

# “微”言大义，“智”周万物：“三智一体”式微生物学课程智慧教学模式探索

张宏扬，武陶，王素英，阮海华\*

天津商业大学 生物技术与食品科学学院 天津市食品生物技术重点实验室，天津 300134

张宏扬，武陶，王素英，阮海华. “微”言大义，“智”周万物：“三智一体”式微生物学课程智慧教学模式探索[J]. 微生物学通报, 2024, 51(9): 3749-3760.

ZHANG Hongyang, WU Tao, WANG Suying, RUAN Haihua. Profound truth and intelligent connotation contained in Microbiology: exploration on the intelligent teaching mode characterized by “trinity of intelligence” of Microbiology[J]. Microbiology China, 2024, 51(9): 3749-3760.

**摘要：**微生物学课程内涵丰富、外延广泛，在高等院校生物、食品、制药类专业人才培养过程中发挥着重要的理论奠基和实践引领作用，但存在传统教学模式与面向国家和地区行业发展需求的人才培养目标不够适配的问题。本教学研究基于近年来发展迅速的人工智能理念，创造性地将其融入经典“微生物学”课程教学中，打造无“微”不“智”、细“智”入“微”、见“微”“智”著的“三智一体”式微生物学课程智慧教学模式，渐进式提升学生智慧思维能力，助力创新型、应用型人才培养目标的实现。

**关键词：**微生物学；三智一体；智慧教学模式

资助项目：天津市普通高等学校本科教学质量与教学改革研究计划(B231006902)；天津市高等学校研究生教育改革研究计划(TJYGZ19)；天津市新一轮教学成果重点培育项目：面向绿色低碳冷链行业高层次卓越人才培养体系构建与实践；天津商业大学本科教育教学改革项目(TJCUJG2023038)；生物工程国家级一流本科专业建设

This work was supported by the Undergraduate Teaching Quality and Teaching Reform Research Project in Tianjin Normal Colleges and Universities (B231006902), the Graduate Education Reform Research Project in Tianjin Colleges and Universities (TJYGZ19), the Tianjin's New Round of Teaching Results Key Cultivation Project: Construction and Practice of a High-level Outstanding Talent Training System for Green and Low-carbon Cold Chain Industry, the Undergraduate Education Teaching Reform Project of Tianjin University of Commerce (TJCUJG2023038), and the Construction of National First-class Undergraduate Major of Bioengineering.

\*Corresponding author. E-mail: ruanhaihua@tjcu.edu.cn

Received: 2024-01-20; Accepted: 2024-04-14; Published online: 2024-05-17

# Profound truth and intelligent connotation contained in Microbiology: exploration on the intelligent teaching mode characterized by “trinity of intelligence” of Microbiology

ZHANG Hongyang, WU Tao, WANG Suying, RUAN Haihua\*

Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, School of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China

**Abstract:** With rich connotation and wide extension, Microbiology provides the theoretical basis and practical guidance in the cultivation of talents majoring in biological, food, and pharmaceutical sciences in colleges and universities. However, the current teaching mode of Microbiology is not suitable for the training goals of talents targeted at the development needs of national and regional industries. This study incorporated the concept of artificial intelligence, which has developed rapidly in recent years, into the teaching of Microbiology, creating an intelligent teaching mode characterized by “trinity of intelligence” (integration of intelligence into the teaching contents, evaluation of whole-process intelligent teaching, and progressive cultivation of intelligent thinking) of Microbiology. This teaching mode gradually improves students’ intelligent thinking and helps to achieve the goal of fostering innovative and application-oriented talents.

**Keywords:** Microbiology; trinity of intelligence; intelligent teaching mode

微生物学是食品科学、生物技术、制药工程等专业的必修基础课程<sup>[1]</sup>。作为一门经典课程,微生物学侧重于理论知识的传授和实验技能的掌握,旨在为学生建立起科学、系统的知识框架。然而,从服务国家战略、满足产业需求、面向未来发展的角度出发,经典微生物学的知识体系和教学模式对于实现新时代背景下的应用型、创新型人才培养目标略有差距,无法与当前的学科背景有机融合。立足新时代教育背景,探索和建立底蕴丰富、外延宽泛、能够充分反映时代发展特征的微生物学前沿融合课程十分重要<sup>[2-3]</sup>。基于学科交叉发展的必然趋势,如能将微生物学课程与其他领域的重要前沿理论融合,在授课过程中潜移默化地向学生传授融合知识的深刻内涵,将在很大程度上帮助学生突破固有思维疆域,在脑海中尝试构建

全新的全局性思维网络,有助于人才培养目标由传统学科导向转向产业需求导向,从专业分割转向跨界融合,从适应服务转向支撑引领<sup>[4-5]</sup>,从而培养具备更高素养的复合型、应用型创新创业人才。

人工智能是近年来迅猛发展的高新技术学科,是以计算机科学为基础、多学科交叉融合的最直接表现<sup>[6]</sup>。近年来,国家高度重视教育领域人工智能的发展及有效应用。2018年,教育部提出了《高等学校人工智能创新行动计划》<sup>[7]</sup>;2020年,有关部门印发的《深化新时代教育评价改革总体方案》明确提出,创新评价工具,利用人工智能、大数据等现代信息技术,探索开展学生各年级学习情况全过程纵向评价、德智体美劳全要素横向评价<sup>[8]</sup>。在当前新工科、新农科等不断建设和发展的过程中,人工智能

已较多地融入高等教育阶段的许多经典课程建设中,助力打造新学科集群。目前较多工科课程中通过教学理念、教学手段不断融入人工智能,赋能传统课程的改革和发展。西华师范大学基于人工智能时代对物联网复合人才的自适应培养需求,提出了一种交叉混合式自适应的融合型物联网课程教学设计方案<sup>[9]</sup>;根据新一轮信息通信科技革命和产业变革对“新工科”人才的需求,北京邮电大学创新教学理念,开设了无线通信与 AI 交叉的本科高新标杆专业课程“无线通信中的人工智能”<sup>[10]</sup>;这些都充分反映了人工智能在经典工科课程中的有效应用。作为未来的一种发展趋势,如能在微生物学课程中有机融入人工智能的重要理念及应用,对于开阔学生视野、提升科学思维和创新能力和把握未来生物行业发展趋势、全面提升人才培养质量,以及主动应对新一轮科技革命与产业变革、支撑服务创新驱动发展、输送高素质复合型创新创业人才具有十分重要的前瞻性指导意义。

基于此,本研究创新性提出了微生物学课程与人工智能有机融合的课程建设思路,构建无“微”不“智”、细“智”入“微”、见“微”“智”著的“三智一体”式微生物学课程智慧教学模式(图 1)。本研究以我校生物技术与食品科学学院本科三年级学生的“微生物学”课程为例,涉及生物工程、生物技术、制药工程、食品科学与工程、食品质量与安全这 5 个专业共计 360 余名学生,所使用教材为《微生物学教程》第 4 版(周德庆编著)<sup>[11]</sup>。课程学时数为 80 学时,包括理论课程 48 学时、实验课程 32 学时。本研究通过将微生物学现有课程内容进行有效的智能化整合并提出全过程教学智慧评价模型,为微生物学课程体系的进一步优化提供崭新思路,同时为同类型其他理工类课程与人工智能的有机融合提供借鉴。

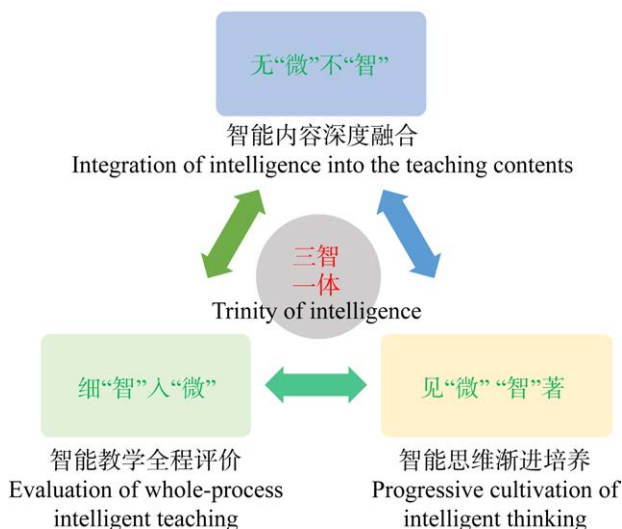


图 1 “三智一体”式微生物学课程智慧教学模式  
Figure 1 An intelligent teaching mode characterized by “trinity of intelligence” of Microbiology.

## 1 无“微”不“智”: 课程内容的智能融合

作为多学科多领域未来的发展方向,人工智能在“微生物学”课程中的体现已初见端倪。但如何将人工智能更加自然贴合、适时适度地融入“微生物学”课程,使融合过程更加广泛化、普遍化、具体化,既体现现有基础知识的层次脉络,又能够对现在概念进行有效拔高和补充,使微生物学教学中的每一章节都能有效体现人工智能的纵深度和必要性。

实现人工智能与“微生物学”课程的深度融合首先体现在具体的课程内容。主体内容共分为 10 章,从微生物的基本形态结构到生长特征,再到微生物的实际应用,均作出了生动具体的介绍。如何以每一章内容为主体依托,有效引入人工智能并突显出与该章节内容之间的密切关联十分重要。本部分内容深入教材内容,结合当今微生物领域的高新技术及人工智能发展趋势,在讲授过程中明确人工智能与微生物

学科发展的密切关联,将人工智能内容及概念有效融入其中(图2),打造无“微”不“智”的课程内容智能融合思路,引导学生在有效学习的同时,更能把握人工智能在本领域的最新前沿应用和发展方向,养成积极探索、勇于进取的科学态度,培养具备发散思维体系和创新融合意识的人才。

全部章节内容均可与人工智能理念进行较好的融合。以教材中的第一章和第二章内容为例,基于经典教学内容,结合与本章节内容密切相关的人工智能重要应用,重新制定并完善了教学目标、思政目标、育人目标,从这3个角度详细说明人工智能与教学内容的融合,阐述无“微”不“智”的课程实施可行性。

### 1.1 原核微生物的形态、构造和功能:全球微生物基因目录的人工构建

原核微生物是微生物学课程中学生首先接触到的概念,了解其形态、构造和功能是最基本的知识要求。在夯实基础的前提下,如何进一步提升能力、引导学生正确认识原核微生物的重要应用价值及发展趋势是本章节内容的重要任务。因此,我们在原有课程内容基础上,从人工智能与原核微生物密切关联的角度,引入了通过人工智能构建全球微生物基因目录的延伸学习内容,提高学生的课程认可度和专业敏锐度。

#### 1.1.1 优化课程目标

传统微生物学课程教学中,课程目标通常以专业内容为载体,引导学生了解并掌握对应的知识原理,熟悉应用。本教学模式下,我们将传统课程目标进行优化,在注重知识积累的基础上加强思维锻炼,让课程目标更具引导性。优化后的课程目标可分为三点:了解原核微生物的形态特征、结构功能及繁殖方式,熟悉常见的原核微生物的特点;了解不同类型原核微

生物具备明显的生境特异性和遗传表达特异性,明确原核微生物与人类生活的密切相关性及其重要的应用价值;认识到人工智能技术对于未来原核微生物研究的重要作用,了解全球微生物基因目录的概念及重要价值。

#### 1.1.2 重设思政目标

原核微生物章节的思政元素挖掘多聚焦于理论与实践相结合、弘扬科学家精神等内涵,可起到较好的思政引领作用,但较易落入窠臼。本教学模式通过在课程中适时引入人工智能理念,可从更具深远意义的角度教育和引导学生,重设思政目标:明确科学发展的必然趋势,勇于探索前人未入之境;原核微生物相关研究是一项兼具前瞻性和挑战性的基础研究,引导学生清晰认识基础研究是科技进步和科技创新的先导和源泉。

#### 1.1.3 完善育人目标

区别于以往的育人目标,本教学模式指导下,教师不仅让学生脑海中构建原核微生物的缜密知识体系,更引导学生养成唯物辩证的科学思维,了解原核微生物的利弊应用及发展进程;引导学生不但学会分析和解决原核微生物相关问题,还要了解此类问题的发展趋势和动向,成长为能够多角度思考问题、多途径解决问题的学生;通过建立课堂基础知识内容与智能延伸内容之间的纽带,引导学生成长为举一反三、懂得变通思维、善于发散思维、勤于动脑思考的新时代创新人才。

### 1.2 真核微生物的形态、构造和功能:人工智能揭示核孔结构

真核微生物是微生物学课程中学生需要深入学习的另一大类微生物,其形态、构造和功能同样是在课程教学中需要认真掌握的专业基础知识。作为教材中的第二章内容,本章节内容在结构层次上与第一章内容有诸多相似之





图2 微生物学课程章节智能融合模式图

Figure 2 Course chapter intelligent integration model diagram of Microbiology.

处, 因此如何有效区分二者的特征从而避免学生混淆记忆一直以来是教学中的重难点。我们在这两章内容基础上, 通过引入人工智能在真核生物领域的一类重要应用——人工智能揭示核孔结构来加深学生的记忆点, 并进一步说明人工智能和真核生物之间的密切相关性。这属于智能延伸中的内容, 如核孔就是核膜上呈复杂环状结构的通道, 对细胞核与细胞质之间的物质交换有重要调节作用。但是对于细胞结构十分精细的原核及真核细胞而言, 核孔的研究其实是比较困难的。基于 AlphaFold 和 RoseTTAfold 的人工智能技术结构预测技术可以很好地解决此问题, 极大地促进了人们对于跨空间组织级别亚细胞结构的了解, 为真核微生物的深入研究奠定了重要基础<sup>[13]</sup>。

### 1.2.1 优化课程目标

以往的真核微生物章节教学中, 课程重点在于了解掌握酵母菌和霉菌等重要真核微生物的形态结构、繁殖、菌落等特点, 以及重要真核微生物在生物工程及食品等领域的应用等。在此基础上, 本教学模式对其进行凝练和优化, 将课程目标概括为: 了解真核微生物的结构类别、表型特征及重要应用; 了解真核微生物与原核微生物的重要区别及内在规律; 了解人工智能在深入解析和鉴定真核微生物等研究中的重要应用。

### 1.2.2 重设思政目标

以往真核微生物的课程思政元素与原核微生物章节中的思政元素挖掘类似, 多聚焦于研究主体和研究过程。针对真核微生物这一章节, 本教学模式可提供全新的思政元素挖掘思路, 如学生不能单纯知道原核微生物和真核微生物之间的区别在于是否有核膜包被的细胞核, 更要了解其内在机制。即: 科学问题要通过现象看本质, 知其然更知其所以然; 解决问题的思

路不是唯一的, 旧现象也可以新解读, 经典问题同样能以新的方式加以阐述。

### 1.2.3 完善育人目标

通过真核微生物章节相关课程内容及智能延伸内容的学习, 培养学生从多个角度、多种方式诠释现象、解决问题, 打造具备适应经济社会发展、灵活变通新思维的创新创业人才。基于原核微生物和真核微生物之间的关系, 引导学生明确事物发展的必然规律, 培养清晰严谨的科学思维和思辨能力; 基于人工智能揭示核孔结构的概念引入, 引导学生明确科学发展以解决现实问题、攻克前沿难题为方向, 培养学生堪当大任、肩负使命的科研情怀; 引导学生不拘泥于理论课本, 了解微生物学的发展动向, 培养理论与实践相结合、知识与能力相结合、经典与前沿相结合的广阔视野。

## 2 见“微”“智”著: 智能思维的渐进培养

如何将人工智能理念有效地融入微生物学课程建设的全过程是提升课程建设质量的关键所在。微生物学课程有自身的特殊性, 该课程以内容讲授为主, 所以相较于技术层面的融合, 将人工智能理念与微生物学课程有机融合更为恰切, 也更适合微生物学课程的建设和发展趋势。基于经典微生物学建设理念, 突破传统教学思维局限, 助力学生培养全新智慧思维, 是微生物学课程与人工智能有机融合的重要尝试。

本研究面向的对象为我校本科三年级的生物工程、生物技术等专业学生。在学习本门课程之前, 学生已先修包括“Python 程序设计”“微生物资源开发利用”“普通生物学”“生物物理学”“基因工程”“生物化学”等多类基础和核心课程, 并且每学期都会参加 2 期由我校信息工



程学院、理学院、管理学院等优秀教师所开设与专业课程密切相关的前沿讲座,不断提升创新思辨能力。学生经过这些课程和讲座的学习,已初步形成一定的交叉融合思维,为“微生物学”课程中人工智能理念的有机融合奠定了一定基础。培养渐进思维以理论课程中的具体微生物学问题为出发点,在教师讲授完本章节内容之后,提出不同类型、恰切的科学问题,辅以人工智能的特点和优势,学生不受限制、天马行空地思考问题的解决路径,培养“智能反思型”“智能探究型”“智能演绎型”思维,提升学习效果,构建教育教学新生态。培养微生物学

智慧思维的核心点在于针对各种类型、已知或未知的微生物学领域内问题,是否可突破瓶颈,辅以人工智能的理念思路来加以解读或解决。培养学生不断开拓进取、锐意创新的学习态度。其中各类微生物学问题均源自微生物学课程,与微生物学教材内容有效关联,从而在最大程度上提升微生物学知识的维度和广度,增强延展性和探索性(图 3)。

本研究对智能思维的渐进式培养分为 2 个阶段:(1) 课堂环节。在教师完成授课内容后,学生对于教师提出的问题初步讨论,提出初步想法。(2) 课后环节。学生将课堂问题带到

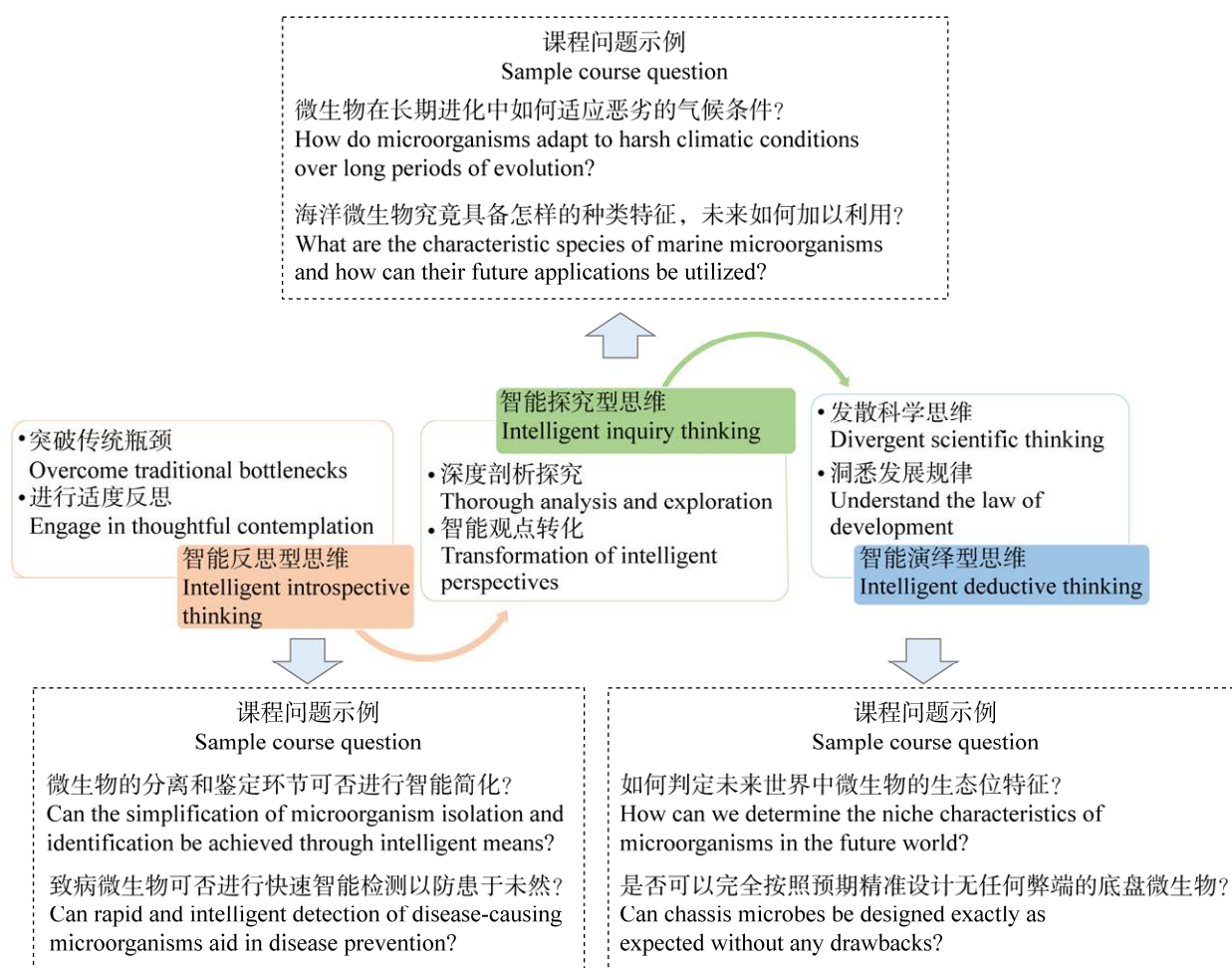


图 3 微生物学课程智能思维渐进培养模式图

Figure 3 The progressive cultivation model of intelligent thinking in Microbiology.

课后,结合课堂教师点评和学生互评进行小组文献查阅和延伸研讨,重新整合思路,在下次课前进行展示。通过两个过程的研讨,让学生基于课程教学内容深入问题,不做答案正确与否的规定,打通教师知识传授和学生思维拓展的关隘,真正实现智能思维的渐进培养。

## 2.1 智能反思型思维

微生物学技术发展日新月异,能够较好地用于解决各类微生物学问题。针对目前已解决的问题进行适度反思,突破传统瓶颈,思考传统解决思路和方式的优缺点,结合人工智能技术的巨大优势,探究此类微生物学问题是否可能从人工智能的角度更高效地辅予以解决。

问题示例:微生物的分离和鉴定是简单但却烦琐的两个独立工作环节,是否有可能极大地简化方法,将两个环节合并,缩减筛选时间周期?病原微生物无处不在,是否可设计高效智能的检测方法,在极短时间内鉴定出食品中、身体内的病原微生物种类及数量,从而防患于未然?诸如此类的问题在当前的研究中很常见,也存在多种为人们所熟知的解决方案,但在该过程中,时间成本往往会成为最大的限制因素。

通过对问题进行反思,从高效、快速、智能化的角度思考问题的解决路径,可有效提升学生举一反三、发散思维的能力,将复杂问题简单化、概念问题具象化、传统问题现代化,加深学生对现有知识体系的把握,为微生物技术手段的发展提供潜在的崭新思路,培养学生的思辨能力。

## 2.2 智能探究型思维

微生物学发展至今,即使技术成熟、方法先进,仍存在许多悬而未解的微生物学问题。这些问题的存在大多是因为尚未找到切实可行的解决思路,无法获得能够从理论和现实两重可行性上解决问题的高效方法。基于微生物学

课程知识所衍生出的各类前沿问题,引导学生深入探究,从智能角度思索解决路径,将复杂艰深的微生物学问题进行观念转化,由表及里,全方位、多层次、宽领域应用人工智能观念辩证剖析问题。

问题示例:微生物组成结构简单,如何在长期进化中适应恶劣的气候条件?海洋微生物究竟具备怎样的种类特征,未来如何加以利用?这些问题是近年来科学家关注的热点问题,对于科学的发展与人类社会的进步都具有至关重要的意义。但是迫于数据量的限制或环境因素的制约,无法获取更大的突破。此类问题对学生而言是困难且崭新的,通过思考,他们会进一步明确,解决这些问题的关键在于更加强化的方法和技术问世,通过海量数据搜索、模型构建、条件模拟等手段来尝试提出最可能、最接近、最科学的解决方式。人工智能势必在这方面能够贡献主要力量。

此类微生物学问题设置能够有效提升学生的探索欲和创新能力,是基于立德树人根本任务的有效尝试。基于书本知识去探究未来发展,培养学思结合、明辨创新的思维能力是课程育人的重要价值体现。通过将传统意义上相对枯燥的纯理论型微生物学课堂转变为钻研讨论性质的思辨探索型课堂,将微生物学课程还原为理工类课程原有的风貌,破除纯理论内容的繁冗,提高学生学习兴致和探索欲望,这是培养智能探究型思维的最终目标。

## 2.3 智能演绎型思维

奇妙的微生物世界远比人类想象中复杂多样。学生从课程教学中不难获知,微生物与人类息息相关,目前已广泛应用于工业生产、食品发酵、药物研发、临床治疗、农业养殖等领域。在未来的发展过程中,潜在、层出不穷的微生物学问题定会不断浮现。这些未知问题是



否可以被解决、如何未雨绸缪提前制定解决方案,这对于全人类而言都是重大的挑战。

问题示例:如何判定未来世界中微生物的生态位特征,是否有可能主导整个生态系统,未来微生物发酵中产率最高能提高到多少,是否可以完全按照预期精准设计无任何弊端的底盘微生物?诸如此类的问题无法被预知,但其未知性也代表了极大的可能性。在此类型问题中,学生在掌握了对应的专业基础知识的同时,教师可有效引导学生按照当今科技和社会的发展方向,尝试归纳演绎微生物学发展动向和规律,从第四次科技革命的角度,思考在微生物学领域引领未来发展方向的人工智能如何应用,提出自己的独特见解。

开放化、多元化的科学思维是基于过硬专业基础的升华目标,不设是非对错的标准,没有囿于当下的局限,让学生天马行空地思考,以主人公态度看待微生物的发展,看待人类社会的发展,从而积累更多宝贵经验,为传统学科转型升级、新兴学科有效融入、多类学科有机融合奠定重要思维基础。

### 3 细“智”入“微”:智慧教学的综合评价

“教”“学”相长是微生物学智慧教学中的最显著成果。本研究从学生、教师两重角色及课前、课中、课后三个环节出发,不拘于教材,不囿于课堂,基于课程内容的智能融合和智能思维的渐进培养,打造“教”与“学”全过程的复合评价模型(图4)。

对于学生而言,以学生的课程参与度和思维延伸度为衡量标准,基于学生在课前、课堂、课后3个环节的逻辑学习任务,评价查找内容的相关度、研讨思维的敏锐度、报告内容的思

考度,建立全过程智慧“学”评价模型。本评价以教师点评和学生互评结果作为依据,依照整个学期学生小组的报告频次和质量给予相应分数权重,评估学生对课程内容的理解和应用能力。学生报告以分组研讨形式进行,保证各小组有机会分享自己的观点,鼓励学生营造互相分享和讨论的氛围,让他们感到自己的意见和想法受到重视。此外,教师定期给予学生个人及学习小组以定向反馈和指导,帮助他们改进自己的学习策略和表达能力,从而全方位提高学生的课堂参与度和学习兴趣度。

对于教师而言,以整个教学流程的任务完成度和效果呈现度为评价依据,基于“智能反思型”“智能探究型”“智能演绎型”思维培养目标,评价课程起始的引领度、内容节奏的把控度、课程教学的自信度,建立全过程智慧“教”评价模型。教师依据课程内容,延伸出与之高度相关的丰富的智能化教学资源,更好地引导学生学习,提高教学效果。通过智慧提问,创造更具吸引力和互动性的教学环境,激发学生的学习兴趣 and 参与度。另外,教师可以更好地呈现微生物学的抽象概念和实验过程,通过前沿智能案例的解读,提高教学的生动性和实践性。

通过“教”与“学”的全过程综合评价,学生提升了学习效率,激发了学习兴趣,强化了创新思维,并将所思所感有效融入后续学习和实践环节,在多类科技活动中取得了理想的成绩。例如有学生将微生物技术与智能微流控技术巧妙融合,在“全国大学生化妆品创新大赛”中斩获佳绩;有学生团队通过构建智能化微生物筛选模型,在大学生生命科学竞赛中脱颖而出,等等。教师则能够“因地制宜”“有的放矢”,依照学生个人能力和兴趣开展针对性教学设计,在学生后续的毕业论文(设计)工作中,设置更加开放、多元的选题,含有“智能化”“生物智造”等

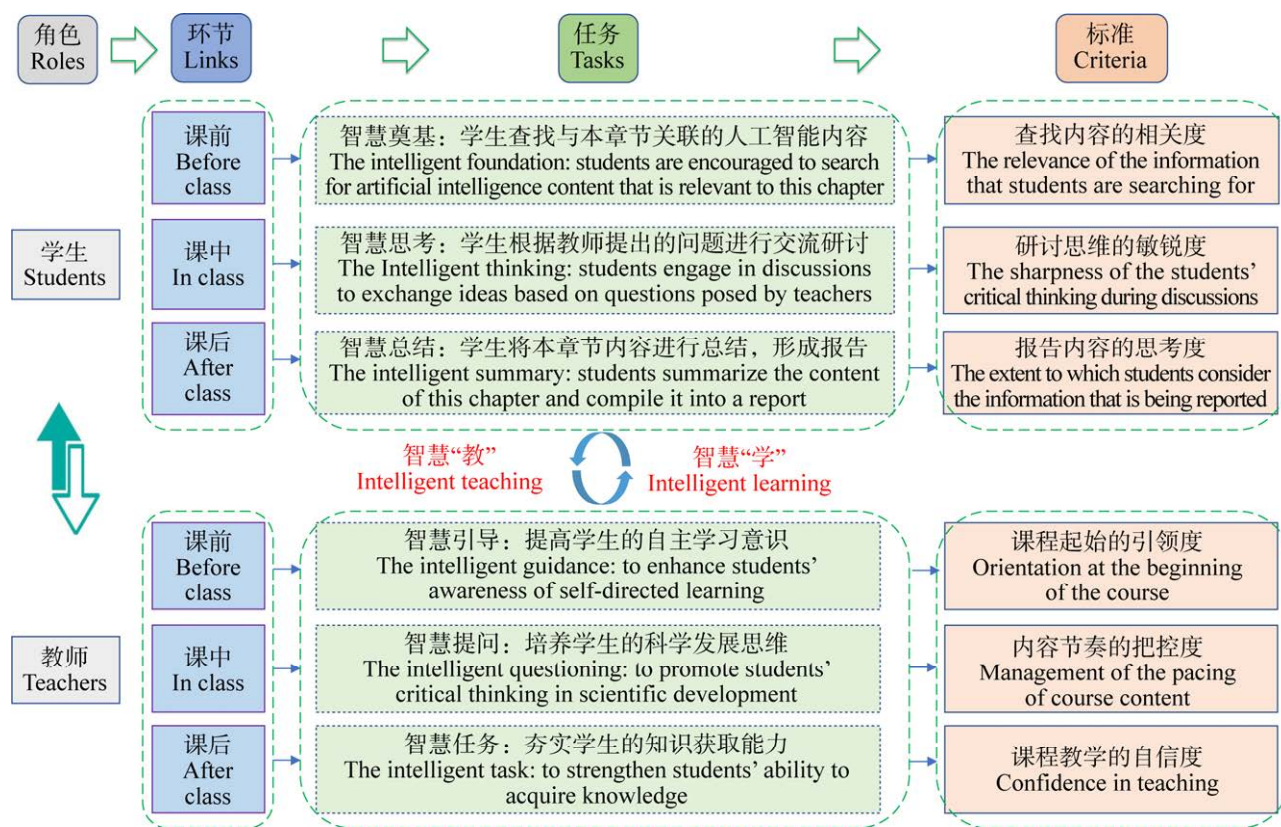


图4 微生物学教学过程综合评价模型

Figure 4 A comprehensive evaluation model for the teaching process of Microbiology.

关键词的毕业设计内容成为学生更感兴趣的选择, 不断拓宽新视野。

## 4 总结与展望

长期以来, 众多高等教育研究人员和教师致力于“微生物学”课程的发展和建设, 讲授和引导学生掌握微生物基本生命规律, 研究微生物的基本方法和技能, 提高学生分析和解决实际工作中有关微生物学问题的综合能力, 并在教学设计与改革、课程思政探索、教学模式创新等多个方面取得了显著成效, 很好地服务于高等教育人才培养。本研究基于前人的优良研究基础, 结合当今经济社会的发展潮流和必然趋势, 提出将微生物学课程建设与人工智能这一必然的未来发展方向有机耦合, 旨在强化“微

生物学”课程建设的同时, 厘清微生物学科发展的历史必然性和智能方向性, 促进课程内容的智能化、经典目标的前沿化, 有效建立传统理工课程和新兴前沿技术之间的密切关联。

本教学模式一方面可有效提升学生对课程的兴趣度和认可度, 加深对于开放性、探究性微生物学前沿问题的思考, 视角更加开阔, 思维更加创新; 另一方面也强化了任课教师对课程目标、思政目标及育人目标的全面深刻把握, 并将为今后以微生物学为代表的传统理工课程升级和建设发展提供借鉴。

立足长远发展角度, 本教学模式将有助于人才培养目标的实现, 有效促进师生角色和功能的深度融合与持续互促, 进而实现对“微生物学”课程智能教育的反向设计优化, 不断获取新

思路、新灵感,助力学生养成科学辩证的学习思维和创新进取的科学态度,把握学科前沿发展动向,探索将微生物学理论知识辅以人工智能技术进行转化并指导实际应用的现实可能性及重要性,为培养复合型应用型创新创业人才奠定重要的课程培养基础。

## REFERENCES

- [1] 侣再勇, 龙秀锋, 赵早亚, 牛福星, 伍时华, 黄翠姬, 易弋. 高校微生物学课堂教学方式改革的探索[J]. 轻工科技, 2023, 39(2): 173-175.  
SI ZY, LONG XF, ZHAO ZY, NIU FX, WU SH, HUANG CJ, YI Y. Exploration on the reform of classroom teaching methods of Microbiology in colleges and universities[J]. Light Industry Science and Technology, 2023, 39(2): 173-175 (in Chinese).
- [2] 谢晖, 应琼琼, 曾琦, 陈丹, 沈晓敏, 梁继民. 突出工科院校学科交叉微生物学实践教学改革研究[J]. 生物学杂志, 2019, 36(2): 114-117.  
XIE H, YING QQ, ZENG Q, CHEN D, SHEN XM, LIANG JM. Research on the teaching reform of interdisciplinary microbiology in engineering colleges[J]. Journal of Biology, 2019, 36(2): 114-117 (in Chinese).
- [3] 张嵘, 周宏伟, 胡燕燕, 蔡加昌, 陈功祥, 沈张奇. 多学科交叉教学模式在临床微生物检验诊断学研究培养中的探讨[J]. 全科医学临床与教育, 2022, 20(5): 442-444.  
ZHANG R, ZHOU HW, HU YY, CAI JC, CHEN GX, SHEN ZQ. Discussion on postgraduate teaching mode of clinical microbiology diagnostics with the introduction of interdisciplinary[J]. Clinical Education of General Practice, 2022, 20(5): 442-444 (in Chinese).
- [4] 林标声, 江玉岚, 许耿权, 何玉琴. 基于工程教育专业认证产业需求为导向的“环境微生物学”课程项目化教学改革[J]. 微生物学通报, 2023, 50(11): 5190-5202.  
LIN BS, JIANG YL, XU GQ, HE YQ. Project-oriented teaching reform of Environmental Microbiology based on engineering education professional certification and industrial demands[J]. Microbiology China, 2023, 50(11): 5190-5202 (in Chinese).
- [5] 毛露甜, 黄雁, 林燕文, 陈兆贵, 林芳花. 强化服务地方理念 凸显微生物学教学应用性[J]. 河北农业大学学报(农林教育版), 2017, 19(1): 43-46.  
MAO LT, HUANG Y, LIN YW, CHEN ZG, LIN FH. Strengthening the concept of serving the local area and highlighting the application of Microbiology teaching[J]. Journal of Agricultural University of Hebei (Agriculture and Forestry Education Edition), 2017, 19(1): 43-46 (in Chinese).
- [6] LIU Y, CHEN L, YAO ZR. The application of artificial intelligence assistant to deep learning in teachers' teaching and students' learning processes[J]. Frontiers in Psychology, 2022, 13: 929175.
- [7] 教育部印发《高等学校人工智能创新行动计划》确定人工智能发展任务[J]. 中国大学生就业, 2018(9): 4-6.  
The Ministry of Education issued the Action Plan for Artificial Intelligence Innovation in Colleges and Universities to determine the development tasks of artificial intelligence[J]. China University Students Career Guide, 2018(9): 4-6 (in Chinese).
- [8] 新华社. 中共中央 国务院印发《深化新时代教育评价改革总体方案》[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2020(30): 11-15.  
Xinhua News Agency. The CPC Central Committee and the State Council print and issue the overall plan for deepening the reform of education evaluation in the new era[J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2020(30): 11-15 (in Chinese).
- [9] 李薇, 杨庆华, 何先波, 陈毅红. 大数据和人工智能时代融合型物联网课程教学设计研究[J]. 计算机教育, 2023(2): 138-143.  
LI W, YANG QH, HE XB, CHEN YH. Research on teaching design of integrated Internet of Things course in the era of big data and artificial intelligence[J]. Computer Education, 2023(2): 138-143 (in Chinese).
- [10] 张平, 崔琪楣, 胡铮, 刘宜明, 秦晓琦. 科产教深度融合, 构建“无线通信中的人工智能”高新课程[J]. 高等教育研究, 2022(6): 14-18.  
ZHANG P, CUI QM, HU Z, LIU YM, QIN XQ. For deep integration of research, industry, and education, construction of “artificial intelligence in wireless communication” high-tech curriculum[J]. Research in Higher Education of Engineering, 2022(6): 14-18 (in Chinese).
- [11] 周德庆. 微生物学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020.  
ZHOU DQ. Essential Microbiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2020 (in Chinese).
- [12] COELHO LP, ALVES R, del RÍO ÁR, MYERS PN, CANTALAPIEDRA CP, GINER-LAMIA J, SCHMIDT TS, MENDE DR, ORAKOV A, LETUNIC I, HILDEBRAND F, van ROSSUM T, FORSLUND SK,

- KHEDKAR S, MAISTRENKO OM, PAN SJ, JIA LH, FERRETTI P, SUNAGAWA S, ZHAO XM, NIELSEN HB, HUERTA-CEPAS J, BORK P. Towards the biogeography of prokaryotic genes[J]. *Nature*, 2022, 601: 252-256.
- [13] MOSALAGANTI S, OBARSKA-KOSINSKA A, SIGGEL M, TURONOVA B, ZIMMERLI CE, BUCZAK K, SCHMIDT FH, MARGIOTTA E, MACKMULL MT, HAGEN W, HUMMER G, BECK M, KOSINSKI J. Artificial intelligence reveals nuclear pore complexity[J]. *bioRxiv*, 2021. DOI: 10.1101/2021.10.26.465776.
- [14] SUN QL, SHU C, SHI WY, LUO YF, FAN GM, NIE JY, BI YH, WANG QH, QI JX, LU J, ZHOU YC, SHEN ZH, MENG Z, ZHANG XJ, YU ZF, GAO SH, WU LH, MA JC, HU SN. VarEPS: an evaluation and prewarning system of known and virtual variations of SARS-CoV-2 genomes[J]. *Nucleic Acids Research*, 2022, 50(D1): D888-D897.
- [15] 李俊. 微生物培养基自动系统的设计与实现[D]. 北京: 北京化工大学硕士学位论文, 2020.  
LI J. Design and implementation of microbial culture medium automatic preparation system[D]. Beijing: Master's Thesis of Beijing University of Chemical Technology, 2020 (in Chinese).
- [16] LIU XN, CHENG J, ZHANG GH, DING WT, DUAN LJ, YANG J, KUI L, CHENG XZ, RUAN JX, FAN W, CHEN JW, LONG GQ, ZHAO Y, CAI J, WANG W, MA YH, DONG Y, YANG SC, JIANG HF. Engineering yeast for the production of breviscapine by genomic analysis and synthetic biology approaches[J]. *Nature Communications*, 2018, 9: 448.
- [17] 蒙健, 廖世成, 刘浩波, 李翔岳, 唐广林, 裴希, 周欣, 巫启航, 粟世华, 曹长春. 一种用于微生物菌培养的智能控制装置: CN217895617U[P]. 2022-11-25.  
MENG J, LIAO SC, LIU HB, LI XY, TANG GL, PEI X, ZHOU X, WU QH, SU SH, CAO CC. Intelligent control device for microbial culture: CN217895617U[P]. 2022-11-25 (in Chinese).
- [18] JONES TS, OLIVEIRA SMD, MYERS CJ, VOIGT CA, DENSMORE D. Genetic circuit design automation with Cello 2.0[J]. *Nature Protocols*, 2022, 17(4): 1097-1113.
- [19] MA Y, GUO Z, XIA B, ZHANG Y, LIU X, YU Y, TANG N, TONG X, WANG M, YE X, FENG J, CHEN Y, WANG J. Identification of antimicrobial peptides from the human gut microbiome using deep learning[J]. *Nature Biotechnology*, 2022, 40: 838-839.
- [20] ZHANG H, ZHANG L, LIN A, XU CC, LI ZY, LIU KB, LIU BX, MA XP, ZHAO FF, JIANG HL, CHEN CX, SHEN HF, LI HW, MATHEWS DH, ZHANG YJ, HUANG L. Algorithm for optimized mRNA design improves stability and immunogenicity[J]. *Nature*, 2023, 621(7978): 396-403.
- [21] LU WL, CHEN XQ, WANG L, LI HF, FU YV. Combination of an artificial intelligence approach and laser tweezers Raman spectroscopy for microbial identification[J]. *Analytical Chemistry*, 2020, 92(9): 6288-6296.