

“基因组学”教学建设的初步探索

商巾杰

(南京师范大学生命科学学院,江苏省功能微生物与功能基因组学重点实验室,江苏南京 210023)

[摘要] 基因组学是在人类基因组计划的实施影响下逐步形成的一门兼具理论性和实用性的交叉学科,具有很强的专业性和前沿性.结合作者从事基因组学教学的经验,从基因组学课程内容设置,包括讲述基因组学世界的故事,追踪学科前沿和课程思政的育人理念与目标以及“基因组学”课程教学方式等方面展开探索,为提高“基因组学”课程教学质量和加强“基因组学”课程建设提供思路.

[关键词] 基因组学,课程内容,学科前沿,教学方式

[中图分类号] G640.2 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2024)01-0080-06

Exploration on the Construction of Genomics Courses

Shang Jinjie

(Jiangsu Key Laboratory for Microbes and Functional Genetics, School of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Genomics is an interdisciplinary field with strong theoretical and practical significance that has gradually formed under the influence of the Human Genome Project. Genomics is a highly specialized and cutting-edge field. Combined with personal experience in teaching genomics, this article discusses the setting of genomics course content and teaching methods, including telling stories about the genomics world, tracking the frontiers of the discipline, and the educative idea and target of genomics course thinking. It provides ideas to improve the quality of genomics teaching and strengthen genomics course construction.

Key words: genomics, course content, frontiers of the discipline, teaching methods

基因组学是在人类基因组计划的实施影响下逐步形成的一门具有很强的理论性和实用性的交叉学科,对于整合生命科学各学科分支、深化与开拓生命科学新的研究方向具有极其重大的意义.基因组学将引领 21 世纪现代生命科学.从源头上揭示生命的奥秘,必须从结构基因组学和功能基因组学入手^[1-2].

“基因组学”课程内容系统介绍了随着 1990 年人类基因组计划开展而建立起来的这门新兴学科的术语概念、研究方法、研究意义和发展动态,让学生了解与掌握结构基因组学和功能基因组学的基本知识、原理和方法,为学生理解生命遗传物质的奥秘、进入生命科学前沿领域的科研实践打下必要基础.“基因组学”教学存在一系列的难点.基因组学具有一定的理论深奥性、抽象性;学科发展迅速,未知领域多,概念更新快;传统纸质教材已无法满足基因组学前沿内容更新的需要,教材里存在中国元素不足的问题.本文结合作者从事“基因组学”课程教学的经验,从课程内容设置,包括讲述基因组学世界的故事,追踪学科前沿和课程思政的育人理念与目标以及“基因组学”课程教学方式等方面展开探索,让学生感受中国的科研实力和科学家的人格魅力,引导学生树立民族自豪感,培养家国情怀,为提高“基因组学”课程教学质量和加强“基因组学”课程建设提供思路.

1 “基因组学”课程教学内容设置

1.1 基因组学世界的故事很精彩

基因组学具有一定的理论深奥性、抽象性,直接讲述不易激发学生的学习兴趣^[3].但基因组学的世

收稿日期:2023-09-18.

基金项目:国家自然科学基金项目(32270048).

通讯作者:商巾杰,博士,副教授,研究方向:微生物功能基因组学、微生物学、分子生物学. E-mail: jinjieshang@163.com

界,充满了最令人敬畏和让人激动的科学热点.教师通过讲故事、形象化讲解等方式,激发学生对基因组学知识的学习兴趣和对基因组学研究的激情,加深对基因组学知识的理解.授课过程中,抛出与课堂内容相关的问题,制造出悬念,引发学生思考.接着,再采用类似讲故事的方式,解决这些悬念,回答相关问题.例如,在第一节课时,教师并不直接讲述基因组学的概念和基本知识,而是选取最具代表性的案例——“人类基因组计划”,以讲故事的方式,娓娓道来.首先提出了环环相扣的问题:“为什么会提出人类基因组计划?”“基因组计划的实施需要什么技术的支持?”“人类基因组计划的推进是一帆风顺的吗?”“我们中国科学家在人类基因组计划中起到了什么作用?”这些问题犹如一个个悬念,使学生听课中有所期待,并激发他们的思考.随后教师用一个个故事解答这些问题,从电视剧《血疑》出发讲述在日本广岛、长崎原子弹爆炸后的幸存者及其子女发生基因突变所引起的各种疾病,科学家希望选取一种新办法可以非常有效地、直接地检测出人类基因的突变,从而提出了“人类基因组计划”.另一个精彩的故事是“人类基因组的竞赛”,这是著名的 Watson 与 Venter 关于克隆 DNA 顺序专利之争的故事.在这场竞赛中,全世界参与项目的科学家都开始了“疯狂”的测序行动,最后, *Science* 和 *Nature* 商定于 2001 年 2 月同时发表“人类基因组草图顺序”.而专利之争最终的结论是:纯 DNA 序列不可专利,但发现 DNA 序列的功能及其应用可以专利.一个个引人入胜的故事,解答了教师课上提出的各种问题,缓解了以往填鸭式教学造成的学生课堂注意力无法持续集中、易疲倦的心理状态.这种不断提问、循序深入的方式增加了师生之间的互动与交流.

1.2 追踪学科前沿

基因组学是生命科学领域的新兴前沿学科,在医学、生物技术、生态学和农业等领域有广泛的应用^[4-5].因此,基因组学具有发展迅速、未知领域多、概念更新快的特点.虽然教材中的知识可以帮助学生了解与掌握基因组学的基本知识、原理和方法,但传统纸质教材无法满足基因组学前沿内容更新的需要.针对这一问题,在每一章节授课过程中都引入相应的前沿专题(如表 1 所示),使学生能动态地观测和思考基因组学的研究现状和前沿领域.

表 1 基因组学学科前沿和课程思政要点梳理

Table 1 The key points of frontiers of genomics course and ideological and political elements

章节内容	教学内容概述	课程思政元素	课程思政元素融入途径
绪论	基因组计划缘起	我国科学家的创造精神	讲授中国华大基因中心:于 1998 年申请参加人类基因组 3 号染色体端部约 1% 基因组的测序
第一章 基因和基因组	基因组与基因组学	科学家的创造精神 追踪学科前沿	2022 年,公布了迄今为止最完整的人类基因组测序结果,这是第一个完整的、无间隙的人类基因组序列,首次揭示了高度相同的节段重复基因组区域及其在人类基因组中的变异
第二章 基因组作图	用于遗传图谱绘制的非基因标记	科学家的创造精神 追踪学科前沿	讲授基因组图谱的研究历程,反映了科学家精益求精、追求真理的科学精神;举例 2019 年,这项新的研究利用来自多代人的大约 150 000 名冰岛人的序列数据,包括将近一半的人口,提供了 450 万次交叉重组和 200 000 多个新发突变的精确定位
第三章 基因组测序和组装	测序的发现(一个在地下室工作的科学家如何发现测序这一世界科学史上最伟大的事件之一) 测序技术的研究进展对古基因组学的推进	科学家的艰苦奋斗、乐观向上的精神和追求真理的科学精神	举例讲授 Sanger 测序发明者的研究历程:他醉心科研,发明了蛋白测序和核酸测序,两次获得诺贝尔奖 2022 年诺贝尔生理学或医学奖解读:古 DNA 研究解密人类演化过程
第四章 基因组结构解剖	基于序列结构特征搜寻潜在基因 基于实验技术预测基因功能	我国在基因组学领域的重大举措和进展 科学家的创造精神 追踪学科前沿	举例讲授我国科学家在肝脏基因组和线粒体基因组的相关研究工作,剖析细胞器基因组结构 从 2020 年诺贝尔奖引出 CRISPR/Cas9 的研究历程:2012 年, Jennifer Doudna 和 Emmanuelle Charpentier 合作在 <i>Science</i> 杂志发表了基因编辑史上的里程碑论文,成功解析了 CRISPR/Cas9 基因编辑的工作原理
第五章 转录组学	转录组测序	我国在基因组学领域的重大举措和进展 追踪学科前沿	“国际千人基因组计划”自 2008 年 1 月 22 日启动,该计划依托中国深圳华大基因研究院、英国桑格研究所、美国国立人类基因组研究所 2013 年 <i>Nature</i> 杂志发表了人类转录组的深度分析论文

续表 1
Table 1 continued

章节内容	教学内容概述	课程思政元素	课程思政元素融入途径
第六章 蛋白质组学	蛋白质组学概述及其应用	我国在蛋白质组学领域的重大举措和进展 追踪学科前沿	中国人类蛋白质组计划(CNHPP)将覆盖中国人全部重大疾病,2014年6月10日全面启动实施,由此中国将成为世界蛋白质组学的领头羊
第七章 宏基因组学	宏基因组学概述及其应用	我国在宏基因组学领域的重大举措和进展 追踪学科前沿	中国疾病预防控制中心与悉尼大学合作于2016年12月24日在 <i>Nature</i> 杂志上发表了一项突破性的宏基因组研究
第八章 泛基因组学	泛基因组学概述及其应用	我国在泛基因组学领域的重大举措和进展 追踪学科前沿	2022年6月8日, <i>Nature</i> 在线发表了中国农业科学院深圳农业基因组研究所黄三文团队有关泛基因组的两项研究成果
第十章 合成生物学	合成生物学概述及其应用	我国在合成生物学领域的重大举措和进展 追踪学科前沿	从屠呦呦发现青蒿素治疗疟疾到青蒿素的合成生物学研究

在第一章节“基因和基因组”的授课中,先介绍当初的人类基因组计划留下了大约 8%的“空白”间隙,随后再介绍 2022 年关于人类基因组测序的新成果——“2022 年公布了迄今最完整的人类基因组测序结果,这是第一个完整的、无间隙的人类基因组序列,首次揭示了高度相同的节段重复基因组区域及其在人类基因组中的变异”^[6]。在第三章“基因组测序和组装”的授课中,先带领学生解读 2022 年最新的诺贝尔生理学或医学奖:古 DNA 研究解密人类演化过程,使学生了解到斯万特·帕博通过测序方法的改进,可以把原来检测不出来的、非常少的、残留的 DNA 检测出来。该研究解决了古人类基因组的测序问题,从基因组上破译了从古人类到现代人类的生命传承,开创了全新的科学学科——古基因组学。在讲授最新的第三代测序仪的内容时,结合新闻视频讲授从神州 12 号飞船落地后微生物样品的采集,从而引出第三代测序技术。再介绍 2016 年 7 月凯特·鲁宾斯首次在太空利用第三代测序仪 MinION 测序仪进行 DNA 测序,和 2020 年 NASA 的命名为“双胞胎实验”的项目,内容从研究凯利兄弟的认知能力到通过他们基因表达的变化去找代谢变化的征兆^[7]。通过太空基因组测序,使学生了解测序仪的进步对于基因组学领域的巨大推动作用。此外,为了培养学生的科研思维能力、激发学生对基因组学科的热情,在教学中设计以讨论报告的形式,由学生自由组合成研究小组,以 PPT 的形式汇报小组对相关前沿领域研究的成果。例如,在合成生物学内容章节,学生介绍了国际酵母基因组合成计划(Sc2.0)2023 年取得的重要突破——2023 年 11 月,由来自中国、美国、英国、新加坡、澳大利亚等国的超 200 位国际科学家团队 10 篇文章连发报道了首次合成了酵母的全部 16 条染色体^[8-11]。在课程教学中,引导学生融会贯通前沿学科知识,培养学生的科研思维能力,使学生对当前基因组学研究中比较前沿的热点内容有更深刻的认识。

1.3 深入挖掘思想政治教育元素

习近平总书记强调“高校立身之本在于立德树人,教师要坚持把立德树人作为中心环节,把思想政治工作贯穿教育教学全过程,实现全程育人、全方位育人”^[12]。根据这一理念,结合“基因组学”课程内容,团队确定了 3 个方面的教学目标(如表 2 所示),包括:(1)培养学生健康的个性与人格,养成积极的生活态度和直面困难的品格,塑造坚持个人幸福和社会发展相统一的价值观;(2)让学生了解与掌握结构基因组学和功能基因组学的基本知识、原理和方法;(3)为学生理解生命遗传物质的奥秘、进入生命科学前沿领域的科研实践打下必要基础。课程考核也围绕着这 3 个方面的教学目标,按照相应的比例进行考核。为注重学生人格和思想素质的培养,使学生在基础理论和实践能力的基础上不断提高自己的综合素养,更好地面对未来的生命科学研究,课程教学团队以具有中国科学家艰苦奋斗、追求真理的科学精神和兼具国际视野的案例为载体,将价值塑造和能力培养自然融入知识传授之中,坚持“科技创新助力民族复兴”的思想,坚定“百年树人”的理念,实现把社会主义核心价值观融入教学全过程的育人目的。

针对纸质教材更新慢、教材里中国元素不足的问题,课程教学团队追踪学科前沿,增补了基因组学领域我国科学家的研究成果,体现了我国科学家追求真理的科学精神,让学生感受中国的科研实力和科学家的人格魅力,引导学生树立民族自豪感,培养家国情怀。在介绍合成生物学专题时,例举了青蒿素的合成生物学研究。青蒿素可有效降低疟疾患者的死亡率,中国女药学家屠呦呦研究员作为青蒿素的发现者,与

威廉·坎贝尔和大村智共获 2015 年诺贝尔生理学或医学奖。屠呦呦认为,青蒿素的发现是传统中医献给世界的礼物。屠呦呦为青蒿素治疗人类疟疾奠定了最重要的基础,也成为用科学方法促进中医药传承创新并走向世界的最辉煌的范例。结合屠呦呦获得诺贝尔奖的案例,告诉学生我国科技实力、综合国力和国际竞争力获得了举世公认,而屠呦呦获奖则是标志性成果。在授课过程中,引用了习近平总书记的评价——“以屠呦呦研究员为代表的一代代中医人才,辛勤耕耘,屡建勋功,为发展中医药事业、造福人类健康作出了重要贡献。”授课中通过讲述屠呦呦的科研经历,激励学生坚持中国共产党的领导,投身科研事业,不断攀登世界科学高峰,由此增强学生建设创新型国家、实现中华民族伟大复兴的自信心。

表 2 课程目标与课程考核关系

Table 2 The relationship between course objectives and course assessment

序号	课程目标	考核环节		
		课堂参与 15%	课程报告与展示 35%	专题报告 50%
1	培养学生健康的个性与人格,养成积极的生活态度和直面困难的品格,塑造坚持个人幸福和社会发展相统一的价值观	20%	20%	10%
2	让学生了解与掌握结构基因组学和功能基因组学的基本知识、原理和方法	35%	40%	35%
3	为学生理解生命遗传物质的奥秘、进入生命科学前沿领域的科学实践打下必要基础	45%	40%	55%
	总计	100%	100%	100%

在讲授人类基因组计划时,介绍 1999 年 9 月 1 日中国正式加入了该计划,承担了 1% 的测序任务(3 号染色体短臂上的约三千万个碱基),成为第六个国际人类基因组计划参与国,也是参与该计划的唯一的发展中国家。在讲授蛋白质组学专题时,介绍 2014 年 6 月 10 日中国全面启动实施的中国人蛋白质组计划(CNHPP),该计划将覆盖中国人全部重大疾病,由此中国将成为世界蛋白质组学的领头羊。在讲授宏基因组学专题时,介绍中国疾病预防控制中心与悉尼大学合作于 2016 年 12 月 24 日在 *Nature* 杂志上发表了一项突破性的宏基因组研究^[13]。该研究发现,绝大多数感染脊椎动物的病毒实际上来源于无脊椎动物病毒,无脊椎动物携带着数量惊人的病毒,这些病毒可能数十亿年前就与无脊椎动物存在关联,无脊椎动物才是许多病毒的真正宿主。这项突破性研究改写了病毒学教科书。在介绍泛基因组学概述及其应用的内容时,例举了 2022 年发表的相关研究。2022 年 6 月 8 日,*Nature* 在线发表了中国农业科学院深圳农业基因组研究所黄三文团队有关泛基因组的两项研究成果^[14-15]。他们首次获得了番茄的图泛基因组,并借此找回了番茄育种中“丢失的遗传力”。论文评审专家认为该论文为“图泛基因组将可能成为基因组分析和作物基因组育种的标准,起到了奠基性的作用”。授课过程中通过传递个人命运是与国家的发展相互交织、紧密联系的思想,鼓励学生学习科学家们埋头苦干、潜心钻研、持之以恒的科研作风,始终围绕科学目标脚踏实地勤奋学习和工作,为我国和世界的科学事业添砖加瓦,在科技创新助力和一代代人的接续奋斗中,中华民族伟大复兴的中国梦必然实现。

2 基因组学课程教学方式

基因组学作为一个复杂的跨学科领域,其理论的深奥性和抽象性不可避免。在传统教学模式下,教师往往过多强调理论知识的灌输,忽略学生的主观能动性和差异性的因素,未充分发挥学生的个性特点和创造力。基因组学教育需要更注重激发学生的学习兴趣 and 主动性,以实现更有效的学习效果。基因组学是一个涵盖多个学科的巨大领域,具有广泛的应用及重要的社会影响。因此,基因组学教学不应仅依赖于一种教学方式,而需采取多元化的教学方式。如表 3 所示,多元化教学模式相较于传统教学模式,更注重学生的参与和自主性,重视学生的创新能力和协作能力,课堂更生动有趣。同时,多元化教学模式可以融合多种教学资源和技术,增强了教学的多样性和适应性。但多元化教学模式也对教师的教育经验和管理能力提出了更高的要求,需要教师花费更多的时间和精力进行课程设计和准备。

“基因组学”课程主要采用讲授法教学,多采用多媒体的授课方式,在使用 PPT 的同时,重点内容会借助板书进行解释,学生听课过程中会跟着板书一步一步地做笔记,增加了思考时间,提高了专注力。为了让讲授内容由抽象变得具体而生动,帮助学生更直观地理解基因组学概念、方法和前沿动态等,授课中引用了大量的基因组学相关文献的精美的高质量图片,并借助网络生物视频的演示,利用基因组学各相关领

域的专家讲座或演讲视频帮助学生理解基因组学知识. 例如在讲授人类基因组内容时, 给学生播放了 Ted 演讲, 展示科学家 Riccardo Sabatini 的演讲如何解读基因组并组装人类; 在讲授基于实验技术验证基因功能的课程中, 在介绍基因编辑的方法后, 播放诺贝尔得主 Jennifer Doudna 讲解 DNA 编辑技术. 基因组的测序相关内容涉及到复杂抽象的第一代、第二代和第三代测序技术, 学生大多未见过测序仪, 也未接触过测序实验, 只通过文字和图片的描述无法有清晰的理解, 故授课时播放关于三代测序技术相关原理的高清视频, 使学生更直观地了解这一内容, 提高了学习兴趣.

表 3 基因组学课程教学方式的比较

Table 3 Comparison of teaching modes of genomics course

方式	传统教学模式	多元化教学模式
教学形式	以讲授为主	教师可以采取讲授、讨论、案例分析等方式, 多样性较强
教学资源	仅为教师的讲解	资源丰富, 如视频、音频、PPT 等
学生参与	较少	学生可积极参与, 课堂互动性提高
学生角色	被动接受者	积极参与者
教学效果评估	通常以考试为主	可采用多种方式, 如小组讨论、专题报告等
融合技术	较少	可以融合各种技术, 如网络、平板等
崇尚的价值观	重视纪律、遵守规则	尊重权威、重视自主学习、独立思考、创新和协作
教学内容呈现形式	直白晦涩的讲解	生动有趣的故事、影像、音乐等

为了发挥学生上课的主观能动性, 激发学生学习基因组学的兴趣和自主思考能力, 授课过程中还采用了翻转课堂、分组讨论等互动式教学方法. 课堂上, 教师提供基因组学大方向的专题题目, 首先让学生分组, 按小组选择自己感兴趣的专题, 结合课程内容, 小组内所有学生查阅相关前沿文献并参与讨论. 其次, 每个小组制作 PPT 在课堂上进行讲解交流. 最后, 由其他同学点评或提问, 做报告的学生负责解答. 学生通过文献查阅了解学科前沿动态, 能更深刻地理解相关内容, 在与教师或同学的交流沟通中, 能够帮助其理解基因组学相关研究的科学思维方法以及实验设计思路, 进一步培养和提高学生的科研思维能力及交流、合作和表达能力.

由于基因组学涉及的技术和方法比较深奥, 课堂教学只能让学生对理论知识的了解相对比较抽象^[16-18]. 为解决这一问题, 鼓励本科学生在课余时间参与教师的科研课题研究, 安排学生进行实际的数据分析操作, 达到基因组学课程理论与实践的有效结合. 同时, 通过采用课前预习、问答式互动环节和课后思考题等方法, 提高学生的自主学习能力, 以及对深入了解与熟悉基因组学领域的最新进展及其对生命科学各领域的影响的兴趣.

基因组学是一门相对复杂的学科, 需要学生掌握大量的概念和技能, 并涉及多个学科交叉. 因此, 单一类型的成绩评定体系不能很好地反映学生的知识与能力, 如表 4 所示, 建立一个包含多种成绩评定工具的综合评估体系是更公正合理的方法.

表 4 基因组学课程过程性评价方案

Table 4 Processes valuation scheme for genomics course

考核方式	评价标准	评价权重	评价等级			
			100-85	84-70	69-60	低于 60
考勤与课堂参与	学生课堂出勤率, 学习兴趣, 上课的反馈(是否认真、积极思考, 是否积极参与课堂与课后的交流)	15%	优秀	良好	一般	差
课程报告与展示	考查报告选题是否具有合理性, PPT 制作内容、结构的完整性、学术的规范性 课程展示表述清晰、准确, 重点突出	20% 15%	优秀	良好	一般	差
专题报告	考查报告选题合理性、结构完整性、逻辑严谨性、内容丰富性、学术规范性、观点独创性, 文献选用是否准确、专业	50%	优秀	良好	一般	差
合计		100%	优秀	良好	及格	不及格

例如, 可以对学生在课堂出勤及课堂中的表现、课程作业(课程报告与展示)、专题报告等进行考核, 在评估学生成绩时, 将这些数据按相关比例(15%、35%和 50%)加以整合, 使得评估更加客观、全面, 可以反映学生的真实水平. 这种多样化的教学和评定方法可以激发学生的兴趣和学习动力, 帮助他们更好地理解 and 掌握相关知识, 同时为进一步学习和工作打下良好的基础.

3 结论

基因组学具有很强的专业性和前沿性,内容涉及多个科研领域.随着测序技术和研究方法的高速发展,作为生命科学研究方面的重要课程,基因组学的知识体系需要不断、及时地更新与调整,突出重点、难点,让学生了解、掌握最新的理论知识和前瞻性的研究成果,让学生认识基因组学的探索过程是困难与机会并存,同时让学生感受到探索科学奥秘的乐趣.此外,授课应采用形式多样的教学方式,如采用课前预习、问答式互动环节和课后思考题等探究式教学方法,调动学生学习的主动性,让学生愉悦地融入教学过程,激发学生学习和研究基因组学的热情,提高基因组学的教学质量.习近平总书记反复强调,培养什么人、怎样培养人、为谁培养人,这是教育的根本性问题.青年人才是国家战略人才力量的源头活水,是支撑我国高水平科技自立自强的重要力量.把思政内容融入基因组学课程教学当中,结合学科前沿专题,教导学生自觉将“小我”融入“大我”,弘扬科学家可敬可学的榜样精神,为学生成长成才指明奋力前行的方向.

[参考文献](References)

- [1] 杨焕明. 基因组学[M]. 北京:科学出版社,2016.
- [2] 杨金水. 基因组学[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2019.
- [3] 姚雨峰,徐承启.“基因组学与精准医学”课程案例式教学探索[J]. 中国多媒体与网络教学学报(上旬刊),2022(12):204-208.
- [4] 李阳,姚文,宋颂. 高等农业院校基因组学课程建设探索[J]. 科教文汇,2022(23):77-80.
- [5] 郑金水.“基因组学前沿专题”课程研究生教学模式探析[J]. 教育教学论坛,2022(16):145-148.
- [6] ZAHN L M. Filling the gaps[J]. Science,2022,376(6588):42-43.
- [7] LUXTON J J, MCKENNA M J, TAYLOR L E, et al. Temporal telomere and DNA damage responses in the space radiation environment[J]. Cell Reports,2020,33(10):108435.
- [8] DAI J B, YANG H M, PRETORIUS I S, et al. A spotlight on global collaboration in the Sc2.0 yeast consortium[J]. Cell Genomics,2023,3(11):100441.
- [9] SCHINDLER D, WALKER R S K, JIANG S Y, et al. Design, construction, and functional characterization of a tRNA neochromosome in yeast[J]. Cell,2023,186(24):5237-5253.e22.
- [10] SHEN Y, GAO F, WANG Y, et al. Dissecting aneuploidy phenotypes by constructing Sc2.0 chromosome VII and SCRaMbLEing synthetic disomic yeast[J]. Cell Genomics,2023,3(11):100364.
- [11] ZHAO Y, COELHO C, HUGHES A L, et al. Debugging and consolidating multiple synthetic chromosomes reveals combinatorial genetic interactions[J]. Cell,2023,186(24):5220-5236.e16.
- [12] 习近平在全国高校思想政治工作会议上强调:把思想政治工作贯穿教育教学全过程 开创我国高等教育事业发展新局面[N]. 光明日报,2016-12-09(1).
- [13] SHI M, LIN X D, TIAN J H, et al. Redefining the invertebrate RNA virosphere[J]. Nature,2016,540(7634):539-543.
- [14] TANG D, JIA Y X, ZHANG J Z, et al. Genome evolution and diversity of wild and cultivated potatoes[J]. Nature,2022,606(7914):535-541.
- [15] ZHOU Y, ZHANG Z Y, BAO Z G, et al. Graph pangenome captures missing heritability and empowers tomato breeding[J]. Nature,2022,606(7914):527-534.
- [16] 欧阳立明,张惠展. 基因组学课程体系与教学实践[J]. 遗传,2011,33(3):278-282.
- [17] 梁志星,王春红,胡占尧,等. 基于课程的本科生参与科研训练模式研究——基于全美基因组学课程合作组织(GEP)[J]. 高等理科教育,2023(4):117-123.
- [18] 赵焕英,付文卓,王俐勇,等. 医学高校基因组学研究平台建设与管理机制探讨[J]. 医学教育管理,2023,9(增刊1):126-130.

[责任编辑:严海琳]