

在遗传学课堂教学中培养本科生科研素质

邢万金, 莫日根

内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021

摘要: 课堂是本科教学的主要场地, 充分利用课堂教学培养本科生的科研素质, 是一个值得思考的教改问题。本文从系统架构课程内容体系、教学内容反映科研进展、知识点的讲解反映其科研活动、用 PPT 动画讲解科学原理和实验过程、用双语教学提高专业英语阅读能力、考试考察学生的科研分析能力 6 个方面介绍了作者多年来在遗传学课堂教学中培养学生科研素质的教改措施与实践经验。这些改革措施有利于激发本科生的学习积极性, 培养本科生发现问题、分析问题和解决问题的科学思维能力, 提高本科生的科技英语阅读能力和文献查阅能力, 为本科生进入科研领域奠定了良好的基础。

关键词: 教学改革; 科研素质; 遗传学; 课堂教学

Cultivating the scientific research ability of undergraduate students in teaching of genetics

Wanjin Xing, Morigen

School of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China

Abstract: The classroom is the main venue for undergraduate teaching. It is worth pondering how to cultivate undergraduate's research ability in classroom teaching. Here we introduce the practices and experiences in teaching reform in *genetics* for training the research quality of undergraduate students from six aspects: (1) constructing the framework for curriculum framework systematically, (2) using the teaching content to reflect research progress, (3) explaining knowledge points with research activities, (4) explaining the scientific principles and experiments with PPT animation, (5) improving English reading ability through bilingual teaching, and (6) testing students' analysing ability through examination. These reforms stimulate undergraduate students' enthusiasm for learning, cultivate their ability to find, analyze and solve scientific problems, and improve their English reading and literature reviewing capacity, which lay a foundation for them to enter the field of scientific research.

Keywords: teaching reformation; research quality; genetics; classroom teaching

收稿日期: 2016-05-10; 修回日期: 2016-06-29

基金项目: 内蒙古大学精品资源共享课程建设项目和内蒙古自治区生物化学系列课程教学团队建设项目资助[Supported by the Excellent Course Construction Project of Inner Mongolia University and the Teaching Team Construction Project of Biochemical Course Series of Inner Mongolia Autonomous Region]

作者简介: 邢万金, 博士, 教授, 研究方向: 分子遗传学和基因工程。Tel: 0471-4992944; E-mail: xwanjin@imu.edu.cn

莫日根, 博士, 教授, 研究方向: DNA 复制调控与细胞周期。E-mail: morigenm@life.imu.edu.cn

邢万金和莫日根为并列第一作者。

DOI: 10.16288/j.ycz.16-192

网络出版时间: 2016/6/30 10:40:49

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1913.R.20160630.1040.004.html>

高等教育的目标是为社会发展培养高层次创新人才,既要掌握系统全面的科学理论基础知识,又要养成一定的科研素质和创新能力。科研素质主要包括科研意识、科研方法和科研精神。在本科教学中,既要让学生学习基础理论知识又要培养学生的科研素质,为研究生教育打好基础已是教育界的共识。各类高校都把培养本科生的科研素质列为教改目标之一,相关的文件和论著也汗牛充栋,但在如何培养本科生的科研素质这个关键问题上,给出的措施不外乎加强相对独立于课堂教学(理论课教学)的实验(践)活动,如强化本科实验(践)课程教学改革、设立各种级别和形式的大学生创新(业)项目、引导本科生积极参与教师的科研项目、重视本科毕业论文(设计)指导等,而对如何在本科生学习科学知识的最重要的方式和场地——课堂教学上培养学生的科研素质却几乎很少探讨。

尽管随着社会经济和科技的快速发展,高等教学出现了慕课、微课、翻转课堂、小班讨论等多种形式的教学方式,但教学工作的核心仍然是教师指(引)导学生学习,在相当长的未来,由教师主导并为学生讲解专业知识的课堂教学仍然将是本科生系统地获取科学知识的主要形式,而实验课程和科研训练的内容和形式虽然也在增加,但对于本科生而言,有限时数的实验(践)仍然只是配合课堂系统学习科学知识的手段,而并非本科教学的主要内容。因此挖掘课堂教学的潜力,提高课堂教学的效率,在课堂教学中既要给学生讲解科学结论,又要让学生明白科学家的科学思维和科学研究过程,即培养本科生的科研素质,是每位高校教师面临的难题之一。笔者为生物科学和生物技术基地班主讲遗传学(双语教学,80学时)和基因工程(48学时)等课程10多年,始终注重在课堂教学上培养学生的科研素质,采取了一系列有针对性的教改措施^[1,2],取得了满意的效果,积累了一些经验,拟与同行分享。

1 课程内容反映学科体系

教学内容是课堂教学的基础,也是培养学生科学素质的土壤,因此,无论教学时数多少,本科教学内容都要保持完整的体系,内容全面、脉络清楚、

层次分明。教师在圈选教学内容前要仔细解剖本学科,找到研究核心和学术脉络,有意识地体现学科的科研进程、科研思维。例如:作者认为遗传学研究的中心问题是“遗传信息”的结构与功能,因此可以从“遗传信息的储存”、“遗传信息的读取”、“遗传信息的复制”、“遗传信息的变异”和“遗传信息的传递”5个方面(模块)阐明“遗传信息”的结构与功能,以此构建“1个中心、5个模块”的遗传学教学体系,给学生一个简明清晰的学术框架^[3]。在每个模块中以“章”的形式列出阐明这个模块主题的学术内容,如“遗传信息的储存”模块包括4章:“DNA结构”、“遗传密码”、“染色质结构”和“基因组”;“遗传信息的读取”模块包括4章:“mRNA转录和加工”、“蛋白质翻译”、“基因表达的调控”和“发育过程中的基因表达”;“遗传信息的复制”模块中包括1章:“DNA复制”;“遗传信息的变异”模块包括6章:“DNA重组”、“转座”、“突变与修复”、“染色体变异”、“癌症的遗传学基础”和“进化的遗传学基础”;“遗传信息的传递”模块包括7章:“细胞分裂”、“孟德尔遗传”、“孟德尔遗传比例的扩展”、“性别决定的遗传机制”、“染色体作图”、“数量性状遗传”和“群体遗传”。上述22章内容基本上涵盖了64~80学时本科遗传学教学的全部基础知识。如果教学时数少(如48学时),则可以把生物化学和细胞生物学课程讲过的内容列为自学内容,如“细胞分裂”、“DNA复制”、“遗传密码”、“蛋白质翻译”等。

2 教学内容反映科研进展

构建好教学内容体系后,要从能够反映本学科新进展的参考书中选取教学内容。笔者从若干本国国际流行并频繁再版的英文专业参考书中摘取内容,并结合本学科领域中的顶级学术期刊中的最新综述和研究论文,力求使各章节的教学内容既有经典实验和理论,又有最新进展和案例,使学生既学习了理论知识又了解了学科最新发展,培养他们跟踪学科发展前沿和热点的能力。笔者主讲的遗传学的主要教学内容取自《Essentials of Genetics》^[4]和《Principles of Genetics》^[5]等国际流行原版教材,结

合 *Nature*、*Science*、*Cell*、*Nature genetics*、*Nature reviews genetics*、*Trends in genetics* 等权威学术期刊的论文,使学生意识到所学内容仍在不断更新,教科书上的知识只是同行公认的科研成果,而新的科研成果也在不断地进入教科书,建立知识来源于科学研究的理念。

例如,同源染色体联会是理解孟德尔自由组合定律和摩尔根基因互换假说的细胞学基础,但在细胞核里有几十条染色体,其中某两条同源染色体凭什么能互相找到对方并联合在一起?教科书里一般不介绍。作者查阅了一些研究文献,在课堂上给学生介绍了同源染色体被核膜上的蛋白质牵拉配对模型^[6]。小鼠毛色的遗传模式是讲解基因相互作用的经典案例,但教科书中并不介绍控制小鼠毛色的等位基因的显性与隐性的实质,学生只能死背基因型和表型。作者查阅了大量文献,弄清了控制小鼠毛色的等位基因实质,给学生进一步讲解基因如何控制毛色^[7],并延伸阐述了致死基因、一因多效、显隐性的实质和相对性^[8]。再如,物种的关键特征是生殖隔离,因此,了解哪些基因控制生殖隔离是在分子水平上理解物种形成的关键。作者查阅了一些文献,给学生归纳了若干种“物种形成基因”(The speciation genes),即如果发生突变将会导致生殖隔离的基因,如杂种不活基因(Hybrid inviability genes)^[9]和杂种不育基因(Hybrid sterility genes)^[10,11]等,使学生对进化和物种形成的遗传学机制有了更为深刻的了解。

3 对教学内容的讲解应反映其科研活动

限于篇幅,生命科学的教科书往往是归纳总结众多观察和实验的结果后直接叙述结论,即“鱼”,而难以逐一介绍得出该结论的科学研究过程和结果分析,即“渔”。这样做的好处是简明扼要,便于阅读和记忆,但缺点是未能充分展示该知识点的来龙去脉,尤其是该知识点背后的科研活动。对于本科生而言,理解和记忆已有的知识点固然是首要任务,但作为教师,单纯解释这些结论性知识点则很可能沦为照本宣科或朗诵 PPT。这就要求教师适当讲解与知识点相关的科研活动和科研思维。笔者做了如下 5 方面的实践:

3.1 把知识“点”扩充成知识“块”

尽管在构架课程体系时已经注意到把内容和逻辑相关的知识点章节相邻排列,有助于反映各知识点之间的学术联系。但初学者仍然难以从整体上把握一门课程的学术脉络,需要教师在课堂教学过程中帮助建立各知识点之间的联系,特别是梳理相关知识的渊源,通过寻根和理枝,把知识“点”扩充成知识“块”,即先找到这个知识的来源,再找到它的发展前沿,水平方向把一个点延伸成一条“线”;再找与其他知识点的横向联系,扩展形成一个“面”;最后找与其他章节内容的纵向联系,提升形成一个知识“块”,即:“点”-“线”-“面”-“块”。

例如对“DNA 的结构与功能”这个知识点(图 1),教科书都会详细叙述 DNA 双螺旋结构的碱基配对原则、直径、右手螺旋、两条链反相平行、拆链复制和转录等结论。教师可以从核酸转化实验证实“DNA 是遗传物质”这一重要结论开始,引导学生了解为什么揭示 DNA 的分子结构这件事变得如此重要,因为不了解 DNA 的分子结构,就无法想象 DNA 分子如何实现其作为遗传物质的使命,如自身复制、转录 RNA、控制性状、基因变异和进化等问题。然后再给学生简要介绍 Watson 和 Crick 等用了什么方法解析出 DNA 分子的双螺旋结构,其中插入对 Chargaff、Franklin 和 Pauling 等的研究简介,5 分钟即可给学生一个关于 DNA 双螺旋结构发现过程的概述。这个简短的概述其实已经暗含了至少两个非常重要的科研要素,即选题(为什么要研究 DNA 分子结构)和研究策略。这样的讲法使课堂有趣,吸引了学生的注意力,并且在学生心中埋下了科研的种子,但这还只是一小步,因为提出 DNA 双螺旋结构模型是 20 个世纪中叶的事了,对学生而言已经是遥远的过去。过去的事情无论多重要,如果对现在或未来不产生更多的影响,学生会把它当成纯粹的故事,听过也就听过了。笔者会提醒学生,双螺旋仍然只是 DNA 的一个结构“模型”,科学家至今还没有像用显微镜观察细胞结构那样观察到真实的 DNA 双螺旋,这也是个需要解决的科学问题。一方面我们找不到理由怀疑 DNA 是方向相反的双链,因为如果不是双链,如今的许多实验结果和基于 DNA

双链的操作技术(如基因工程)都无法解释。但另一方面,生物学作为实验科学,其本质要求我们“看到”

DNA 双螺旋,尤其是看到这个双螺旋在活细胞内是

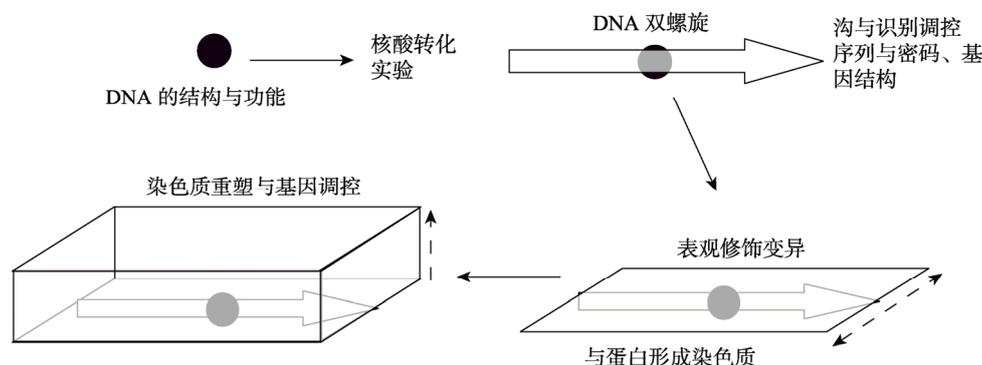


图 1 将“DNA 结构与功能”知识点扩充为知识块的过程示意图

Fig. 1 Schematic diagrams of the process in which the knowledge point of “structure and function of DNA” is augmented to a knowledge cube

本知识点先简略介绍 DNA 的双螺旋结构模型^[12](可以适当介绍发现 DNA 双螺旋的故事,如 Pauling 的三螺旋模型^[13]、Franklin 的“Photo 51”等),然后回顾 Avery 等^[14]证明“DNA 是遗传物质”的转化实验(顺便也可以提及 Avery 的同事 Alfred Ezra Mirsky 阻挠诺贝尔奖委员会授予 Avery 诺奖的史话)。向前延伸重点介绍 DNA 结构中的碱基配对与遗传物质复制和基因突变的关系、大沟小沟与转录因子识别及基因表达和调控的关系,把知识“点”延伸成“线”。进一步介绍 DNA 与组蛋白形成的染色质结构模型以及基于 DNA 和组蛋白修饰的表观遗传调控,把知识“线”拓展为“面”。最后介绍染色质缠绕形成疏松和致密的结构域(常染色质和异染色质),在更大范围内影响其中的 DNA 转录,把知识“面”拓展为“体”。

如何工作的,眼见为实。这样就告诉学生们,对 DNA 的分子结构解析还留有需要解决的问题,如果有一天我们能研发出更为强大的显微技术,看到细胞内自然状态下的 DNA 分子,甚至是活细胞内活动的 DNA 分子,肯定还能发现更多的生命奥秘,相当于给学生们指出了关于 DNA 分子结构的一个研究方向。

至此,在一次课中把一个知识“点”在水平方向延伸成了一条知识“线”。但这条线还不足以全面理解遗传物质 DNA 的生物学功能,因为 DNA 在真核细胞中是以与组蛋白结合成染色质的形式存在,理解真核生物遗传物质的行为与功能(如染色体分裂、联会、交换等)不能不考虑蛋白质(组蛋白和非组蛋白)的作用,这就要求在以后的课程中进一步把 DNA 与蛋白质结构联系起来,阐明染色质结构,相当于横向把知识“线”扩增成知识“面”。最后还必须介绍染色质成份的化学修饰(表观遗传)与结构重塑(Chromatin remodeling)对基因表达的调控,才能比较全面地理解 DNA 上的基因在不同组织细胞或不同的发育阶段具有不同的表达模式,即纵向把知识“面”扩展成知识“块”。这种从 3 个维度综合阐

明某个知识点的学术背景和科研逻辑的授课方式,才能使学生了解某一科学问题的学术地位和意义以及解决该科学问题的科研策略,培养学生的科学思维 and 创新能力。

然而,教师怎样备课才能把知识“点”做成知识“块”呢?笔者的经验有以下几点:

第一是深入查找原始文献,以写综述的模式和方法备课,力争把每个知识点都写成“微综述”,这样才能在讲台上谈古道今、旁征博引。

第二是直接查阅该知识点相关的综述论文。综述是科研工作者撰写的学术论文,都经过同行评审,可信度高,有助于教师全面了解该知识点的来龙去脉和发展历程。尤其是权威学术期刊的综述,大多是出自本研究领域的学术大家之手,更是绝佳的参考资料。

第三是参考诺贝尔奖获得者的 Nobel lecture、科学家的自传或学术同行撰写的对某科学家的纪念性文章等。这类文章一般也是刊登在学术期刊上,类似于综述,虽然主要是回顾某一位学者的学术历程和学术贡献,但往往也是对某一个科研领域的梳理。

第四是参考英文版的维基百科(Wikipedia)^[15]。维基百科虽然不是学术期刊,上边的内容也是不署名作者写的,未经同行评审,可信度不如学术期刊的综述,但它的好处是既有对学术概念的介绍,也有该知识点的历史沿革以及相关人物和事件的介绍,内容也配有参考文献,便于核实和延伸阅读。从写作方式和内容可以看出一般都是出自学者之手,有一定的可信度。

3.2 重现知识点的原始发现

培养科研素质首先要培养原始创新意识和尊重原创的态度,因此在课堂讲解知识点的时候应该有意识地告诉学生该成果是由谁在何年何种历史条件下如何发现或发明的,正如我们写科研论文都要引用原始参考文献一样,这是学科梳理必不可少的工作。但实际上,教科书(尤其中文教科书)一般都不引用参考文献,而在课堂教学上,限于学时数,教师也直奔主题,直接介绍概念和原理,很少介绍科学家最初如何得到这些结论,仿佛这些知识是公理。如遗传学中的减数分裂、染色体、基因、生殖细胞等,这实际上丢掉了最值得学习的知识,即科学发现的技能,也忽视了最重要的科研素质,即原始创新意识和能力。当教师带领学生穿越历史回溯到某知识点最初的源头时,我们往往会惊讶地发现,前辈科学家竟然是在如此简陋的条件下如此巧妙地做出了即使在今天也叹为观止的科学发现。而我们在座的每一位学生所拥有的学术资源和实验条件都已今非昔比,只要对科学充满兴趣并努力学习和研究,没有任何理由不能做出类似前辈的成就。通过讲解原始发现,学生既学到了科研技能,也培养了创新意识和增强了科研自信心。

3.3 介绍原创性学术贡献的科学家

科学研究中最活跃最具创造力的因素是科学家,初学者如果能当面聆听科学大师的教诲,一定会点燃自己心中的科学之火,激起内心成为科学家的冲动。笔者收集了遗传学课程提到的所有科学家的照片(或画像)、出生年代、主要学术贡献等资料。为了能在课堂上达到科学大师“现身说法”的效果,

在讲解某科学家的发现时,同时展示这位科学家的照片,让学生们一睹大师的风采。我们在 80 学时的遗传学课程中共展示了 194 位科学家(名单和照片穿插于 PPT 课件),平均每节课介绍 2~3 位科学家,再配以各位科学家的研究材料和设备照片,犹如带领学生们在遗传学史博物馆里参观了半年,既学习了为本门学科做出突出贡献的几乎全部前辈科学家的成果,又近距离目睹了他们的容颜。教科书里的知识不再是抽象的原理或干巴巴的句子,而是某个有名有姓、生活在某个历史年代的具体的人的发现(发明),这个人就在眼前,也长着普普通通的面孔,与听课的学生一样,并无特殊之处,因此,学生们也有信心做出一番科学成就,成为这个科学殿堂中的一员。

3.4 适当介绍科学史话

为了进一步增加学生对科学研究的兴趣,强化投身于科学研究成为科学家的愿望,在介绍某科学家的时候,笔者会利用课间休息的时间适当介绍一些关于该科学家的趣闻轶事,如两次获得诺贝尔奖的美国科学家 Linus Pauling 与 Watson 和 Crick 竞争解析 DNA 分子结构模型却得出 DNA 是三螺旋的错误结论;对人类基因组测序做出重大贡献的美国著名科学家 Craig Venter 与国际人类基因组计划项目的激烈竞争;Thomas Morgan 与其著名弟子 Alfred Sturtevant、Calvin Bridges 和 Hermann Muller 等在哥伦比亚大学和加州理工学院的建立的遗传研究室“Fly Room”等。故事多数来源于维基百科里的记述,不一定完全属实,学生也可自由选听,不占用教学时间,但为课堂教学营造了科研气氛,让学生知道科学研究活动的趣味。

3.5 适时介绍本学科的发展方向

本科教学是教一门课,而不只是教一本书,其重要特征是要有系统性和前瞻性。教师除了要系统地介绍基础内容外,还应该给学生指出本门学科当前的研究热点和未来的研究方向,培养学生的好奇心,以利于学生发现自己的科研兴趣,并在以后读研究生时选择感兴趣的研究方向。遗传学是生命科

学中发展最快的学科,也是生命科学中对人类社会影响最大的学科,因此在整体上始终是生命科学研究的重点和热点。笔者在遗传学教学的每一章中都要介绍本章内容的最新研究成果案例,如基因组学(Genomics)、蛋白质组学(Proteomics)和转录组学(Transcriptomics)以及由此催生的代谢组学、表型组学等一系列的“组学”研究,并引出了合成生物学这种具有未来生物学特征的学科;研究 DNA 甲基化和组蛋白修饰对基因功能影响的表观遗传学正成为认识生命奥秘的新领域。基因组学的成果也带动了分子医学的发展,美国已大力提倡精准医疗;最近几年出现的诱导型多能干细胞(Induced pluripotent stem cells)培养和诱导分化技术、CRISPR/Cas9 基因组编辑技术等,对医学和人类社会的发展将带来不可估量的影响,都是学生们应该关注和选择研究方向时应该考虑的。

4 用 PPT 动画讲解科研原理和实验过程

子曰:“工欲善其事,必先利其器”(《论语·卫灵公》)。做好任何事都必需有一套技能。前文强调过,本科教学不仅仅叙述教科书中的结论,更重要的是讲解这些知识的来源和科学原理。但绝大部分本科生还没有受过系统的科学实验或实践训练,甚至还没有进过科研实验室,未操作过现代科学仪器,因此教师在课堂上很难仅凭单纯讲述或借助粉笔、黑板让学生领略前人的科研设计、研究过程和结果分析技巧。现代多媒体影像与数字技术,使我们能用“虚拟”技术在课堂上给学生演示科学实验原理和操作过程。目前的高校教室内绝大多数都安装了电脑和投影仪,理论上可以播放任何格式的视频和运行任何多媒体软件。这就要求教师学习使用一些专业多媒体软件,如 3DMAX、MAYA、FLASH、Authorware 等,能够绘制逼真的实验设备并制作动画短片。但目前绝大多数高校教师只会使用 PPT(PowerPoint)授课,因为 PPT 上手极为容易,只要会打字、插图即可。实际上大多数教师使用 PPT 也仅限于播放大段文字和部分课本插图,相当于把照本宣读转变为照 PPT 宣读,并非用 PPT 演示过程或讲解原理,并未发挥出 PPT 的高级功能和多媒体

设备的作用。其实,Office 套件中的 PPT 的功能非常强大,可以说相当于将 Word 与 Flash 动画软件组合在一起,除文字和提纲外还能自由绘制各种图形、编辑和组合图形与文字并赋予其规定的动作和路径,做出精美的动画片,如互联网上广为传播的普锐 PPT 大赛获奖作品即是 PPT 动画的代表作。由于 PPT 动画不需要输出成为其他格式的成品视频,而是以原始素材形式存在,完全“开源”,因此用 PPT 制作的动画不论多复杂,其每个元件的每一个动作都单独可控和随时可修,因而更适合教学讲解和同行参考。笔者也使用 PPT 授课,经过长期实践摸索,掌握了一些 PPT 动画高级技巧,能用 PPT 制作简单的 3D 图像和动画,演示遗传学课程的分子结构、技术原理、实验过程、数据分析等,收到了非常好的教学效果。

4.1 用 PPT 动画讲解科学原理

正确理解科学原理并能准确运用科学原理解释自然现象是科学素质的重要特征,因此教学的首要任务是给学生讲清楚科学原理。但单纯用文字和插图难以讲清楚一个连续复杂的原理过程,最好将原理制作多媒体动画演示给学生。PPT 里提供一些简单的图形元件,如圆形、方形、梯形、菱形、三角形、直线、箭头、弧形等。初学者一般都是用这些基本的几何图形象征性地表示某个细胞结构或分子。画出一个基本图形后,即可选择该图形,用工具栏“动画”工具里的“添加动画”命令即可根据需要给这个元件赋予某种动作(进入、退出、强调等)或路径,来表示其生物学功能。但使用 PPT 中的基本几何图形通常无法更细腻逼真地讲解生物体、器官、组织、细胞等复杂的生命结构及其功能,这时候需要自己用 PPT 里的直线或曲线画图并编辑图形,画出逼真的生物或者组织结构。也可以在 PPT 里插入一张照片,比如人的照片、仪器设备照片等,然后用鼠标选取工具栏“绘图”里的“曲线”,先分别把人体照片的各个部位的轮廓粗略描出来。然后把 PPT 页面视图放大,右键点击轮廓,选择“编辑顶点”,用鼠标拉动曲线上的各个顶点,把描的不吻合的地方调整到与原图轮廓重合。此外,还可以给

自己画的每个图形“填充”各种颜色并用“形状效果”渲染,表现出一定程度的立体感。

PPT 自带的动作模式虽然简单有限,但把各种动作模式组合起来也能表现一个复杂的动作,像动画片一样,很好地演示一个完整的故事。根据每个图形、文字要表现的内容分别为它们规定出场、动作、路径、退场等时间顺序和组合动作模式,编排一组动画。笔者经过多年努力,已经把遗传学课的几乎所有原理都做成了 PPT 动画,课下虽然花了大量时间,但课堂上能够运用自如,简明易懂地展示科学研究过程和抽象原理,教学效果自不待言。

4.2 用 PPT 绘制虚拟实验

PPT 绘图也可以画出各种各样富有立体感的实验仪器和耗材,如离心机、移液器、试管、烧杯、培养皿等。用 PPT 绘制的每一个图形都是一个独立的可操控对象,可以赋予其多种不同的动作,并形成动作组合来表现其功能。如带盖子的离心管、培养皿、试剂瓶等,可以把盖子揭起来并把内盛的“液体”倾倒出来。实验台、摇床、电泳仪、电泳槽、电泳胶、移液器、玻璃器皿等大小每一件实验器材都可以逼真地画出来,并独立设置动画操控,相当于在 PPT 上一步一步地做一个虚拟实验,在课堂上把实验过程展示出来,让学生知道实验结论是如何得出来的,既节约课堂时间,又有逼真的动作效果。例如笔者把 DNA 提取、酶切、细菌转化、诱导表达、Southern blot、Western blot 等实验都做成了逼真的虚拟实验操作动画,一边讲解原理,一边演示实验,学生们不仅了解了这些实验技术的原理和应用,也“看到了”实验操作。

5 用双语教学方式培养阅读科研文献的能力

理科,特别是生命科学,其学科的形成和主要研究成果均来自于西方,近代有影响力的科研成果首先以英文论文的形式发表。因此培养本学生的科技英语阅读和写作能力对培养和提高学生的科研素质具有重要意义。我们使用双语教学模式^[16],使用英语原版专业教科书,让学生阅读本专业的英文参考书籍或学术论文,熟悉本专业的英语语境。

平时作业也强调英语阅读,给学生一些英文网站和搜索引擎,教学生学会使用网络查阅资料延伸阅读。让学生翻译若干篇高水平学术期刊上的专业英文论文,进一步引导学生熟悉英文文献、了解科研前沿成果,了解学术论文的结构,为自己将来用英文写作科研论文奠定基础。

6 课程考核重点考察学生对科学问题的分析和解决能力

为了评价这种以提高本科生科研素质为中心的一系列教改措施的教学效果,笔者在课程考核内容上也进行了一系列相应的改革。为了在试卷上考察学生的科研素质,试题尽量避免死记硬背,而是能够反映学生理解科学原理、设计实验、展开逻辑推理、分析数据、综合应用各章节的相关知识等的研究型综合能力。如,为了考察学生学习和掌握本课程的广度,每一章都出 1~2 个选择题,每份试卷通常有 25~30 个选择题,每个选择题 1 分。这些选择题分值虽小,但并非记忆型的简单四选一,而是需要分析、思考、辨识,主要考察能力,有一定的挑战性。例如:

“某研究人员研究拟南芥中一个不完全显性基因的功能时,用显性纯合体与隐性纯合体拟南芥杂交,发现有些 F_1 表现隐性性状。若他想知道这些 F_1 的基因型是否为杂合体,应该优先选择下列哪一种遗传学实验方法?

- (1) 对这些 F_1 DNA 进行测序;
- (2) 用已经确认的该基因的隐性纯合体与这些 F_1 进行杂交;
- (3) 用已经确认的该基因的杂合体与之杂交;
- (4) 不必做实验,因为从表型上可以看出这些 F_1 的显性等位基因肯定发生了突变,成了隐性纯合体”。

回答这个选择题需要有孟德尔遗传定律、基因型与表型、显性等位基因与隐性等位基因的基础知识,还要考虑表观遗传变异的可能,更要理解科学研究实践中不能仅靠表型一个指标就断定基因型,还需要其它实验结果辅助证实,所以还是应该选(2)先做一个测交实验,看看杂交结果是否为 1:1。

即使用名词解释考察学生对本学科特有的基本概念掌握程度,也不是单纯考察死记硬背,而是把容易混淆的概念分为一组进行解释和辨析,彻底厘清基本概念的含义,例如“常染色质”与“常染色体”、“转座”与“易位”、“显性基因”与“上位基因”、“母性影响”与“母性遗传”等,学生必须明白这些概念在学术上的具体指向和区别。

为了考察学生运用遗传学原理和知识解决问题的能力,笔者还会出 5~6 个简答题,每题 5~6 分,这些题更不是死记硬背,往往需要分析实验数据得出推论,或根据实验原理思考实验中的“意外”结果、设计正确的实验方案等。例如:

| Cross | P ₁ | F ₁ | F ₂ |
|-------|----------------|----------------|---------------------|
| 1 | Sandy×sandy | All red | Data lost |
| 2 | Red×sandy | All red | 3/4 red:1/4 sandy |
| 3 | Sandy×white | All sandy | 3/4 sandy:1/4 white |
| 4 | White×red | All red | Data lost |

“猪的毛色有沙色(sandy)、红色(red)或白色(white)。遗传学家可以用纯种猪交配得到各种不同的毛色组合。一位遗传学工作者在 4 组杂交中得到一些数据(上表),也遇到了问题,即丢失了两组 F₂ 数据。请你(1)用剩余的数据预测猪毛色的遗传模式和所涉及的基因数目;(2)写出每种毛色的基因型,并写出你的分析理由;(3)预测丢失的两组 F₂ 的表型和比例”。

有些题甚至没有标准答案,只是考察学生对于所学课程知识的归纳、分析和演绎能力,如:“评述某种实验技术(如基因组测序技术、基因组编辑技术)的应用前景”;“预测某热门研究方向(如非编码序列)可能产生的成果”;“假如将来从事遗传学方面的科学研究,你将选择那个研究方向,为什么?”等。

此外,还要出一个 10 分左右的综合题,考察学生整体上掌握和综合运用遗传学知识的能力。回答本题往往需要涉及若干章的内容。例如:

“在一项研究中,某科学家将几只雄性老鼠置于一个大的、富有侵略性的老鼠的恐吓之下煎熬了 10 天。实验结束时,这些被威胁的老鼠变得孤僻了。为了证实这些影响是否能传递到下一代,该科学家

选择了一组被恐吓过的雄鼠与未被恐吓过的雌鼠繁殖后代,并彻底杜绝它们与后代相见。尽管完全没有与它们的抑郁父亲相见,这些后代小鼠长大后也对压力过于敏感。请从这个例子出发回答(1)基因控制性状的分子遗传学机制;(2)从分子水平、细胞水平、组织水平叙述影响基因功能的因素;(3)分析本案例的可能原因(如基因组印记、母性遗传、表观遗传或环境影响等),并设计实验验证自己的假设”。

回答本题需要用到遗传学课程所学的所有知识,如数量性状的多基因控制、等位基因、上位基因、染色质结构、表观遗传(组蛋白修饰、DNA 修饰)、基因与环境的相互作用、行为遗传学、发育遗传学、DNA 序列测定和检测 DNA 甲基化的分子生物技术等,即综合运用所学基础知识分析科学问题的能力。

总之,我们以培养本科生的科学研究素质为目标,充分利用课堂教学时间和现代多媒体技术,从多方面入手,系统而有实效地培养学生与科学研究有关的意识和能力。注重细节设计和过程培养,做到潜移默化、耳濡目染,在学生理解和接受知识、掌握和运用科学原理的基础上,把学生从教学课堂引入科学殿堂,提升了教学水平和质量,启迪智慧、陶冶情操。我们对遗传学及相关课程持续实施了 10 多年教改,卓有成效。根据学生自己的感想和研究生培养单位的反馈,以及我们自己的对比观察,教改班毕业生在研究生面试和读研过程中显示出了明显的优势,获得了较好的口碑,说明我们的教改措施确实能提高本科生的科研素质,为学生进入研究生阶段从事科学研究奠定了良好的基础。由于我们的口头禅是“遗传学思维”,部分学生甚至把我们的授课模式戏称为“遗传学洗脑”,其实我们只是刻意在课堂教学中引入与科研素质相关的元素,让课堂充满研究气氛。我们相信这种教改模式并非遗传学独有,其理念和方法完全可以在其他课程教学中推广。

参考文献(References):

- [1] Xing WJ, Morigen, Su HM. An exploration for research-oriented teaching model in biology teaching. *Hereditas (Beijing)*, 2014, 36(7): 732-738.
邢万金,莫日根,苏慧敏. 生物学教学中研究型教学方

- 法与内容的探索. 遗传, 2014, 36(7): 732–738.
- [2] Xing WJ, Morigen, Su HM. Primary discussion on reformation of genetics teaching. *J Biol*, 2012, 29(3): 105–107. 邢万金, 莫日根, 苏惠敏. 浅议遗传学教学改革. 生物学杂志, 2012, 29(3): 105–107.
- [3] Xing WJ, Morigen, Damirin A, Su HM. Restructuring teaching contents of genetics by focusing on the genetic information and its connection with other courses. *Hereditas (Beijing)*, 2011, 33(6): 661–664. 邢万金, 莫日根, 阿拉坦高勒, 苏慧敏. 以遗传信息为主线的遗传学教学架构及与其他课程的衔接. 遗传, 2011, 33(6): 661–664.
- [4] Klug WS, Cummings MR, Spencer CA, Palladino MA. *Essentials of genetics*. 8th ed. San Francisco: Pearson, 2012.
- [5] Snustad PD, Simmons MJ. *Principles of genetics*. 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 2011.
- [6] Jaspersen SL, Hawley RS. Meiotic pairing as a polo match. *Dev Cell*, 2011, 21(5): 805–806.
- [7] Xing WJ, Morigen. The genetic control of mouse coat color and its applications in genetics teaching. *Hereditas (Beijing)*, 2014, 36(10): 1062–1068. 邢万金, 莫日根. 小鼠毛色遗传的控制机制及其在遗传学教学中的应用. 遗传, 2014, 36(10): 1062–1068.
- [8] Xing WJ, Morigen. Understanding the cellular and molecular mechanisms of dominant and recessive inheritance in genetics course. *Hereditas (Beijing)*, 2015, 37(1): 98–108. 邢万金, 莫日根. 遗传学教学中在细胞与分子水平上理解等位基因的显性与隐性. 遗传, 2015, 37(1): 98–108.
- [9] Schartl M. Evolution of *Xmrk*: an oncogene, but also a speciation gene?. *BioEssays*, 2008, 30(9): 822–832.
- [10] Sun S, Ting CT, Wu CI. The normal function of a speciation gene, *Odysseus*, and its hybrid sterility effect. *Science*, 2004, 305(5680): 81–83.
- [11] Phadnis N, Orr HA. A single gene causes both male sterility and segregation distortion in *Drosophila* hybrids. *Science*, 2009, 323(5912): 376–379.
- [12] Watson JD, Crick FHC. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 1953, 171(4356): 737–738.
- [13] Pauling L, Corey RB. A proposed structure for the nucleic acids. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1953, 39(2): 84–97.
- [14] Avery OT, MacLeod CM, McCarty M. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types: induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from pneumococcus type III. *J Exp Med*, 1944, 79(2): 137–158.
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.
- [16] Xing WJ, Morigen, Su HM, Hu TM. Practice and comprehension of the bilingual teaching of genetics. *J Biol*, 2011, 28(4): 96–98. 邢万金, 莫日根, 苏慧敏, 扈廷茂. 遗传学双语教学改革的实践与体会. 生物学杂志, 2011, 28(4): 96–98.

(责任编辑: 陈德富)