

基于项目式学习的高校微生物学实验课教学改革

周璇, 徐一梦, 曾燚, 张波*

温州肯恩大学, 浙江 温州 325060

周璇, 徐一梦, 曾燚, 张波. 基于项目式学习的高校微生物学实验课教学改革[J]. 微生物学通报, 2024, 51(4): 1281-1289.

ZHOU Xuan, XU Yimeng, ZENG Yi, ZHANG Bo. Revamping of Microbiology laboratory teaching in universities through project-based learning[J]. Microbiology China, 2024, 51(4): 1281-1289.

摘要: 微生物学是生命科学领域的基础学科, 在高校生物专业教学中处于核心地位。然而, 传统的微生物实验教学存在实验内容分散、缺乏内在联系等问题, 影响学生深入理解和应用实验技能、知识, 也不利于激发学生学习的主动性和探索精神。为进一步提升微生物学实验课程质量, 本研究借鉴了项目式教学方法, 通过引入科赫法则, 改进了微生物学实验教学的教育理念、教学模式、教学方法和评估体系。以家蚕和苏云金芽孢杆菌为实验材料, 我们重现并验证了科赫法则这一经典理论, 深入探究了传染性疾病与病原微生物之间的因果关系。改进后的教学方案有助于激发学生的实验热情, 提高其实验技能, 培养其批判性思维能力, 并提升其科学素养和创新能力。
关键词: 微生物学实验课教学; 项目式学习; 自主探究; 科赫法则; 家蚕; 苏云金芽孢杆菌

Revamping of Microbiology laboratory teaching in universities through project-based learning

ZHOU Xuan, XU Yimeng, ZENG Yi, ZHANG Bo*

Wenzhou-Kean University, Wenzhou 325060, Zhejiang, China

Abstract: Microbiology stands as a foundational discipline in life sciences and plays a pivotal role in the biology curriculum of universities. However, the conventional microbiology laboratory teaching faces issues such as content fragmentation with a lack of inherent connections. These challenges hinder students to deeply comprehend and apply experimental skills and knowledge. Moreover, the conventional teaching fails to stimulate students' self-directed learning and exploratory spirit. To enhance the quality of microbiology laboratory

资助项目: 温州肯恩大学教职工科研项目(IRSPK202101); 浙江省高校实验室工作研究项目(YB202327)

This work was supported by the Research Project of Faculty at Wenzhou-Kean University (IRSPK202101) and the Research Project in Laboratory Work at Universities in Zhejiang Province (YB202327).

*Corresponding author. E-mail: boz@wku.edu.cn

Received: 2023-08-20; Accepted: 2024-01-27; Published online: 2024-02-05

teaching, we draw inspiration from project-based learning. With the introduction of Koch's postulates, a fundamental theory, as the goal, we improved the educational philosophy, teaching modes, teaching methods, and assessment system. Using silkworm and *Bacillus thuringiensis* as the experimental subjects, we reproduced and confirmed Koch's postulates, and probed into the cause-and-effect relationship between infectious diseases and pathogenic microorganisms. Our improved teaching approach aims to kindle students' passion for experimentation, refine their practical skills, nurture their critical thinking, and elevate their scientific literacy and innovative capabilities.

Keywords: Microbiology laboratory teaching; project-based learning; self-directed learning; Koch's postulates; silkworm; *Bacillus thuringiensis*

微生物学作为生命科学领域的核心学科,在高校生物类专业教学中占据着重要地位。微生物学实验课程被认为是培养学生实践操作能力和创新潜力的关键组成部分。然而,传统的微生物学实验教学存在着诸多问题,其中包括教学内容的分散性,以教师为主、学生被动的教学模式,以及呈现“灌输式”教育特征,这导致了学生的高度依赖性,并且不利于激发学生的自主学习和探索精神。为了更好地培养创新型人才,许多高校积极探索和完善微生物学实验教学体系,引入了开放性和综合设计型实验^[1-2]。

在这一背景下,本研究借鉴了项目式教学方法,通过引入科赫法则,对微生物实验教学的教育理念、教学模式、教学方法和评估体系进行了改进。以家蚕和苏云金芽孢杆菌为案例,我们旨在重现和验证科赫法则这一经典理论,深入探究传染性疾病与病原微生物之间的因果关系。改进后的教学方案有助于激发学生的实验热情,提高他们的实验技能,培养批判性思维能力,并提升其科学素养和创新能力。

1 实验原理

1.1 科赫法则的原理和基本概念

科赫法则是由德国微生物学家罗伯特科赫(Robert Koch)于19世纪提出的,它构建了验证

传染性疾病与病原微生物对应关系的理论体系^[3]。该理论体系基于线性因果关系进行追根溯源,提供了评价微生物是否能引起疾病的4个标准:(1)在患病个体而非健康个体中发现微生物;(2)从患病个体中分离并培养微生物;(3)用培养的微生物接种健康个体,会引发疾病;(4)从接种的患病个体中重新分离出微生物,与原微生物相匹配^[3]。

科赫法则为病原微生物学的研究奠定了坚实的理论基础,近两个世纪以来,它一直是研究感染和疾病微生物病因的黄金标准。然而,随着现代研究方法和理论不断发展,科赫法则的局限性也逐渐显现,例如,一些肿瘤细胞和病毒在应用这一法则进行鉴定时需要进行适当的变通^[4]。尽管如此,科赫法则在生物学相关领域仍然发挥着重要作用^[5]。

1.2 应用苏云金芽孢杆菌与家蚕验证科赫法则的优势及可行性分析

苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)是一种好氧、具有芽孢的革兰氏阳性细菌,广泛分布于自然环境中,其中土壤是其最常见的来源^[6]。这一细菌以其产生的伴孢晶体蛋白(Bt蛋白)而广为人知。Bt蛋白具有特异性,它能够选择性地影响昆虫的肠道,导致摄食昆虫因肠道穿孔而死亡^[7-8]。作为一种生物农药,Bt蛋白具

有高度特异性,只对特定害虫有效,如棉铃虫、玉米钻心虫等昆虫幼虫,对害虫的控制效果显著。与传统化学杀虫剂相比,Bt蛋白更加环保,对环境、人类和动物更加友好。因此,Bt类生物杀虫剂已成为环境保护和害虫控制的重要工具,也是全球范围内使用最广泛的生物杀虫剂^[9]。在毒性研究中,家蚕(*Bombyx mori*)因其培养成本低、世代时间短、遗传背景清晰等优势常被用作重要的模式昆虫^[10-11]。

此外,实验所需的仪器、试剂和耗材均为微生物实验室常用设备和物品,无需额外采购。并且,幼蚕和桑叶可以方便地通过在线购物网站购买,价格适中,易于获得。整个实验的成本相对较低,适用于各高校的微生物实验室,无需额外的条件或投入。

2 微生物学实验课程基本信息及科赫法则实验报告评分

2.1 课程基本信息

本校的微生物教学由微生物学原理和微生物实验两门课程组成,是面向生物系大二、大三及其他专业辅修生物学的学生开设的高阶生物学课程,旨在帮助学生掌握微生物学的基本概念和实验技能。对应每学期的15个教学周,实验课程共包含15次实验课,每次3学时。基于实验室设施和安全条例,实验课程的人数上限为24人。根据座位排布,每3-4名学生编为一个小组,协作完成科赫法则实验。

微生物学实验课程的主要焦点是细菌相关的实验。然而,细菌的培养、分离、染色和生化测定等实验内容之间缺乏内在逻辑和连贯性,这也是我们引入科赫法则的一个初衷。在引入这个综合性的大实验后,传统微生物实验教学的相关内容并未发生大的变动,仅增加了与苏云金芽孢杆菌和土壤菌相关的分离、分析和比较实验,且

家蚕的喂食和桑叶处理等所需时间相对较短。因此,综合考虑,尽管课程的总体设置并未出现明显的变化,但通过科赫法则的验证,我们成功地将之前分散的细菌实验内容整合起来。

2.2 科赫法则实验报告评分

科赫法则实验的考核采用实验报告的形式进行评估,占实验课总成绩的20%。实验以小组为单位进行,组员共享实验结果,但实验报告需要学生独立完成并提交。学生在选择该课程时已完成基础课程和多门英语写作课的训练,因此,该综合性实验报告不仅需用英文书写,还需要严格遵循 American Psychological Association (APA)论文格式并涵盖科研文献写作的所有要素。

在评分细则中,APA格式占5%,摘要占10%,背景介绍占20%,材料与方法占10%,实验结果占20%,讨论部分占35%。教师需要基于上述规则进行全面综合评分,不可简单地根据实验是否成功来评判给分。例如,实验结果部分的评分更侧重于数据的准确性和呈现方式,而实验讨论部分则更加注重批判性思考和详细的讨论。项目实施过程中,教师不仅要在授课时间多次讲解实验和写作要点,还要鼓励学生在教师的办公时间来寻求答疑。另外,我校对抄袭有非常详细严格的规范条例和惩罚措施,抄袭是不被允许的。

这种全面综合的评估方式有助于培养学生的科研和学术写作技能。通过实验报告的形式展示实验成果,不再依赖一次期末考试成绩,也更符合当前课程评估方式改革的趋势^[12]。

3 科赫法则项目实验材料、方法及组内分工

3.1 实验材料与方法

实验使用的标准苏云金芽孢杆菌(*Bacillus*

thuringiensis) 采购自北纳生物, 编号为 BNCC185899。1 周龄的家蚕幼虫及桑叶购自淘宝。实验所需的试剂如营养培养基(nutrient broth)、革兰氏染色试剂、芽孢染色试剂等均属于微生物学教学常用的标配材料。鉴于芽孢的产生对于毒性蛋白的研究至关重要, 各实验小组需查阅相关文献自行选择不同的诱导培养基。所有的液体溶液和培养基均由学生在实验课上自行配制。

在实验中, 将 1 周龄家蚕在室温(约 24 °C)下培养, 每 3 天喂食一次桑叶。实验包括对家蚕的菌液处理, 分为标准菌组和土壤菌组, 每组都包括两只重复。土壤菌从校园土壤样品中分离获得。为确保实验准确性, 喂养家蚕的桑叶在涂抹菌液后需完全晾干后方可使用。当家蚕死亡后需要对其进行解剖, 分离肠道组织, 并通过芽孢培养、菌落形态观察、染色、生化测试等方法再次分离获得苏云金芽孢杆菌。

实验中使用的设备和器具包括生物安全柜、无菌操作台、高压灭菌锅、普通光学显微镜、生化培养箱、水浴锅、本生灯、丁烷、解剖刀、镊子、大头钉、解剖盘、培养皿、封口膜和记号笔等。

3.2 团队合作及责任分配

在科赫法则实验中, 小组成员应在教师的指导下共同搜索并查阅文献、充分讨论, 并合作完

成实验的详细设计。小组成员每周轮流向全班汇报工作, 展示实验进展情况。在实验过程中, 每位小组成员都承担明确的责任和任务, 涵盖实验试剂的制备、芽孢的诱导处理、家蚕喂养和蚕虫解剖等不同环节。实验中遇到的问题应首先在小组内讨论, 共同分析并寻找解决方法。

除了提供必要的指导外, 任课教师和实验技术人员还应确保学生在课外时间可以访问实验室, 进行观察、记录、分离和接种等活动。科赫法则实验依赖团队合作, 但数据采集、整理、总结及最终的实验报告需要每位学生独立完成并提交。

4 科赫法则项目的实验安排

科赫法则项目的成功实施涵盖了实验验证和报告撰写两大环节。为了确保整体效率, 这两部分必须与实验课程的主进度保持同步。此外, 应给予学生一定的时间自由度, 以确保他们有足够的时间进行实验和撰写报告。具体实验进度安排如表 1 所示。

4.1 苏云金芽孢杆菌的分离、染色和鉴定(教学周第 1-5 周)

微生物学实验课程的前 5 周主要侧重于深入了解微生物学相关实验知识, 并熟练掌握基础微生物实验操作技能, 包括无菌技术、微生物培养

表 1 科赫法则实验进度安排

Table 1 Schedule for Koch's postulates experiments

时间 Time	科赫法则实验内容 Experimental content of Koch's postulates
1-5 周 Week 1-5	苏云金芽孢杆菌的分离、染色和鉴定 Isolation, staining and identification of <i>Bacillus thuringiensis</i>
6-10 周 Week 6-10	第一轮家蚕处理及苏云金芽孢杆菌的再次分离 First round of treatment and reisolation of <i>Bacillus thuringiensis</i>
11-13 周 Week 11-13	第二轮处理 Second round treatment
14-15 周 Week 14-15	撰写科赫法则实验报告 Write the Koch's lab report

与单菌落分离、直接染色和间接染色、革兰氏染色、抗酸染色、荚膜染色、芽孢染色、鞭毛染色等。除了标准菌株的训练外,科赫法则项目额外增加了从土壤中分离获得苏云金芽孢杆菌的实验,并进行菌的培养和染色分析。

具体到实验安排上,由于芽孢杆菌具有形成芽孢的特性,学生们首先从校园中随机采集土壤样品(图 1A)并在 85 °C 加热 10 min, 灭活除芽孢之外的绝大多数细菌。随后进行细菌的培养和分离,基于菌落的特征(图 1B)、染色和显微镜观察结果(图 1C、1D),找出与标准苏云金芽孢杆菌特征相似的细菌。

这个阶段的另一个任务是要求学生阅读文献,理解实验内容,找到诱导芽孢的实验条件,并完成初步的实验设计。

4.2 第一轮家蚕处理及苏云金芽孢杆菌的再次分离(教学周第 6-10 周)

第 6-10 周的实验课进入了细菌的特殊培养基测试和生化测试阶段。因此,在完成菌株初筛后,学生们将运用课堂所学知识对分离的疑似苏云金芽孢杆菌进行生化测试(图 1E)。此外,学生们还将学习如何喂养幼蚕并进行第一轮处理。值得一提的是,即使学校地处江南,很多学生也是第一次喂养蚕,而科赫法则的实验目的也使学生们对科研的使命感、科研动物的价值及生命的严肃性有了更深入的认识。在蚕适应环境及学生们开始对蚕的喂养有了基本的了解之后,学生们开始接种菌株于桑叶并喂养蚕。在此过程中,学生们需要密切观察蚕的生长和行为变化(图 1F、1G),直至蚕因食用涂抹了苏云金芽孢杆菌的桑叶而死亡。

需要特别指出的是,根据染色及生化结果筛选出的土壤菌株很可能并不是苏云金芽孢杆菌,而是其他芽孢杆菌或者苏云金芽孢杆菌变种且对家蚕不产生任何作用。这个设计一方面增强了

项目的探索性,另一方面也让科研在教学实验中得到更大程度的还原,因为在真实的科研中并非每次尝试都能得到预期的结果。另外,因各小组选择不同的芽孢诱导培养基从而导致芽孢的诱导效率不一,实验处理后蚕的死亡速度并不一致,这点需要在课堂进行讨论。

在该阶段,教师不仅要每周让各组汇报实验进展,还要为各种突发状况做准备,比如蚕发生非正常死亡或土壤菌实验处理失败的情况等。根据我们的经验,每批次都需要额外准备相当数量的蚕,并保证桑叶的新鲜度,这对实验的正常进行非常重要。

4.3 从死蚕肠道再次分离获得苏云金芽孢杆菌并进行第二轮处理(教学周第 11-13 周)

在此阶段,学生阅读相关文献后,将对死亡的蚕进行解剖并提取蚕的肠道样本(图 1H、1I)进行肠道细菌的分离和培养(图 1J)。该阶段的难点在于从蚕的肠道中再次分离获得苏云金芽孢杆菌,但因为经过第一阶段的训练,学生对苏云金芽孢杆菌的特征及微生物操作已经比较熟练。从肠道中分离获得苏云金芽孢杆菌后,学生将基于第一轮的方法再次处理家蚕,并再次验证蚕是否会死亡。

值得注意的是,与土壤菌类似,桑叶上很可能存在其他的芽孢杆菌,蚕肠道分离的菌很可能与标准菌有所差异,导致蚕未死亡,而是发育成了蚕蛹(图 1K)。此外,该阶段需要再次购买蚕,蚕批次之间的稳定性和基因型是否一致是实验中的一个挑战。与第一阶段类似,实验失败后学生会主动要求重复实验,教师需要引导学生正确地面对挫折,思考并改进方法。

第二轮处理蚕死亡后,学生需要再次从蚕的肠道中分离和培养细菌以确认结果的重现性,这一步骤对于确认科赫法则的成立至关重要。

4.4 科赫法则实验报告撰写(教学周第14-15周)

从第11周开始,微生物学实验课的内容已经从细菌过渡到真菌、藻类、寄生虫及免疫学的相关内容。在这一阶段,除了进行第二轮处理之外,学生还需要进行实验总结并准备最终报告的撰写。对于教师而言,除了每周的实验进展沟通,这一阶段的一个重要任务是指导学生进一步理解如何基于APA格式对整个项目的结果进行归纳、总结和阐述。

实验报告是整个科赫法则项目式学习的重

要组成部分。通过撰写实验报告,不仅让学生对科赫法则有更深入的理解,也锻炼了学生的科学思维、分析问题和写作的能力。

4.5 实验成功率

如表2所示,第一阶段蚕致死率达到了100%,所有处理的蚕都死亡。然而,土壤菌株的致死率为0。这可能是因为筛选的菌株并非苏云金芽孢杆菌,或者所筛选的菌株对家蚕无致病性。此外,实验操作问题如芽孢诱导失败等因素也可能导致这一结果。在第二轮实验中,标准菌株的致死率降至50%。

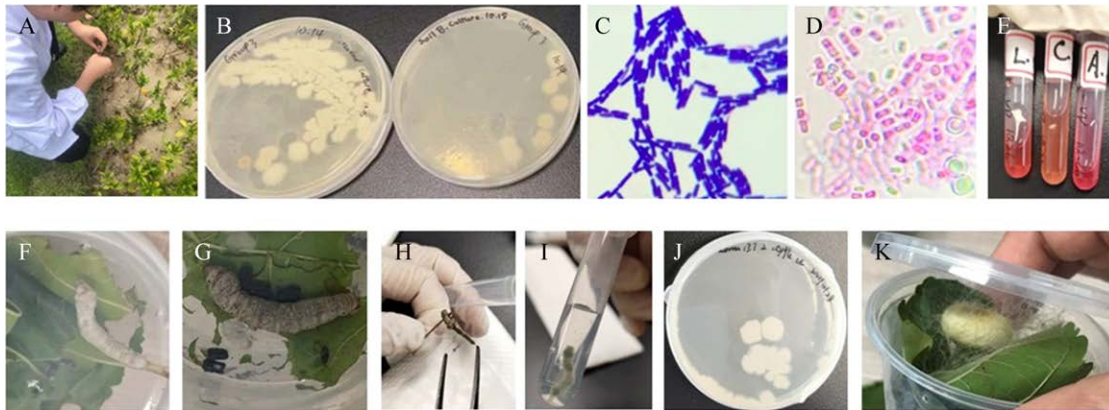


图1 实验课程案例及阶段性实验结果 A: 土壤采样. B: 标准苏云金芽孢杆菌(左)和土壤分离菌(右)的菌落形态对比. C-E: 革兰氏染色、芽孢染色以及部分生化测试结果. F-I: 蚕的喂养、死亡、解剖及肠道分离. J: 从死蚕肠道中再次分离获得苏云金芽孢杆菌. K: 处理失败, 蚕发育为蚕蛹

Figure 1 Experimental course case and stage-wise experimental results. A: Soil sampling. B: Comparison of colony morphology between standard *Bacillus thuringiensis* (left) and soil isolated bacteria (right). C-E: Gram staining, spore staining, and biochemical assay results. F-I: Feeding, mortality, dissection, and gut isolation of silkworms. J: Reisolation of *Bacillus thuringiensis* from the gut of dead silkworms. K: Treatment failure, silkworm developed into pupa.

表2 不同菌株在两个阶段的成功率比较

Table 2 Comparison of success rates of different bacterial strains in two stages

组数(4)	第一阶段蚕致死率	第二阶段蚕致死率
Group (4)	Round 1 silkworm death rate	Round 2 silkworm death rate
标准菌 Standard bacteria	100%	50%
土壤菌 Soil bacteria	0	/

/: 由于土壤菌第一阶段蚕致死率为0, 因此未进行第二阶段处理

/: Due to the zero mortality rate of silkworms in the first stage of soil bacteria, the second stage of treatment was not carried out.

5 微生物学实验课程教改成绩与反馈

5.1 学生给予微生物学实验课程高分评价

通过引入科赫法则等项目式教学方法,微生物学实验课程在教学改革后取得了显著的成效。如表 3 所示,以 2020 年和 2021 年两个秋季学期为例,评价体系总分为 5 分,2020 年秋季学期的评价平均分为 4.56 分,而 2021 年秋季学期进一步提高至 4.67 分。这两个学期的评分均远高于同期学校所有课程的评价平均分。学生表达了高度的满意,他们在评价中对课程设置、教学方法、实验设计及教师指导表示了充分肯定。这种高满意度不仅在数字上有所体现,更重要的是学生对课程内容的深刻理解、实际操作技能的提升及对微生物领域的浓厚兴趣的表现。高分的评价和学生的高满意度均为教育改革成果提供了有力的支持和证明。

5.2 科研参与率提升

通过开放性的自主设计和团队协作,学生的实际动手能力、创新能力、科研兴趣以及学术写作技巧得到了显著提高。课程完成后,得益于学校优良的科研氛围,根据统计数据,所有完成 2020 和 2021 年微生物学实验课的学生都积极参与了各位教授团队的科研工作。一些学生选择继续参与微生物相关的科研项目,例如温州市科技局项目“高活性纳豆激酶的筛选及关键活性位点的研究”便是以这些本科生为主体完成的。这表明项目式教学对学生的科研参与意愿产生了积

极的影响。

5.3 科研竞赛表现

受到项目式学习的启发,学生们参加了浙江一鸣股份有限公司赞助的校企合作生物科研竞赛。在比赛中,与微生物相关的课题荣获一、二、三等奖。此外,在第八届大学生生命科学竞赛中,我校的两个微生物学课题也分别荣获浙江省三等奖和全国三等奖。这些竞赛的成功表现进一步验证了项目式学习对学生科研能力的提升作用,同时也充分展示了微生物学教学改革所取得的卓越成效。

6 总结

6.1 项目式学习在微生物学实验教学改革中的意义

通过项目式学习,微生物学实验课程为学生提供了学习和掌握基本微生物实验技能的机会。这包括学生可以熟练掌握显微镜的使用和维护,了解细菌的基本形态和结构,掌握细菌涂片制作、染色技术、无菌操作、培养基制备、细菌分离与接种等基本微生物实验技能,并可以综合应用微生物学、生化方法及分子手段对菌种进行鉴定。传统的微生物学实验课程形式较为单调,主要侧重于将理论知识作为核心,实验仅仅是对理论的验证,按部就班,缺乏内在的有机联系。

然而,在项目式学习模式下,教师从主导者转变为引导者,学生也从被动学习者转变为自主学习者。实验内容具有连续性,学生需要主动制

表 3 学生评价

Table 3 Student evaluation

学期 Semester	微生物学实验课程评价平均分(满分 5 分) Evaluation score for the microbiology laboratory (out of five)	该学期全校所有课程评价平均分(满分 5 分) Campus-wide average evaluation score for all courses (out of five)
2020 秋季学期 Fall 2020	4.56	4.12
2021 秋季学期 Fall 2021	4.67	4.10

定实验计划,并灵活应对实验过程中的各类意外状况。这种挑战不仅培养了学生的实验技能和团队合作精神,还增强了他们的使命感和责任心。开放性和自主性的综合实验设计赋予了学生更大的学习自由度,将知识拓展到课程之外,以科研工作者的身份探索微生物学的世界,激发了他们的学习热情和科研兴趣。这些实验有助于培养学生的勇于探索和勇于创新的精神,使他们像科研工作者一样总结科学规律、理解事物发展的规律,唯物辩证地分析问题、解决问题。

此外,项目式学习中的挑战和不确定性增加了实验的难度,学生必须面对挑战和挫折,这是挫折教育的一部分。党的十九大报告明确指出发展素质教育的重要性,而挫折教育是素质教育中非常重要的一部分。挫折教育是指教师有目的地运用教学方法,锻炼同学们能够正确面对困难和挫折,了解和预防负面影响,调整心态,增强心理素质,习得乐观,拥有健康的心理,为后续的拼搏奋斗打下坚实的基础^[13]。学生们直面挑战、认识挫折,最终解决困难,在学习过程中积累经验、收获自信,逐渐成为敢于直面挫折、拥有抗压能力和乐观心态的新一代素质人才。

6.2 科赫法则项目的拓展与延伸

在后续的微生物课程中,我们可以探索与生物其他专业课程合作,如分子生物学和生物化学,涉及基因克隆及蛋白质的纯化和异源表达,进一步延伸科赫法则,揭示疾病的分子本质。跨课程的合作能提高学生对生物科学的整体认识和理解能力,培养创新能力和团队合作精神。

实验结果显示,苏云金芽孢杆菌标准菌的两次实验都导致蚕死亡,而且两次实验使用了相同剂量的苏云金芽孢杆菌(约为 1/2 直径 0.8 cm 的菌落),但第一次实验中蚕死亡耗时近 1 周,而第二次实验中蚕死亡仅花费 2 d 时间。这表明从死亡蚕身上分离出的苏云金杆菌毒力可能更

强,可能为未来的科研工作提供研究方向。

6.3 仍需改善之处

尽管项目式学习带来了丰富的教学体验,但在实施过程中也面临着一些挑战。例如,获得高质量染色和生化实验结果的关键是使用新鲜培养的细菌,这对非全职专注科研的本科生来说具有一定挑战性,需要他们合理安排时间。另外,幼蚕自身非常脆弱且容易死亡,大多数同学不具备相关经验,即使从死亡蚕体中成功分离出苏云金芽孢杆菌,也难以证明该菌是导致幼蚕死亡的唯一原因。

此外,我们发现细菌处理的桑叶经常会有所残留,可能是因为处理过的桑叶产生了异味,影响了蚕的进食,最终导致部分蚕因饥饿而死亡。另外,连续喂养被细菌污染的桑叶可能会引起蚕的 Bt 蛋白抗性。研究发现,蚕的第 15 号染色体上有抗 CryAb 毒素的基因,该基因编码一种转运体^[14]。最后,网络上购买的蚕的遗传背景也并不清楚,可能影响 Bt 蛋白的杀虫效果。在严格的生物实验中,除了对照组,还需要进行生物学重复。对于基础微生物学实验课程来说,考虑到学生的精力、时间及教学经费的限制,我们只能尽可能提供实验材料,这一点需要向学生特别说明。

6.4 结语

通过项目式学习,微生物学实验课程以苏云金芽孢杆菌与家蚕验证科赫法则的实践为例,呈现创新性和学生主导的特点。这种学习方式激发了学生的主观能动性,提高了创新和创造能力,并有效提升了他们的科研能力,同时也受到了学生的广泛认可。

在实验过程中,学生主导设计和执行实验,自主解决问题,以此培养了他们的实验技能、批判性思维和创新能力。当面临实验中的挑战和挫折时,学生们互相帮助,团队合作,

提高了自主学习、团队协作和问题解决能力。这种学习方式不仅让学生学到了专业知识,更重要的是培养了他们独立思考、主动学习、积极探索的品质,为他们未来的学习和职业发展奠定了坚实的基础。

通过创新的教学方式,不仅能够更好地将理论知识与实际实验相结合,还使教学内容更加生动、真实和有趣。此次项目式学习实践不仅为微生物实验教学改革提供了宝贵的经验,还为推动生物实验课程的教学发展、培养更富有实践能力和创新精神的学生做出了积极的贡献。

REFERENCES

- [1] 黄宇驰, 黄沈发. 上海生物安全管理现状、问题与对策[J]. 上海环境科学, 2005, 24(5): 205-208.
HUANG YC, HUANG SF. Current situation, issues, and countermeasures of biosecurity management in Shanghai[J]. Shanghai Environmental Science, 2005, 24(5): 205-208 (in Chinese).
- [2] 吕志堂, 张秀敏, 赵丽坤, 石楠, 李景晨. 微生物学研究型设计性实验教学改革与实践[J]. 微生物学通报, 2018, 45(3): 670-675.
LYU ZT, ZHANG XM, ZHAO LK, SHI N, LI JC. Exploration in reform and practice of research-based designing experiments of Microbiology courses[J]. Microbiology China, 2018, 45(3): 670-675 (in Chinese).
- [3] SEGRE JA. What does it take to satisfy Koch's postulates two centuries later? Microbial genomics and *Propionibacteria acnes*[J]. Journal of Investigative Dermatology, 2013, 133(9): 2141-2142.
- [4] MOORE PS, CHANG Y. The conundrum of causality in tumor virology: the cases of KSHV and MCV[J]. Seminars in Cancer Biology, 2014, 26: 4-12.
- [5] WALKER L, LeVINE H, JUCKER M. Koch's postulates and infectious proteins[J]. Acta Neuropathologica, 2006, 112(1): 1-4.
- [6] LI YJ, WANG C, GE L, HU C, WU GG, SUN Y, SONG LL, WU X, PAN AH, XU QQ, SHI JL, LIANG JG, LI P. Environmental behaviors of *Bacillus thuringiensis* (Bt) insecticidal proteins and their effects on microbial ecology[J]. Plants, 2022, 11(9): 1212.
- [7] GU JJ, YE RF, XU YD, YIN YS, LI SQ, CHEN H. A historical overview of analysis systems for *Bacillus thuringiensis* (Bt) Cry proteins[J]. Microchemical Journal, 2021, 165: 106137.
- [8] 徐重新, 刘媛, 张霄, 刘贤金. Bt Cry 毒素抗虫模拟物靶向创新设计[J]. 生物工程学报, 2023, 39(2): 446-458.
XU CX, LIU Y, ZHANG X, LIU XJ. Targeted innovative design of Bt Cry toxin insecticidal mimics[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2023, 39(2): 446-458 (in Chinese).
- [9] IBRAHIM MA, GRIKO N, JUNKER M, BULLA LA. *Bacillus thuringiensis*: a genomics and proteomics perspective[J]. Bioengineered Bugs, 2010, 1(1): 31-50.
- [10] MITSUHASHI W, MIYAMOTO K. Interaction of *Bacillus thuringiensis* Cry toxins and the insect midgut with a focus on the silkworm (*Bombyx mori*) midgut[J]. Biocontrol Science and Technology, 2020, 30(1): 68-84.
- [11] MENG X, ZHU FF, CHEN KP. Silkworm: a promising model organism in life science[J]. Journal of Insect Science, 2017, 17(5): 97.
- [12] 吴根福. 利用评价的导向功能, 提高微生物学教学质量[J]. 微生物学通报, 2017, 44(5): 1236-1241.
WU GF. Pay attention to the guiding role of assessment, to improve the education quality in Microbiology[J]. Microbiology China, 2017, 44(5): 1236-1241 (in Chinese).
- [13] 王玉龙. 两个经典心理学实验及其挫折教育启发[J]. 当代教育理论与实践, 2013, 5(11): 17-19.
WANG YL. Two classic psychological experiments and their frustration education enlightenment[J]. Theory and Practice of Contemporary Education, 2013, 5(11): 17-19 (in Chinese).
- [14] ATSUMI S, MIYAMOTO K, YAMAMOTO K, NARUKAWA J, KAWAI S, SEZUTSU H, KOBAYASHI I, UCHINO K, TAMURA T, MITA K, KADONO-OKUDA K, WADA S, KANDA K, GOLDSMITH MR, NODA H. Single amino acid mutation in an ATP-binding cassette transporter gene causes resistance to Bt toxin Cry1Ab in the silkworm, *Bombyx mori*[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(25): E1591-E1598.