

# 基于“五位一体”新工科智能信息化教学理念的微生物学线上线下混合式教学改革及实践

谢晖<sup>1</sup>, 应琼琼<sup>2</sup>, 董明皓<sup>1</sup>, 沈晓敏<sup>1</sup>, 朱守平<sup>1</sup>, 陈雪利<sup>\*1</sup>

1 西安电子科技大学生命科学技术学院, 陕西 西安 710126

2 西安交通大学附属中学, 陕西 西安 710043

谢晖, 应琼琼, 董明皓, 沈晓敏, 朱守平, 陈雪利. 基于“五位一体”新工科智能信息化教学理念的微生物学线上线下混合式教学改革及实践[J]. 微生物学通报, 2022, 49(4): 1386-1396

Xie Hui, Ying Qiongqiong, Dong Minghao, Shen Xiaomin, Zhu Shouping, Chen Xueli. Online and offline blended teaching for the national first-class blended course of Microbiology based on the “five-in-one” intelligent information teaching concept of emerging engineering[J]. Microbiology China, 2022, 49(4): 1386-1396

**摘要:**近年来,在教育部提出的“一流课程”建设背景下,涌现出了大量的混合式课程。作者团队通过近10年的本科生持续课程培养研究及分析,结合理工科院校背景及信息工程领域优势,初步建立起一套适用于当今“互联网+”背景下的“五位一体”微生物学课程混合式教学体系。课程基于新工科特色内容重构,有效打通了生命科学和工科类课程的联系;随后基于多维度信息化资源,为学生提供分层级和多元化的选择方式;线下开展的高阶性教学活动,为学生科研创新能力打下基础;课程中有效融合系统性育人要素,正确树立学生的价值导向;最后利用大数据开展形成性教学评价,为学生的全过程个性化学习质量保驾护航。该课程基于上述内容持续开展的改革和实践,在不断实践探索中取得了较好的成效。

**关键词:**五位一体;混合式教学;智能+教育;新工科课程

**基金项目:**国家自然科学基金(62007026);2022年陕西省自然科学基金重点研发项目(2022GY-313);2021年陕西省高等教育教学改革项目(21ZZ008,21BZ013);2021年陕西省高等教育学会教学研究项目(XGH21059);西安电子科技大学研究生教育教学改革项目;2021年西安电子科技大学教育教学改革重点攻关项目

**Supported by:** National Natural Science Foundation of China (62007026); Key Research and Development Project of Shaanxi Natural Science Foundation in 2022 (2022GY-313); Shaanxi Higher Education Teaching Reform Projects in 2021 (21ZZ008, 21BZ013); Shaanxi Higher Education Society Teaching Research Project in 2021 (XGH21059); Graduate Education and Teaching Reform Project of Xidian University; Key Research Project of Education and Teaching Reform of Xidian University in 2021

**\*Corresponding author:** E-mail: xlchen@xidian.edu.cn

**Received:** 2021-10-18; **Accepted:** 2022-02-19; **Published online:** 2022-02-24

# Online and offline blended teaching for the national first-class blended course of Microbiology based on the “five-in-one” intelligent information teaching concept of emerging engineering

XIE Hui<sup>1</sup>, YING Qiongqiong<sup>2</sup>, DONG Minghao<sup>1</sup>, SHEN Xiaomin<sup>1</sup>, ZHU Shouping<sup>1</sup>, CHEN Xueli<sup>\*1</sup>

1 School of Life Science and Technology, Xidian University, Xi'an 710126, Shaanxi, China

2 The High School Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710043, Shaanxi, China

**Abstract:** In recent years, a large number of blended courses have emerged under the background of developing “first-class courses” (Ministry of Education). Through the research and analysis of courses for undergraduates in the past decade, and via the advantages of information engineering in the science and engineering universities, we developed a “five-in-one” blended teaching system for the course of Microbiology suited to the “Internet+” era. Based on the reconstruction of the characteristic content of the emerging engineering, it effectively integrated life science into engineering courses. Then, with multi-dimensional information resources, it provided students with hierarchical and diversified choices. The advanced offline teaching activities laid a foundation for the scientific research and innovation ability of students. The systematic ideological and political education in the course helped students develop correct values. Finally, big data was used for formative teaching evaluation, ensuring the personalized learning quality of students in the whole process. Based on the continuous reform and practices, we have made major headway.

**Keywords:** five-in-one; blended teaching; intelligence+education; emerging engineering courses

2019年10月,教育部印发了《关于一流本科课程建设的实施意见》,同时发布了《“双万计划”国家一流本科课程推荐认定办法》<sup>[1]</sup>,如何基于学生需求重构内容、有效整合资源、创新性开展混合式教学实践是建设一流本科课程的重点。由于理工类院校学生对工程应用、产业需求、技术的创新、前沿科技的进展更为关注。尤其是在近年来科技革命和产业变革正在迅速重构全球创新经济版图的大背景下,国家推动了一系列重大创新,如“一带一路”“中国制造2025”和“互联网+”等。因此,以新技术、新业态、新模式、新产业的“四新”为代表的国内外形势对我国工程科技人才的培养提出了更高的

要求。

在新的形势发展背景下,理工类院校学生对于课程学习的深度和广度需求日益增长。一方面,学生希望所学知识能够与国内外发展形势紧密接轨,希望所学培养方案核心课程间紧密结合、交叉运用;另一方面,学生希望所学知识可以应用于工程实践,对其后续工作和深造打下良好基础。然而,目前部分理工类课程由于面临人才培养定位不明确、课程育人元素缺失、新工科学科交叉元素缺乏、线上学习资源有限、线下学习形式单一、课程及教材内容相对滞后、应试内容主导课程评价等问题,很难有效激发学生的学习积极性并提升课程的学习

习效果。因此,从内容、资源、形式、育人及评价等方面着手开展课程改革已成为当前教学需要重点关注和解决的问题。

作者团队近年来一直从事微生物学教学改革研究等工作,初步具备了一定的基础<sup>[2-4]</sup>。通过近10年的本科生持续课程培养研究及分析,结合理工科院校背景及作者所在院校的信息工程领域优势,以培养具备新工科特色生命科学人才为基本方向,初步建立了基于“互联网+”背景融合新工科内容、多维度资源、高阶性教学、育人性内涵及全过程评价的课程教学体系<sup>[4-5]</sup>,并陆续推广至校内外部分工科生化类课程改革应用,取得了一定的成效。

## 1 现代工科微生物学课程情况介绍

现代工科微生物学是西安电子科技大学生物技术专业的专业核心必修课程,也是生物医学工程及智能医学工程专业的专业核心限选课程,采取分班教学,班级人数一般为20-40人,小班教学。另外,课程部分内容同时作为公选课内容面向全校计算机、电子信息、通讯类专业学生开放学习,班级人数一般为80-120,人大班教学。由此可见,课程的受众面很大,而且主要面向对象为工科背景学生。作为专业课程内容在第5学期与微生物学实验课同步开设,学时数为48学时(32线下+16线上),课程采取以素质能力及过程学习为导向的多元化评价,期末闭卷考试成绩仅占总成绩的30%,同时参考课堂学习参与度(20%)、线上学习大数据智能评价(20%)、小组翻转研讨(10%)、虚拟仿真实践(10%)、竞赛项目成果(10%)等多种手段展开课程综合评价。课程内容结合我校工科背景及信息工程领域优势,以培养具备新工科特色的工科应用生命科学人才为基本方向,分别从微生物类群形态、营养代谢、生长与工程控制、

遗传育种、微生物生态、免疫、微生物制药、微生物生物技术、微生物生物信息学、微生物人工智能、微生物前沿工程应用进展以及微生物在其他工程领域的应用等多个方面展开讲授(图1)。全方位突出新工科应用特色、学科交叉特色、紧密联系工程应用实际(表1)。结合新工科智能信息化教学体系,使学生在有限的课堂时间外高效、积极掌握所学知识。在完成课程学习后全面掌握微生物生长基本规律机制基础理论;利用工科思想解决微生物工程应用实际问题的能力;运用信息学完成微生物大数据分析及智能建模预测的学科交叉能力等。课程旨在培养学生在知识目标上达成全面掌握微生物基本规律机制基础理论;在能力目标上达成运用工科思想解决微生物工程应用实际问题的学科交叉能力;在素质目标上达成通过体系化课程育人手段潜移默化培养学生立足微生物-电子信息交叉领域,具有人类命运共同体格局、国际视野、有理想担当的新工科背景下社会主义科研创新人才。

## 2 “五位一体”教学体系的建设及应用

微生物学课程由课程内容重构(新工科特色内容)、课程资源整合(多维度信息化教学资源)、课堂多元化组织(高阶性教学活动)、课程育人目标(内涵式课程育人内容)、学习精准性评价(学习过程评价分析及个性化教学)五方面构成。下文将详细阐述《微生物学》课程“五位一体”教学体系的具体内容及部分应用实例。

### 2.1 以“新工科”背景特色教材为辅助

由于工科生思维的建立往往以实践问题为导向,所以工科院校相对综合、农林、医学及师范院校生物类专业的本科生培养存在一定差异<sup>[4,6]</sup>。因此,作者团队根据工科院校本科生特点,针对性地编写并出版了新工科交叉微生

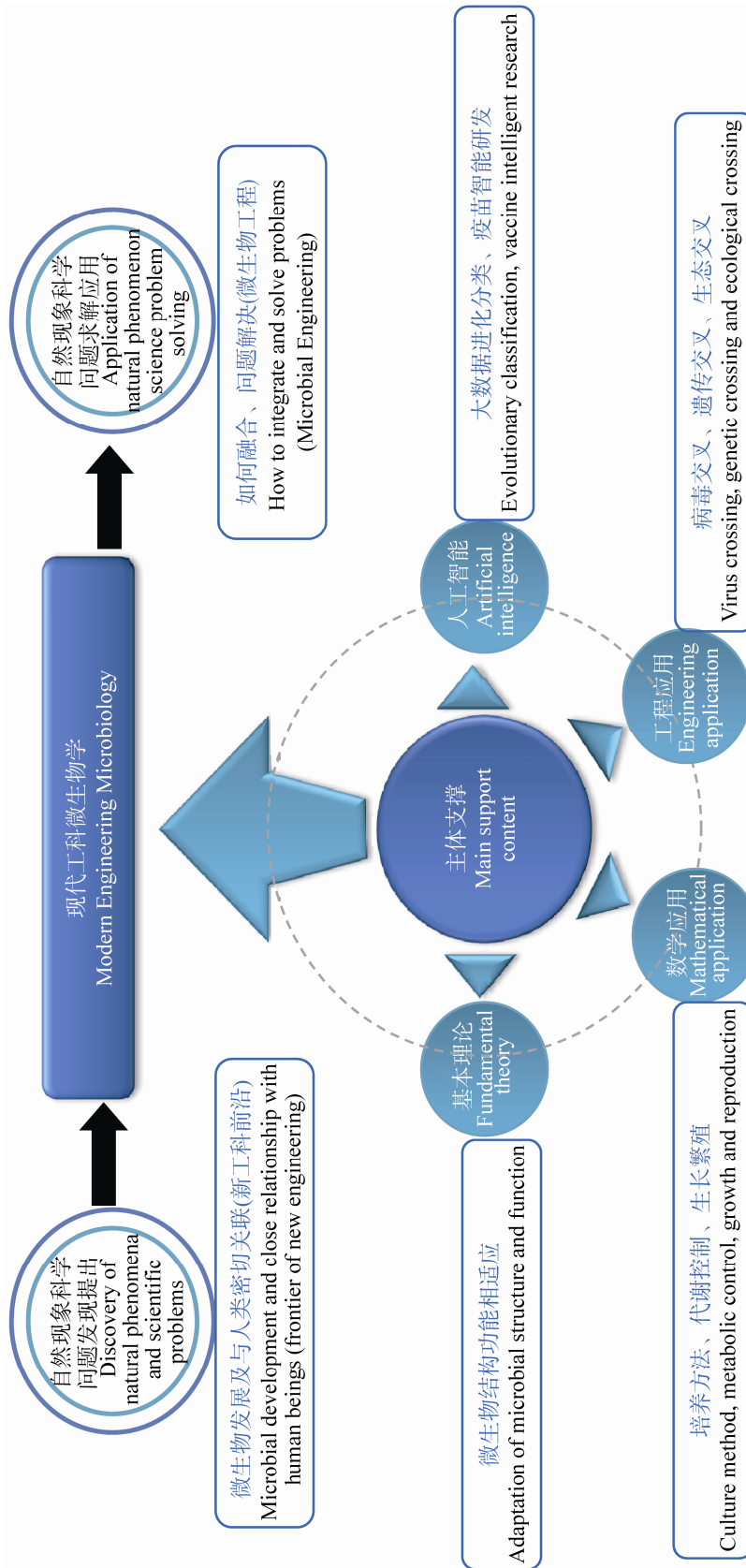


图 1 课程总体内容框架  
Figure 1 Overall content framework of the course.

表 1 教材授课内容及课程组织实施情况一览

Table 1 List of teaching materials, teaching contents and course organization and implementation

序号 No.	章节名称 Chapter name	线下学时+ 线上学时 Offline+online	新工科特色 New engineering features
1	第一章 绪论 Chapter 1 Introduction	2+0	微生物学新工科应用前沿进展 Advances in new engineering applications of Microbiology
2	第二章 微生物的形态和结构 Chapter 2 Morphology and structure of microorganisms	4+1	微生物特殊功能形态结构功能研究学科交叉应用 Interdisciplinary application of microbial special function morphological structure function research
3	第三章 微生物营养及实践应用 Chapter 3 Microbial nutrition and practical application	3+1	基于数学统计学的微生物培养基优化及工程应用 Optimization and engineering application of microbial culture medium based on mathematical statistics
4	第四章 微生物产耗能代谢应用 Chapter 4 Microbial energy production metabolism and application	3+1	微生物发酵作用实践应用及产业应用 Practical application and industrial application of microbial fermentation
5	第五章 微生物的生长及其控制 Chapter 5 Growth and control of microorganisms	4+2	基于微积分理论、数学模型及数学参数的生长繁殖控制研究 Study on growth and reproduction control based on calculus theory, mathematical model and mathematical parameters
6	第六章 病毒学基础 Chapter 6 Basic virology	3+1	基于人工智能建模分析的病毒宿主预测及医学应用 Virus host prediction based on artificial intelligence modeling and analysis and its medical application
7	第七章 微生物遗传学 Chapter 7 Microbial genetics	4+2	微生物遗传、生物信息学、基因工程应用的融合交叉应用 Fusion and cross application of microbial genetics, bioinformatics and genetic engineering
8	第八章 微生物生态学 Chapter 8 Microbial ecology	1+1	微生物环境治理的工程应用基础 Engineering application basis of microbial environmental treatment
9	第九章 微生物的进化分类 Chapter 9 Evolutionary classification of microorganisms	4+2	基于大数据和算法优化的微生物系统进化研究 Research on microbial system evolution based on big data and algorithm optimization
10	第十章 感染与免疫 Chapter 10 Infection and immunity	2+2	信息化技术交叉的免疫学医学应用及药物智能研发 Application of information technology in immunology and medicine
11	专题 微生物生物技术 Special topic Microbial biotechnology	0+2	微生物工程应用拓展 Fundamentals of microbial engineering application
12	专题研讨 Seminar	2+1	随当年度热点问题灵活变化 Flexible changes with hot issues of the year

物学教材。一方面通过二维码形式整合大量信息化学习资源(慕课、虚拟仿真模块、拓展资料、题库、前沿进展、产业动态等)。另一方面,紧密结合工科院校学生知识框架,融入大量新工科背景下的生命科学知识内容。例如在“微生物生

长所需营养物质”部分结合数学统计学、正交优化设计学习培养基优化内容的学习;在“微生物系统进化”内容中,引入系统发育树构建的科研拓展,结合学生的课程内容(计算机编程、计算机算法等课程),增加系统进化算法优化等内容。

## 2.2 多维度信息化教学资源建设

基于上述“新工科”内容重构基础,我们课程团队针对性地建立多维度信息化学习资源平台,在“课前-课中-课后”为学生提供全套信息技术及资源支持:课程公众号实时推送知识点前沿进展、学生优秀作品展示、知识拓展等内容;主编信息化教材、线上慕课及课程海量分级题库、全员在线研讨话题、学习平台线上答疑、课程核心知识点虚拟仿真模块、“三全育人”评价平台 PC 端及移动端等资源协助学生及教师有效掌握教学情况,灵活开展针对性、个性化学习,同时为教师开展科学的过程性评价提供依据。课程资源通过整合、分类和分级以满足不同能力及不同需求的学生。确保学生在学习中灵活开展分层级、多元性、个性化学习,从而保证学习效果。

## 2.3 高阶性教学活动

基于布鲁姆认知金字塔理论,在线下课堂教学活动中构建了“以学生为中心”的四层级高阶教学活动。在基础认知维度层面加强学生基本概念、原理的理解,授课过程中依托移动端平台辅以知识点客观题目推送,在夯实学习内容的同时,使学生时刻保持上课注意力;在知识交叉运用层面,授课过程将核心知识点融入计算生物学、信息学及人工智能等技术协助学生建立跨学科交叉思维;在实践应用拓展层面,通过对核心知识点的虚拟仿真实操化、科研转化教学及知识点转化产业应用等方式开展研讨、报告等多样化学习活动;在高阶能力创新层面,基于前沿科研进展及产业化应用内容,引导学生自主学习独立解决问题的能力,以翻转课堂及项目导向等形式开展深度新型教学活动,同时将部分重要内容整合至平时作业及期末考试中,初步达成综合创新能力的提升<sup>[7-8]</sup>。以“化学药物控制微生物生长繁殖”重点知识教

学活动为例:首先以抗菌机制问题引入讲解,结合知识点匹配的客观题目开展移动端随堂考核巩固基础知识内容;随后基于抑菌机制问题及相关前沿进展开展 2-3 人为研讨小组的小翻转课堂,引导学生自主思考抗药性机制并分组汇报(其中针对公选课 40 人以上大班教学课堂采取“雨课堂”等移动端,以小组为单位提交讨论结果,教师投屏选择性分享讲评);再以研究项目为导向,以师生共研讨形式学习人工智能-生命科学大学科交叉的抗菌药物筛选方法,建立学生学科交叉思维;最后辅以核心知识点虚拟仿真模块线上资源——“微生物制药工程”虚拟仿真模块,使学生基于大学科交叉方法在药物研发中开展一定程度的应用。课后学习提升和期末考核等内容中,融合灵活性较高的学科交讨论题、拓展文献阅读、实验设计及计算题完成对学生的重难点知识掌握灵活性考核。

## 2.4 建立三层级理工类课程育人内容

理工类课程知识学习的基本要点在于“理论—方法—应用”。即先学习基础知识,随后掌握方法及原理,最后灵活将知识方法应用于工程实践及研究中。从源头来讲,通过课程育人达到树立学生的正确三观、激发学生的爱国热情等均是理工类课程思政建设的方向;从本质上来讲,理工类课程属于自然科学大类,自然科学的内容离不开辩证唯物主义理论的支持和延伸;从实践来讲,理工类课程以科学认识、实际应用和问题解决作为落脚点,做好理论转化实践、激发学生的创新精神及培养学生的工匠精神也是理工类课程育人需要重点关注的问题。基于上述分析,作者团队初步构建了以“理论情怀—方法拓展—应用提升”三层级理工类课程育人框架(图 2),其中理论情怀层包含科研进展、产业应用、国家政策、家国情怀。穿插相

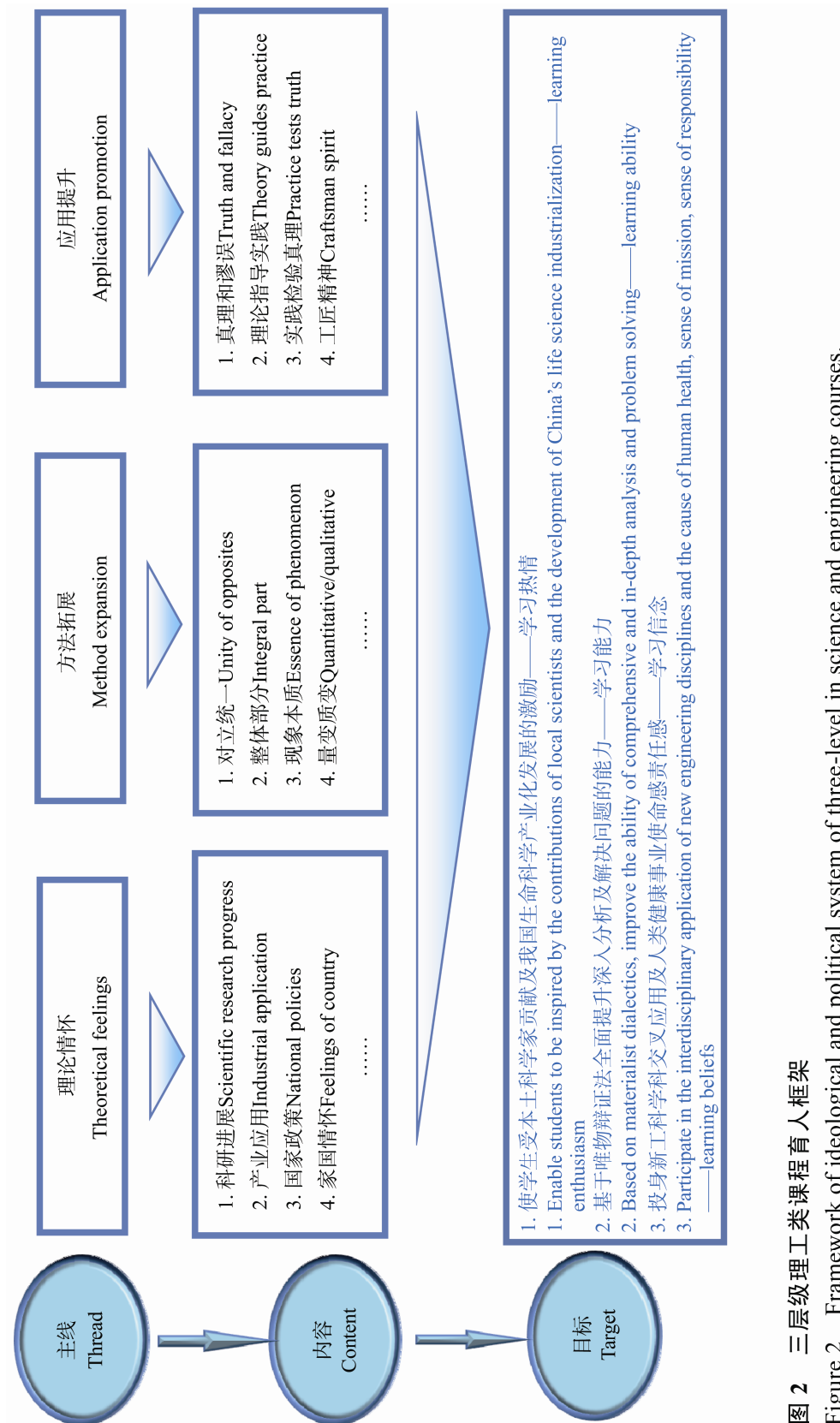


图 2 三层级理工类课程育人框架

Figure 2 Framework of ideological and political system of three-level in science and engineering courses.

美国内外前沿进展及国内领军生命科学产业化进展, 培养爱国热情、专业兴趣和创新精神, 例如我国首位诺贝尔生理学或医学奖获得者屠呦呦教授的研究内容和个人经历等内容。方法拓展层包含基于辩证唯物主义理论的矛盾对立统一、真理和谬误、整体和部分、现象和本质、量变和质变等内容, 以培养学生具备扎实的理论基础、严谨的思维、审慎的批判精神等, 例如基于新型冠状病毒原始宿主的出现现象和最终经历变异后感染人类本质的深度学习等内容。应用提升层包含理论指导实践、实践检验真理、科研转化教学等内容, 以培养学生学科交叉科研创新能力, 例如“微生物发酵工程”重点知识教学活动中基于核心知识点配套的抗生素生产工艺流程虚拟仿真模块、引入知识点相关分析软件、数据库的实操分析等内容。

## 2.5 形成性学习评价促进个性化教学实施

信息化平台教学是国家信息化教育战略的

重要实践内容, 对学生实践能力和创新能力的培养尤为重要。多数信息化平台在线平台仅能直观反映学生的在线时间、操作得分等简单的学习行为数据, 信息化平台实验课程评价标准过于单一, 无法全面反映学生的学习水平, 难以做到个性化精准评价。因此, 作者教学团队建立了课程在线智能学习评价模型, 精准评价学习效果能够帮助教师和学生更好地掌握线上学习效果, 有效提高线上线下的学习质量。教学团队基于学生在线学习“行为—轨迹—能力”多模态特征<sup>[3-4]</sup>, 选取学习者 82 种典型信息行为为实施评价分析, 基于深度学习技术建立精准人工智能评价模型, 有效量化了学生的课程学习效果, 公平公正评价学生的学习过程, 如图 3 所示。在此模型中, 基于学生学习行为、学习轨迹、学习力量化数据建立多模态评价模型。在学生学习过程中监测评价学生学习效果, 实现在线学习过程的精准化、个性化并实时化地评价、

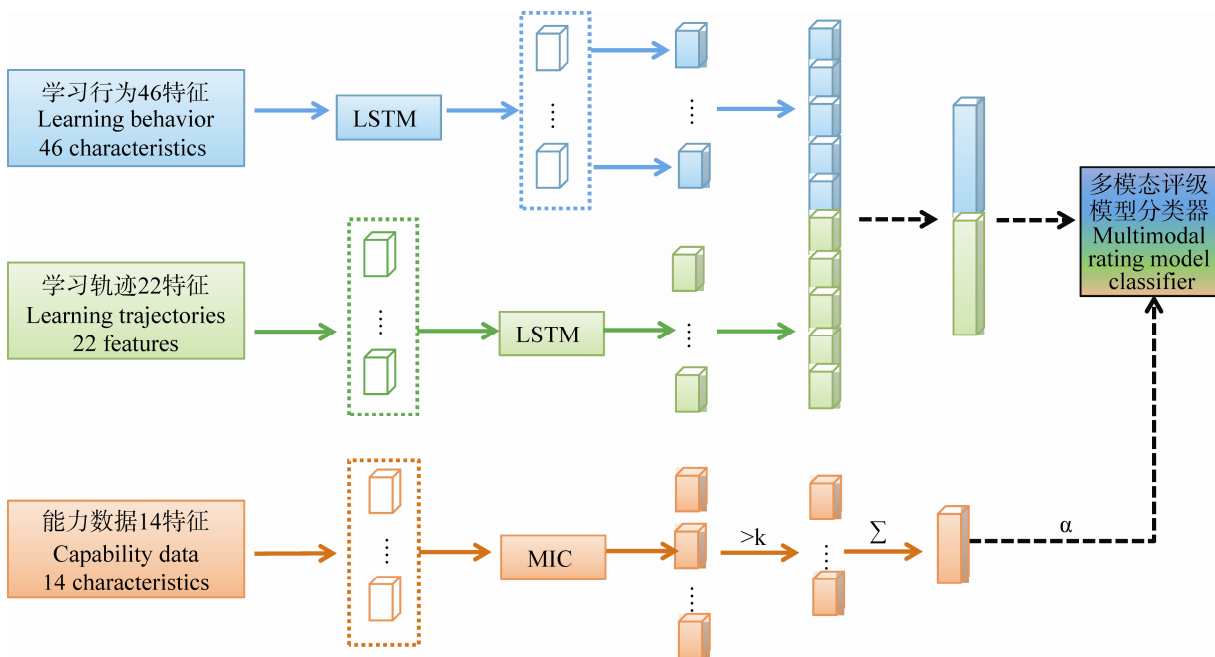


图 3 微生物学课程学习效果智能评价技术路线

Figure 3 Technical route of intelligent evaluation of microbiology course learning effect.



监督、预警和学习方案调整。课程评价为整学期实时进行,每阶段课程结束后均会依托团队研发交互平台向学生推送评价成绩及个性化学习调整方案,学习效果评价准确度达90%以上。课程已连续4年将智能评价成绩纳入课程总成绩中。

为了更好地掌握学情,开展课前学习智能评价情况分析、优势分析、兴趣点分析、预警分析,便于教师针对课程内容和学生学情选取个性化教学策略。例如以“微生物系统进化”重点知识教学活动为例:首先依托82个线上学习显著特征相进行六维度评价归类,结果显示(图4):班级学生的能力达成预测评价(80.33)、基础知识掌握预测评价(87.58)、学习活跃度预测评价(88.69)均分达到80分以上,证明学生对本知识点的基础内容掌握较好,同时对该部分

的兴趣度及自主学习程度高,对本节内容有强烈的深度学习兴趣和实践需求。但是学生的先修基础预测评价(66.75)和核心知识掌握预测评价(65.52)分数较低,证明该部分的重难点内容对多数学生难度较大,不能很好地掌握。根据上述评价结果可以看出,学生对重点核心知识的掌握薄弱,如对系统进化指征的灵活选取问题掌握粗浅,无法进一步开展微生物系统发育树构建及算法优化的深度学习和实践。如果直接开展大翻转课堂将主动权交给学生,则可能因为学生核心知识薄弱而无法开展深入学习。因此,教师可基于上述评价参考灵活应用“对分课堂”形式,线下课堂首先重点讲授拓展系统发育相关核心知识点及科研应用,随后安排小翻转课堂形式完成系统发育树构建算法优化的前沿问题学习研讨、学科交叉拓展汇报的内容。

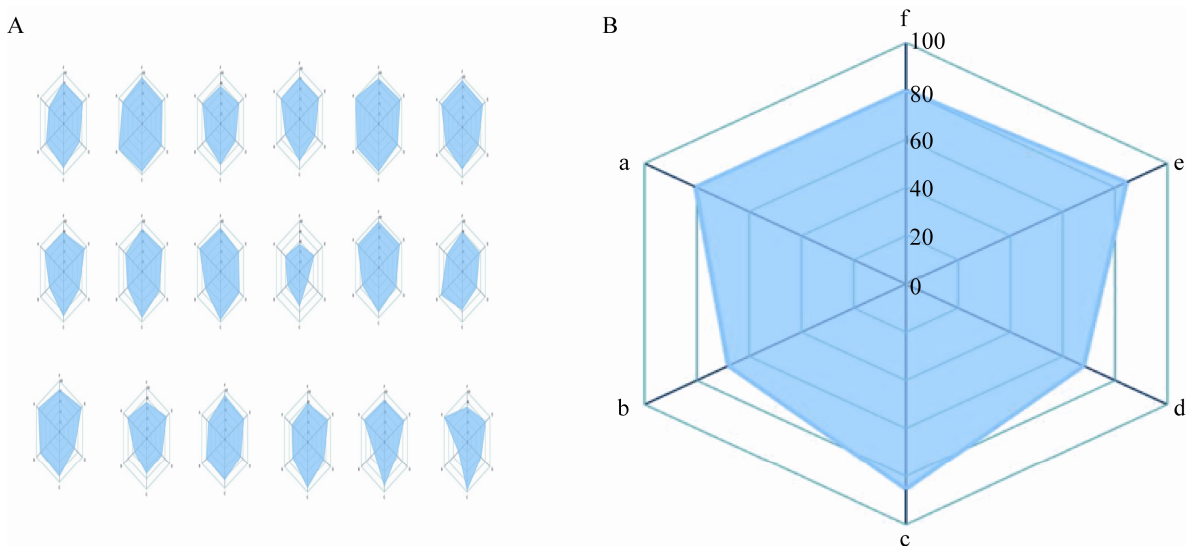


图4 个人学习能力预测(A)及班级整体学习情况智能评价可视化分析(B) a: 能力达成预测评价(80.33); b: 先修基础预测评价(66.75); c: 基础知识掌握预测评价(87.58); d: 核心知识掌握预测评价(65.52); e: 学习活跃度预测评价(88.69); f: 线上大数据总体量化评价(81.17)

Figure 4 Prediction of individual learning ability (A) and visual analysis of intelligent evaluation of overall class learning (B). a: Ability achievement prediction evaluation (80.33); b: Prerequisite basic prediction evaluation (66.75); c: Basic knowledge mastery prediction evaluation (87.58); d: Core knowledge mastery prediction evaluation (65.52); e: Online learning activity prediction evaluation (88.69); f: Overall quantitative evaluation of online big data (81.17).

### 3 基于“五位一体”的课程改革成效

#### 3.1 学生的学习积极性显著提高, 学习成效显著提升

课程通过分析各批次学生在线学习产生的数据变化进行量化评价。之后分别将数据以五维雷达图显示其能力变化率, 结果发现, 与传统线下方式组学生的学习积极性相比, 混合式学习组学生学习积极性及学习效果显著提升<sup>[3,9]</sup>。同时, 近5年来的教学改革较好地激发了学生对微生物学研究的兴趣, 学生在参加课程相关各类科技项目、科技竞赛、竞赛获奖、报考课程相关方向研究生、发表课程及学科交叉相关科研论文等方面较五年前均有显著提升(图5), 先后获得全国生物医学工程竞赛一、二等奖; 挑战杯全国大学生科技作品竞赛一、二、三等奖; 全国及陕西省互联网+竞赛金奖、银奖等诸多荣誉。课程满意度问卷调查显示学生对该课程学习的整体满意度较高, 普遍认为课程在激发自身的深度学习积极性、提升自身的学习能力上发挥了较好的潜在作用<sup>[9-11]</sup>。这也从侧面体现了课程改革稳定的人才培养质量过程。

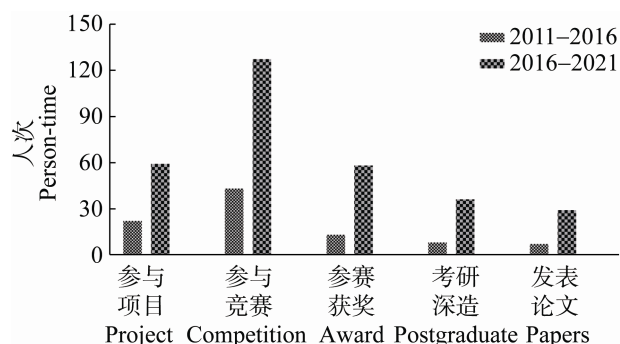


图5 基于课程改革下的学生综合能力提升对比  
Figure 5 Comparison of students' comprehensive ability improvement based on curriculum reform.

#### 3.2 课程建设成效明显, 由单一课程改革向课程群改革转变

在近年来不断的课程改革实施过程中, 该课程先后获批国家级混合式一流课程, 全国高校混合式教学创新大赛一等奖、陕西省课堂教学创新大赛一等奖、陕西省疫情期间在线教学典型案例、陕西省教学成果二等奖、陕西省课程思政示范课程等荣誉。我们课程团队教师主讲的其他课程也陆续获批陕西省线下一流课程、陕西省虚拟仿真一流课程认定, 并先后获得国家级教学竞赛一等奖和陕西省教学创新竞赛一等奖、三等奖多次。作者团队主编的6本新工科特色生物类系列规划教材广泛应用于多个工科高校中。逐步形成了以点带面、齐头并进的课程群总体改革趋势, 为后续的新工科生物类课程教学改革打下了初步的理论及实践基础。

### 4 结语

近年来, 随着信息技术和互联网的飞速发展, 其对高等教育的影响也逐步深入。作者团队将不断持续性建设和完善“微生物学”混合式课程, 并将方法思路逐步融入工科院校微生物学及其他生物类课程教学实践中, 以努力实现混合式教学向精细化、个性化学习和过程性形成性评价的转型。此后, 我们将进一步学习参考国内外经典信息化混合教学理论成果及同行优秀的混合教学经验, 逐步完善课程体系并为其其他工科院校生物类专业课程提供改革思路, 努力提升新工科背景下生命科学领域的人才培养质量。

### REFERENCES

- [1] 中华人民共和国教育部. 教育部关于一流本科课程建设的实施意见[EB/OL]. [2019-10-24] [2019-10-30]. <http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t2019>

- 1031\_406269.html  
The Ministry of Education of the People's Republic of China. Implementation opinions of the ministry of education on the construction of first-class undergraduate courses[EB/OL]. [2019-10-24] [2019-10-30]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191031\\_406269.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201910/t20191031_406269.html) (in Chinese)
- [2] 谢晖, 詹勇华, 陈丹, 曾琦, 陈雪利, 沈晓敏, 徐欣怡, 梁继民. 基于网络微平台教学的微生物学实验精细化及个性化教学改革[J]. 微生物学通报, 2019, 46(1): 192-202  
Xie H, Zhan YH, Chen D, Zeng Q, Chen XL, Shen XM, Xu XY, Liang JM. The research of refinement and individuation in Microbiology Experiment teaching reform based on micro platform of online teaching[J]. Microbiology China, 2019, 46(1): 192-202 (in Chinese)
- [3] 谢晖, 罗艳霞, 沈晓敏, 应琼琼, 陈雪利. 虚拟仿真课程的“行为-能力”双模态智能评价: 以“现代工科微生物学仿真实验”课程为例[J]. 现代教育技术, 2020, 30(10): 105-111  
Xie H, Luo YX, Shen XM, Ying QQ, Chen XL. The “behavior-capability” bimodal intelligent evaluation in the virtual simulation courses: taking the course of “modern engineering microbiology simulation experiment” as an example[J]. Modern Educational Technology, 2020, 30(10): 105-111 (in Chinese)
- [4] 谢晖, 詹勇华, 曾琦, 陈丹, 徐欣怡, 陈雪利. 基于人工智能技术的生命科学类虚拟仿真实验课程学习评价研究[J]. 高校生物学教学研究(电子版), 2021, 11(1): 35-41  
Xie H, Zhan YH, Zeng Q, Chen D, Xu XY, Chen XL. Research on the whole process evaluation of biology virtual simulation experiment course based on artificial intelligence technology[J]. Biology Teaching in University: Electronic Edition, 2021, 11(1): 35-41 (in Chinese)
- [5] 杨帆, 陈萍, 何群力, 邓保国, 魏纪东, 赵林静. 建构主义教学模式在医学微生物学教学实践中的应用[J]. 微生物学通报, 2010, 37(1): 133-136  
Yang F, Chen P, He QL, Deng BG, Wei JD, Zhao LJ. Application of constructivist teaching in Medical Microbiology[J]. Microbiology China, 2010, 37(1): 133-136 (in Chinese)
- [6] Li XM, Song SQ. Mobile technology affordance and its social implications: a case of “Rain Classroom”[J]. British Journal of Educational Technology, 2018, 49(2): 276-291
- [7] Cantabella M, Martínez-España R, Ayuso B, Yáñez JA, Muñoz A. Analysis of student behavior in learning management systems through a Big Data framework[J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 90: 262-272
- [8] Knoth IS, Lajnef T, Rigoulot S, Lacourse K, Vannasing P, Michaud JL, Jacquemont S, Major P, Jerbi K, Lippé S. Auditory repetition suppression alterations in relation to cognitive functioning in fragile X syndrome: a combined EEG and machine learning approach[J]. Journal of Neurodevelopmental Disorders, 2018, 10(1): 4
- [9] Yang S, Yin Z, Wang YG, Zhang W, Wang YX, Zhang JH. Assessing cognitive mental workload via EEG signals and an ensemble deep learning classifier based on denoising autoencoders[J]. Computers in Biology and Medicine, 2019, 109: 159-170
- [10] Macfadyen LP, Dawson S. Mining LMS data to develop an “early warning system” for educators: a proof of concept[J]. Computers & Education, 2010, 54(2): 588-599
- [11] Roy V, Shukla S, Shukla PK, Rawat P. Gaussian elimination-based novel canonical correlation analysis method for EEG motion artifact removal[J]. Journal of Healthcare Engineering, 2017, 2017: 9674712