有的活细胞激光共聚焦显微成像分析系统、流式细胞仪、荧光显微镜等众多先进大型仪器设备,有力支撑学生团队自主设计探索研究。此外,“生物学综合设计”课程依托已经建成的线上线下混合式仪器培训体系,并利用天津大学网络教学平台,采取线上线下混合式教学形式,最大程度地帮助学生掌握实验技能,提供开放式的学习环境与实践探索条件。

2 “强基计划”背景下生物学实验教学改革方案——以“生物学综合设计”课程为例

“生物学综合设计”课程以“生物设计与建造——变身生物艺术家”为主题,基于学习进阶式的教学设计,构建基础模块、实践模块、探

索模块 3 个层次的课程内容体系 (图 1)。基础模块主题为“大肠杆菌的‘漂亮外衣’”,通过对生物元件的选择及组装,实现色素蛋白与荧光蛋白在大肠杆菌底盘细胞内的组成型表达;实践模块设置 3 个主题供学生自主选择,分别为“大肠杆菌‘尝尝’糖 (化学诱导调控)”“大肠杆菌‘看见’光 (光调控)”以及“大肠杆菌‘感受’热 (温度调控)”,实现色素蛋白与荧光蛋白在大肠杆菌底盘细胞内的调控型表达;探索模块设置多个主题供学生自主选择,如“大肠杆菌‘尝尝’糖与‘看见’光 (与门)”“大肠杆菌‘尝尝’糖或‘看见’光 (或门)”“大肠杆菌‘尝尝’糖与不‘看见’光

(与非门)”等主题,实现基因逻辑门线路在大肠杆菌底盘细胞的构建,初步体验基因线路工程的实际应用。

STEAM (science, technology, engineering, arts, mathematics) 教育是科学、技术、工程、艺术和数学五大学科有机融合,形成的一种极具凝聚性的综合性教育理念^[21]。这与“强基计划”的建设理念有许多共通之处,值得借鉴。立足于“强基计划”背景,集合 STEAM 教育理念的实验教学改革可能是生物学实验教学改革的有效途径,因此,我们以“生物学综合设计”课程为例,进行了探索与实践 (图 2)。

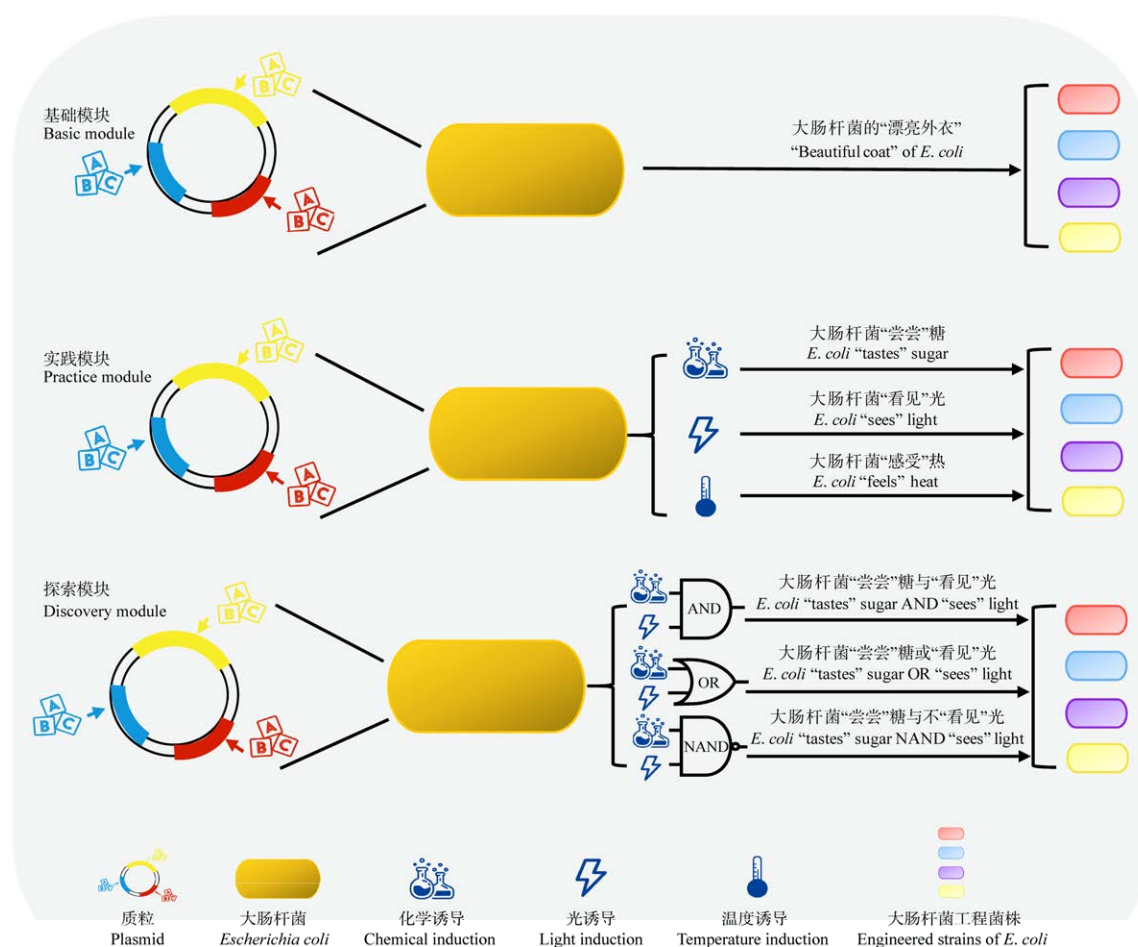


图 1 “生物学综合设计”课程内容

Figure 1 The course content of comprehensive biology design.

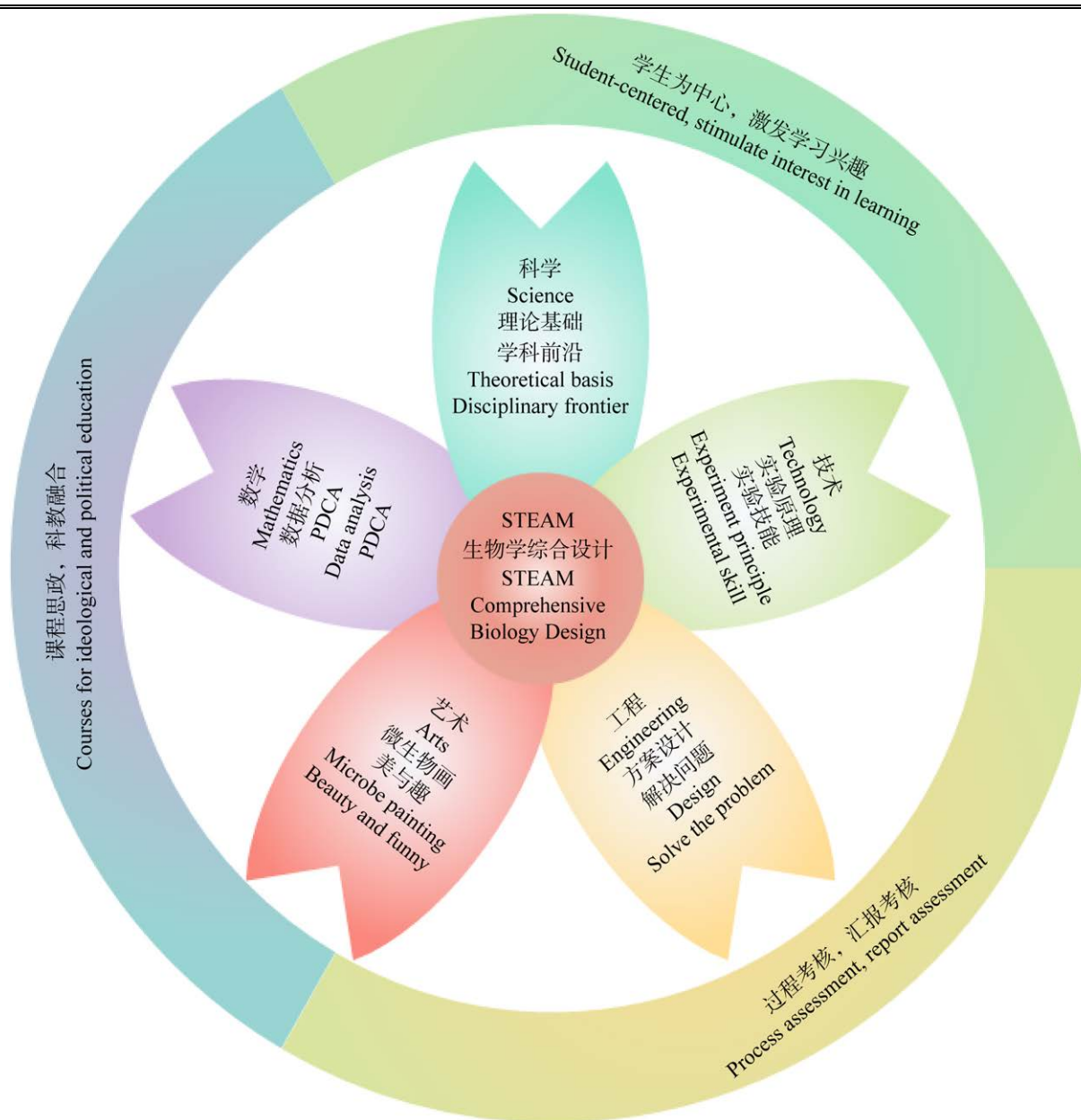


图2 基于STEAM教育理念的“生物学综合设计”改革示意图

Figure 2 Schematic diagram of comprehensive biology design reform based on STEAM education concept.

2.1 基于STEAM教学理念的教学内容改革

根据STEAM教育理念,我们对基础模块、实践模块、探索模块3个层次的教学内容进行了多维度的整合优化,每个模块均包含STEAM教育理念的5个学科部分。Science部分主要讲授相应的理论知识,结合学科前沿进展,为学生带来学科的新理论与新思路,为后

续实验设计奠定理论基础;Technology部分主要讲授相应的实验原理与实验技能,结合线上教学资源,为后续实验设计奠定技术基础;Engineering部分主要要求学生以团队合作的形式,3-5人为一组,探索、分析、解决设定的科学问题,独立完成实验方案设计;Arts部分主要通过设置“微生物平皿作画”环节,同学们

以接种环作“画笔”，固体平板作“画布”，工程大肠杆菌作“颜料”，绘制各种艺术创意画，展现生物科学的“美”与“趣”；Mathematics 部分主要培养学生数据分析能力，通过对实验数据的分析整理，总结结论并发现不足，形成“计划-实践-分析-改进” (plan-done-check-act, PDCA) 的闭环模式。

2.2 基于 STEAM 教育理念的教学方法改革

“生物学综合设计”课程教学过程中，Science 部分与 Technology 部分注重知识的传授，是后续部分的理论基础和技术基础。因此，这两部分采取线上线下混合式的教学方式，线上教学基于天津大学的网络教学平台，开设大型仪器设备的培训课程、实验原理解讲的微视频等内容，学生通过自主学习的方式完成；线下教学以教师引导式讲授、直观演示为主，鼓励学生多实践、多联系，实现由被动式的灌输式、填鸭式教学向学生自主探究式、研讨式教学转变，弱化教师的主导地位。Engineering 部分主要采取问题驱动法和合作研讨式教学法，明确学生的主导定位，教师的辅助定位，鼓励学生以团队协作的形式，独立自主地完成目标任务；Arts 部分主要采取开放交流的教学形式，学生是这一部分的组织者与完成者，充分调动学生的想象力和创造力，激发学生的学习兴趣，在寓教于乐中完成各种主题的艺术作品；Mathematics 部分主要采取研讨式等教学方法，同学们互相交流实验数据与实验结果，相互辩证数据处理方式的合理性，并在交流中完成实验方案的升级优化。

2.3 基于 STEAM 教育理念的考核方式改革

传统的课程考核多采用期末考核为主，课堂表现等过程性考核为辅的考核方式^[22]。“生物学综合设计”课程，旨在培养面向强基计划的拔尖创新领军人才，显然不再适用于传统课

程的考核方式。因此，根据 STEAM 教育理念指导下的教学内容，“生物学综合设计”课程考核包括过程考核与汇报考核两部分。过程考核对各小组的实验方案研讨 (方案的可行性与创新性、文献查阅能力及合作交流讨论表现等)、实验实践操作 (实验操作的规范性、实验技能的熟练度、实验实践的严谨性、实验过程的认真度和实验结果的准确性)、论文撰写 (论文写作的规范性、科学性及其合理性) 等进行全面评价。汇报考核分 Engineering 方案设计评比和 Arts 艺术创意评比两部分，Engineering 方案设计评比，即课题设计评比，以国家重大战略需求为牵引，设置相应汇报主题，同学们根据“生物学综合设计”课程所学知识，自主完成课题设计，并进行展示，由指导教师进行打分评价；Arts 艺术创意评比，通过微生物平板画的表现形式，设置个人奖 (天才小画家、最佳创意奖、最佳视觉奖、最佳含义奖、最具人气奖及优秀奖) 和最佳团队奖，最终获奖结果由指导教师和同学们共同打分评价产生，激发同学们的积极性和学习热情。

2.4 基于 STEAM 教育理念的课程价值观教育改革

在做好知识传授的同时，“生物学综合设计”课程坚持“立德树人”为根本任务，遵循“三全育人，五育并举”的培养要求，依托天津大学学科优势和特色，帮助学生形成“爱生命科学、学生命科学、做生命科学”的良好学习氛围，形成正确科学的历史观，激发民族自豪感和自信心，增强对祖国蓬勃发展的信心。在 Science 部分和 Technology 部分，做学生的“专业智囊团”，通过挖掘专业知识中蕴藏的道德观与价值观教育元素引导理论知识的形象化、具体化，实现家国情怀与专业知识的相互提升，实现知识能力与情感态度价值观的多维度

培育,让教育内化于心、外化于行。例如,课程中涉及到相关合成生物学疾病防治技术的讲授,过程中向学生介绍知识的同时,讲述我国“人民至上、生命至上”的价值理念,为了保障“人民健康需求”,投入大量资源启动“合成生物学重点研发计划”,相关理论技术创新已走在世界前列,培养科学素养的同时,能够极大增强学生的社会责任感和使命感。在 Engineering 部分,做好学生的“双创小助手”,将技术实践引入课堂,指导学生进行技术实践,将育人阵地转移到实践中,将“德智体美劳”五育教育贯穿始终,让学生们增长见识、丰富学识,在解决国家需求和民生需求过程中求真理、悟道理、明事理。在 Arts 部分,做好学生的“艺术聆听者”,同学们以工程化大肠杆菌为颜料,固体平板培养皿为画布,融入天大人的初心使命,以“建党百年”“天大印象”及“艺术之美”等为主题进行创作(图3),展现生物科学的“美”与“趣”,激发同学们对生命科学的兴趣与热爱,培养同学们爱家、爱校、爱专业和爱生活的情怀。

2.5 基于 STEAM 教育理念的科教融合改革

科教协同育人是“强基计划”人才培养的必然要求。根据 STEAM 教育理念指导下的“生物

学综合设计”课程改革思路,我们也进行了一系列探索。在 Science 部分和 Technology 部分,将合成生物学、纳米生物学以及光遗传生物学领域科研前沿成果进展引入到课程教学,带领学生们参观科研实验室,体验先进的仪器设备,尝试利用前沿生物学技术,以培养学生的创新意识和学用能力;Engineering 部分,结合全国大学生生物竞赛、大学生创新创业训练计划项目,让学生们从工程需求出发,利用所学技术,设计生物机器,制造相应的生物产品,打通“课程-实验-设计”之间的壁垒,培养其对基础科学的创新精神,强化其对基础科学的实践能力。

3 “生物学综合设计”课程体系实践成效

“生物学综合设计”课程突破了传统实验课“教-学-做”的模式,基于 STEAM 教育理念,打造以学生为中心的实验教学模式体系,成功开设学科内涵深度融合、教学科研深度融合、学科交叉深度融合的实验课程。通过课程学习,学生能够根据生物设计与建造机制及应用研究需求,结合学到的理论知识和专业技能,提出相应的研究方案,能在实验设计环节中体现理论联系实

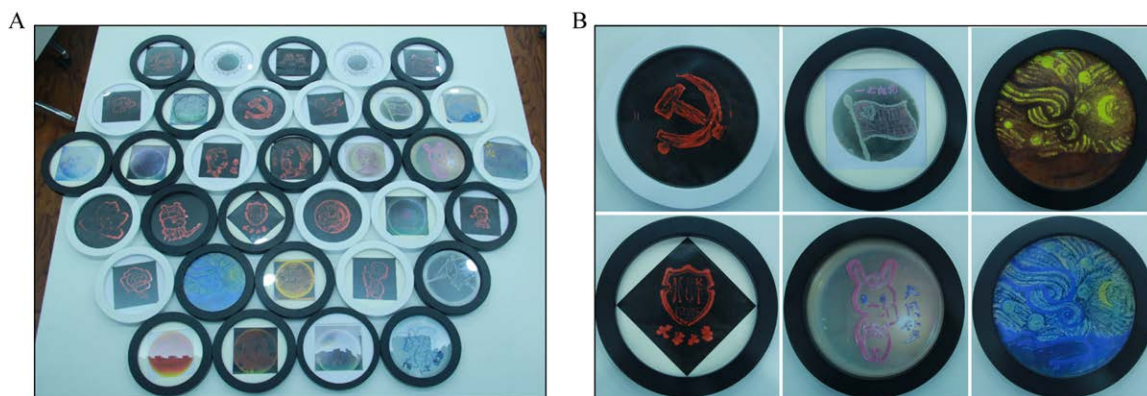


图3 “生物学综合设计” Arts 部分作品

Figure 3 Part of the Comprehensive Biology Design Arts works.

际、实事求是、独立思考和勇于创新的科学精神,并通过组建创新小组,在课程学习的同时,强化自身在信息获取、组织管理、合作竞争和表达交流等方面的能力。此外,“生物学综合设计”课程的价值观教育建设也初具成效,学生形成“爱生命科学、学生命科学、做生命科学”的良好学习氛围;对生命科学发展史有了深入了解,形成正确科学的历史观,激发其民族自豪感和自信心,增强对祖国科研事业蓬勃发展的信心。

2019 级本科生在完成“生物学综合设计”课程后,报名参加国际基因工程机器大赛(International Genetically Engineered Machine Competition, iGEM)、全国大学生生命科学竞赛的学生数显著增多,比例达 50%。2021 年,天津大学生命科学学院组织 2 支学生队伍,首次参加全国大学生生命科学竞赛,均获天津赛区一等奖(共 3 个名额),最终均获得全国二等奖;此外,在 iGEM 全球总决赛中,天津大学生命科学学院的 iGEM 团队斩获金奖。

4 结语

本学院通过“生物学综合设计”课程对“强基计划”背景下生物学实验的教学模式、科教协同育人做了一些尝试,为“强基计划”背景下的生物学实验教学改革提供了新思路和新范例,助力生命学科的强基计划建设。“强基计划”背景下的生物学实验教学改革,任重而道远,具有长期性和系统性。尽管本次面向“强基计划”的生物学实验教学改革取得了一些成绩,但在教学过程中仍暴露出一些问题,例如:部分同学的自主性不强、偷懒应付心理严重、团队协作参与度不高;实验条件及实验平台的局限性导致应用性较强的实验难以实现。在今后的教学改革中,我们仍需不断进行改革探索,例如:针对不同层次的学生,制定个性化的教学方案,

因材施教;在“课程-实验-设计”的基础上进一步打通实验课程与行业实践的壁垒,建设“课程-实验-设计-实践”的课程体系。

REFERENCES

- [1] 王新风,钟秉林.我国高校实施“强基计划”的缘由、目标与路径.高等教育研究,2020,41(6):34-40.
Wang XF, Zhong BL. The pilot of enrollment reform of basic subjects: the policy origin, objects and implementation path. J High Educ, 2020, 41(6): 34-40 (in Chinese).
- [2] 张树永,朱亚先.高等学校化学类本科一流专业建设标准和建设重点浅析.大学化学,2021,36(5):5-10.
Zhang SY, Zhu YX. Brief analysis on the standard and key points of construction of first-class majors of higher chemistry education. Univ Chem, 2021, 36(5): 5-10 (in Chinese).
- [3] 习近平:在科学家座谈会上的讲话[EB/OL]. [2021-12-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1677549460006891757&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 教育部关于在部分高校开展基础学科招生改革试点工作的意见[EB/OL]. [2021-12-15]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A15/moe_776/s3258/202001/t20200115_415589.html.
- [5] 强基计划|天大这个专业,聚焦健康中国战略,探索生命奥秘[EB/OL]. [2021-12-15]. <http://news.tju.edu.cn/info/1003/51760.htm>.
- [6] 马正海,阿力木江·阿布都拉,逯永满,等.高校生物学实验教学模块化体系的构建与实践.教育教学论坛,2020(1):204-205.
Ma ZH, Alimujiang ABTR, Lu YM, et al. The construction and practice of the modular system of biology experiment teaching in universities. Educ Teach Forum, 2020(1): 204-205 (in Chinese).
- [7] 陈凌懿,王坚,刘方,等.南开大学生物学科拔尖人才培养课程体系的设置及分析.高校生物学教学研究(电子版),2018,8(6):45-48.
Chen LY, Wang J, Liu F, et al. The establishment and reformation of the curriculum for outstanding students of biological sciences in Nankai University. Biol Teach Univ (Electron Ed), 2018, 8(6): 45-48 (in Chinese).
- [8] 贺占魁,黄涛,杨九民.高校科学研究支撑实验教学机制探究.实验室研究与探索,2019,38(6):194-197.
He ZK, Huang T, Yang JM. Exploration on experimental teaching of colleges and universities supported by scientific research. Res Explor Lab, 2019, 38(6): 194-197 (in Chinese).

- [9] 李秀娟, 张志辉, 邹猛, 等. 实验课适应教学改革的必然性分析. 大学教育, 2019, 8(11): 51-53.
Li XJ, Zhang ZH, Zou M, et al. On the necessity of adapting experiment course to teaching reform. Univ Educ, 2019, 8(11): 51-53 (in Chinese).
- [10] 母小勇. “强基计划”: 激发与保护学生学术探究冲动. 教育研究, 2020, 41(9): 90-103.
Mu XY. The pilot reform program of enrollment for basic disciplines: stimulating and protecting students' impulse towards academic inquiry. Educ Res, 2020, 41(9): 90-103 (in Chinese).
- [11] 贺芬. 拔尖创新人才可以“计划”培养吗?——对“强基计划”的冷思考. 河北师范大学学报(教育科学版), 2021, 23(3): 67-72.
He F. Can top innovative talents be cultivated by “planning”?—a rational reflection on the “plan for strengthening basic academic disciplines”. J Hebei Norm Univ (Educ Sci Ed), 2021, 23(3): 67-72 (in Chinese).
- [12] 薛其坤. 基础研究突破与杰出人才培养. 清华大学教育研究, 2021, 42(3): 1-6.
Xue QK. Basic research breakthrough and talent cultivation. Tsinghua J Educ, 2021, 42(3): 1-6 (in Chinese).
- [13] 黄敏, 陈炎辉. 拔尖创新人才培养的现实透视与多学科审思——基于 36 所“强基计划”试点高校的分析. 创新人才教育, 2021(3): 46-52.
Huang M, Chen YH. Realistic perspective and multidisciplinary reflection on the cultivation of top-notch innovative talents: analysis based on 36 pilot universities of the “Strengthening Basic Disciplines Plan”. Educ Innov Talents, 2021(3): 46-52 (in Chinese).
- [14] 许路阳, 胡皖琪, 兰陆红, 等. 透视强基计划内涵: 从“强化”到“自强”——以清华大学为例. 创新人才教育, 2020(3): 57-63.
Xu LY, Hu WQ, Lan LH, et al. Insight into the connotation of the strengthening basic disciplines program: from “strengthening” to “self-reliance”—take Tsinghua University as an example. Educ Innov Talents, 2020(3): 57-63 (in Chinese).
- [15] 刘海燕, 蒋贵友, 陈唤春. 我国拔尖创新人才选拔与培养的路径研究——基于 36 所高校“强基计划”招生简章的文本分析. 高校教育管理, 2021, 15(4): 93-100, 124.
Liu HY, Jiang GY, Chen HC. Research on the path to select and cultivate outstanding and innovative talents in China: based on the text analysis of enrollment profiles of the “Strengthening Basic Disciplines Plan” from 36 universities. J High Educ Manag, 2021, 15(4): 93-100, 124 (in Chinese).
- [16] 刘雪莲, 张占梅, 潘瑾, 等. 基于“大学生创新计划”的环境化学实验教学改革与优化探索. 教育教学论坛, 2017(18): 100-101.
Liu XL, Zhang ZM, Pan J, et al. Based on the “college students' innovation project” of the exploration on the reform and optimization of environmental chemistry experimental teaching. Educ Teach Forum, 2017(18): 100-101 (in Chinese).
- [17] 钱洁, 房健民, 陈志宏. 生物技术专业综合性和设计性实验教学改革与实践. 实验室研究与探索, 2014, 33(1): 207-210, 224.
Qian J, Fang JM, Chen ZH. Comprehensive and design-oriented laboratory courses for biotechnology students. Res Explor Lab, 2014, 33(1): 207-210, 224 (in Chinese).
- [18] 殷利眷, 王洪彬, 满淑丽, 等. 微生物学实验课程思政教学改革与探索. 生物工程学报, 2021, 37(4): 1434-1442.
Yin LJ, Wang HB, Man SL, et al. Ideological and political education in Microbiology Experiment: reform and exploration. Chin J Biotech, 2021, 37(4): 1434-1442 (in Chinese).
- [19] 娄慧玲, 杨熙, 尚凌月, 等. 以“学”为中心的基因工程实验混合式教学设计与实施. 生物工程学报, 2021, 37(8): 2956-2966.
Lou HL, Yang X, Shang LY, et al. Curriculum design and implementation of teaching in experimental genetic engineering blended course under the principle of learning-centered teaching. Chin J Biotech, 2021, 37(8): 2956-2966 (in Chinese).
- [20] 张寿德. 高校大型仪器设备在本科教学中的作用分析. 教育教学论坛, 2021(7): 33-36.
Zhang SD. Analysis of the role of large-scale instruments and equipment in undergraduate teaching. Educ Teach Forum, 2021(7): 33-36 (in Chinese).
- [21] 魏晓东, 于冰, 于海波. 美国 STEAM 教育的框架、特点及启示. 华东师范大学学报(教育科学版), 2017, 35(4): 40-46, 134-135.
Wei XD, Yu B, Yu HB. STEAM education in America: framework, characteristic and implication. J East China Norm Univ (Educ Sci Ed), 2017, 35(4): 40-46, 134 (in Chinese).
- [22] 朱菲, 陈祖满, 胡升. 首要教学原理指导下的“食品专业英语”课程混合式教学模式探究. 农产品加工, 2020(6): 97-99, 102.
Zhu F, Chen ZM, Hu S. First principles of instruction guided exploration of blending learning mode in Food Professional English course. Farm Prod Process, 2020(6): 97-99, 102 (in Chinese).

(本文责编 陈宏宇)