

# 人类血型性状综合遗传大实验的设计与教学实践

赵健<sup>1</sup>, 胡冬梅<sup>1</sup>, 于大德<sup>2</sup>, 董明亮<sup>1</sup>, 李云<sup>1</sup>, 范英明<sup>1</sup>, 王延伟<sup>1</sup>, 张金凤<sup>1</sup>

1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083;  
2. 哥廷根大学森林植物研究所, 哥廷根 37077, 德国

**摘要:** 综合大实验能够训练学生灵活应用理论知识并掌握实验技能, 成为当前实验课教学改革的重要方式。本文以人类的 ABO 血型性状为实验对象, 设计了“人类 ABO 血型分子基因分型与群体遗传平衡分析”大实验。实验中提取同学唾液中黏膜细胞的 DNA, 经过 PCR 扩增目的片段、酶切及电泳分离一系列分子遗传技术分析, 鉴定出每位同学的基因型; 然后以全班同学为一个类似孟德尔群体调查 ABO 血型的各种基因型频数, 用 Popgene 软件分析各种群体遗传参数。通过开放教学不仅让学生掌握了分子遗传实验技术和群体遗传分析技术及软件应用, 还让学生自主设计方案优化分子技术环节, 提高学生驾驭知识的能力。通过 5 年的教学探索与实践, 建立了稳定的分子遗传实验体系, 能够清楚地检测出 ABO 血型的 6 种基因型:  $I^A I^A$ 、 $I^A i$ 、 $I^B I^B$ 、 $I^B i$ 、 $I^A I^B$ 、 $ii$ ; 综合了分子遗传与群体遗传的实验教学, 统计全班同学 6 种基因型的频数, 直接计算 3 个复等位基因的频率, 进而应用软件分析群体遗传各种参数; 实现了学生自主设计并完成实验的开放式实验教学; 大实验教学获得了学生的好评, 取得了很好的教学效果。该大实验可直接应用于生物类专业的遗传学实验教学, 其中的教学理念和方法还可推广应用于其他生物学实验教学。

**关键词:** 综合大实验; ABO 血型; 自主设计; 开放式实验教学

## Teaching design and practice of human blood type traits in genetics comprehensive laboratory course

Jian Zhao<sup>1</sup>, Dongmei Hu<sup>1</sup>, Dade Yu<sup>2</sup>, Mingliang Dong<sup>1</sup>, Yun Li<sup>1</sup>, Yingming Fan<sup>1</sup>, Yanwei Wang<sup>1</sup>, Jinfeng Zhang<sup>1</sup>

1. College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;  
2. Department of Forest Botany and Tree Physiology, Georg-August-University Göttingen, Göttingen 37077, Germany

**Abstract:** Comprehensive laboratory courses, which enable students to aptly apply theoretic knowledge and master experiment skills, play an important role in the present educational reform of laboratory courses. We utilized hu-

收稿日期: 2015-09-29; 修回日期: 2016-01-14

基金项目: 北京林业大学 2015 年研究生课程建设项目(编号: YWKC15013), 北京林业大学青年教师科学研究中长期项目(编号: 2015ZCQ-SW-02), 国家自然科学基金项目(编号: J1103516)和北京林业大学教改项目(编号: bjfubio2014)资助[Supported by the 2015 Beijing Forestry University Graduate Course Development Project (No. YWKC15013), the Medium and Long Scientific Research Project for Young Teachers in Beijing Forestry University (No. 2015ZCQ-SW-02), the National Natural Science Foundation of China (No. J1103516) and the Education Reform Project of Beijing Forestry University (No. bjfubio2014)]

作者简介: 赵健, 博士, 讲师, 研究方向: 植物遗传学。E-mail: zhaojian0703@hotmail.com

通讯作者: 张金凤, 博士, 教授, 研究方向: 植物遗传学。E-mail: zjf@bjfu.edu.cn

DOI: 10.16288/j.yczs.15-414

网络出版时间: 2016/1/12 15:58:11

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1913.R.20160112.1558.006.html>

man ABO blood type as the experimental subject, and designed the experiment——“Molecular Genotyping of Human ABO Blood Type and Analysis of Population Genetic Equilibrium”. In the experiment, DNA in mucosal cells is extracted from students' saliva, and each student's genotype is identified using a series of molecular genetics technologies, including PCR amplification of target fragments, enzymatic digestion, and electrophoretic separation. Then, taking the whole class as an analogous Mendel population, a survey of genotype frequency of ABO blood type is conducted, followed with analyses of various population genetic parameters using Popgene. Through the open laboratory course, students can not only master molecular genetic experimental skills, but also improve their understanding of theoretic knowledge through independent design and optimization of molecular techniques. After five years of research and practice, a stable experimental system of molecular genetics has been established to identify six genotypes of ABO blood types, namely  $I^A I^A$ ,  $I^A i$ ,  $I^B I^B$ ,  $I^B i$ ,  $I^A I^B$  and  $ii$ . Laboratory courses of molecular and population genetics have been integrated by calculating the frequencies of the six genotypes and three multiple alleles and testing population genetic equilibrium. The goal of the open laboratory course with independent design and implementation by the students has been achieved. This laboratory course has proved effective and received good reviews from the students. It could be applied as a genetics laboratory course for the biology majors directly, and its ideas and methods could be promoted and applied to other biological laboratory courses.

**Keywords:** comprehensive experiment; ABO blood type; independent design; open laboratory course

大学本科教育是我国国民素质提高的重要阶段,对提升我国的综合竞争实力特别是创新能力具有重要意义。经济和科技日新月异的发展,要求人才培养更注重综合素质和创新思维的培养以及实践能力的提高<sup>[1]</sup>。现代教育理论认为,人类的知识体系由显性知识和缄默知识共同构成<sup>[2]</sup>:显性知识是指可以用语言、文字或符号来表达的知识,可以通过读书和听课来获得;缄默知识是指人们没有明确意识到却对我们的行为有深刻影响的知识,不只要通过读书和听课来获得,更要通过亲身实践才能获得<sup>[3]</sup>。创新源于实践,实践能力的培养与缄默知识的学习息息相关,创新精神与实践能力的培养更重于实践教学<sup>[4]</sup>。本科教育中,培养学生的动手能力和创新思维的重要途径之一是实验课教学,因此要加大实验课教学的力度。当前陈旧的实验教学内容和传统的“灌输”教学模式等急待更新和改革。与普通实验相比,大实验具有内容综合且连贯、学生分组进行实验、自主设计实验环节、所需时间长、实验室开放教学以及学生动手操作的锻炼机会多等特点,能够更好地训练学生掌握实验技能和灵活应用知识解决问题的能力,达到所学知识与创新思维、能力培养的融会贯通,成为当前实验课教学改革的重要方式。

我们在本科生的遗传学实验课教学中,发现实验内容陈旧且彼此孤立,综合性弱;教学过程中学

生比较依赖老师,独立性弱,处于被动学习状态。针对存在的问题,我们逐步开设了果蝇遗传性状分析大实验、树木多倍体诱导大实验,取得了很好的教学效果<sup>[5]</sup>。但就整体实验内容而言,分子遗传分析实验偏少,不能很好地体现遗传学的飞速发展,迫切需要进行实验内容的深化与教学方法的改革。

教学改革涉及许多方面,如学生的兴趣、实验内容的先进性、知识体系的综合性、实验技术的可靠性、实验的课时数和教学过程的有效性等等。综合考虑各种因素,我们设计了“人类 ABO 血型分子基因分型与群体遗传平衡分析”大实验,期望通过综合性大实验的教学,使学生掌握分子遗传实验技术和群体遗传数据分析技术,达到培养学生的创新思维、提高学生实际动手能力和驾驭知识能力的目的。从 2010 年最初的设想,2012 年完成基本预实验,到 2013 年预教学,2014 年正式教学,历时 5 年。经过连续 2 年的教学实践,取得了比较理想的教学效果。

## 1 综合型大实验的设计思想与操作技术探索

实验教学中实验材料的培养和维护需要大量的经费和人力投资,如模式生物果蝇的培养就是众多大学遗传学实验教学中常年进行的,而且经常由于培养箱温度突然升高、培养基污染等偶然因素导致培养的材料全军覆没,资金和人力成本投入是比较

大的。如何避开实验材料的培养而且让学生对实验感兴趣是我们一直思考的问题。因为医疗输血需要, ABO 血型性状为人们所熟知, 遗传学实验教学中, 也用血清抗原鉴定的结果, 调查 ABO 血型性状的 4 种表型: A 型、B 型、AB 型和 O 型。因为 A、B 血型的等位基因  $I^A$ 、 $I^B$  之间是共显性, 它们对于 O 型的等位基因  $i$  是完全显性, 因此, 这种血型类型有数据重叠, A 型中重叠了  $I^A I^A$  和  $I^A i$  两种基因型, B 型中重叠了  $I^B I^B$  和  $I^B i$  两种基因型。所以这类 ABO 血型数据不能按常规方法进行遗传平衡检验<sup>[6]</sup>。1990 年以后, 现代分子遗传的基因组测序技术进步使得测定 ABO 血型的基因型成为可能<sup>[7]</sup>, 一旦鉴定出 ABO 血型的 6 种基因型  $I^A I^A$ 、 $I^A i$ 、 $I^B I^B$ 、 $I^B i$ 、 $I^A I^B$ 、 $ii$ , 就克服了原来的表型调查中的数据重叠问题, 通过调查类似孟德尔群体(全班同学)的各基因型频数, 就可以按常规方法直接检测群体的遗传平衡问题。所以我们选择人类的 ABO 血型性状作为实验对象, 让学生对自身的血型进行分子遗传分析, 鉴定出自己的血型基因型。因为是自己动手实验了解自身的遗传性状信息, 会引起学生的极大兴趣, 增加学习的主动性。

掌握分子遗传实验技术是这个大实验的核心内容之一, 考虑到实验的安全性, 我们决定用学生唾液中的黏膜细胞提取 DNA<sup>[8]</sup>; 然后经过血型基因片段的 PCR 扩增与电泳检测; 血型基因片段的酶切, 酶切后 DNA 片段的电泳<sup>[9]</sup>, 根据电泳谱带鉴定出自己的血型基因型 3 个阶段完成分子分析实验。分子操作技术的可靠性是保证大实验顺利进行的核心理心, 为此, 我们进行了多次的预实验。对于实验的基本技术步骤, 我们提供基础的参考资料和多次预实验中比较好的方案, 保证大实验的顺利进行。

血型分子遗传实验的 3 个阶段涉及许多技术细节, 考虑到学时的限制, 允许每个实验小组选择自己感兴趣的某个阶段或某个技术环节, 根据其影响因素、水平等条件, 自主设计多因素对比试验, 进行优化。比如, 第二个阶段的 PCR 扩增中, 选取退火温度及琼脂糖凝胶浓度这两个影响因素, 学生自主采用均匀或正交试验设计等方法安排各因素 2~3 个水平的比较实验。教师通过质疑问难与每个小组同学一起进行辩论, 确认每个小组的计划方案科学

合理, 技术可行。计划方案通过后, 学生可利用实验室开放时间完成实验, 分析实验结果, 得出优化的实验技术体系。这样即可以在规定时间完成血型基因型鉴定, 保证大实验的连续性和完整性, 又可以锻炼学生自主设计和驾驭实验的能力。

此外, 还要掌握群体遗传的数据调查方法和数据分析软件的原理与应用。以全班同学或参加本次大实验的全体同学为一个类似孟德尔群体, 调查每一个同学的血型基因型, 统计群体的基因型频数, 根据 Hardy-Weinberg 遗传平衡定律和群体遗传数据分析方法, 应用 Popgene 软件计算等位基因频率等各种群体遗传参数并对群体平衡进行检验。

最后, 以小组为单位按学术期刊文章格式完成大实验报告。我们选择的期刊是《北京林业大学学报》和《植物遗传资源学报》等核心期刊, 目的是让学生了解现实社会中学术交流的基本途径, 学以致用, 设计的整体思路见图 1。

## 2 教学实施过程及需注意的关键环节

整个大实验分 4 次课进行, 每次实验课半天时间, 一般每周一次课。实验课是理论知识与技术实践的结合, 与现实社会中科研或生产情形十分相似, 是培养学生综合能力的理想平台。为了培养学生的组织协调能力和领导配合能力, 全班同学按 3~5 人自由组合成若干小组完成长达 1 个月的大实验。第一次课先介绍大实验的学生分组原则和总体要求, 然后是实验内容—DNA 的提取与检测; 第二次课是自主设计实验方案的审核与实验内容—目的片段的 PCR 扩增与电泳检测及酶切; 第三次课是实验内容—酶切片段电泳及血型基因型分析; 第四次课是血型基因分析数据的统计与群体遗传分析。

第一次课要强调学生分组的自愿组合, 明确每人分工负责的工作, 出现问题的解决原则。需要学生掌握唾液的取样方法、DNA 的提取技术示范与操作和提取的 DNA 浓度的检测。

第二次课重点是学生自主设计实验方案的审核, 需要追问实验原理和挑剔技术细节, 检查学生的准备情况, 锻炼学生的思辨能力, 鼓励学生质疑权威, 不但能发现问题, 更能提出解决问题的方案。需要学生学习 PCR 技术扩增 DNA 片段的原理和酶切原理

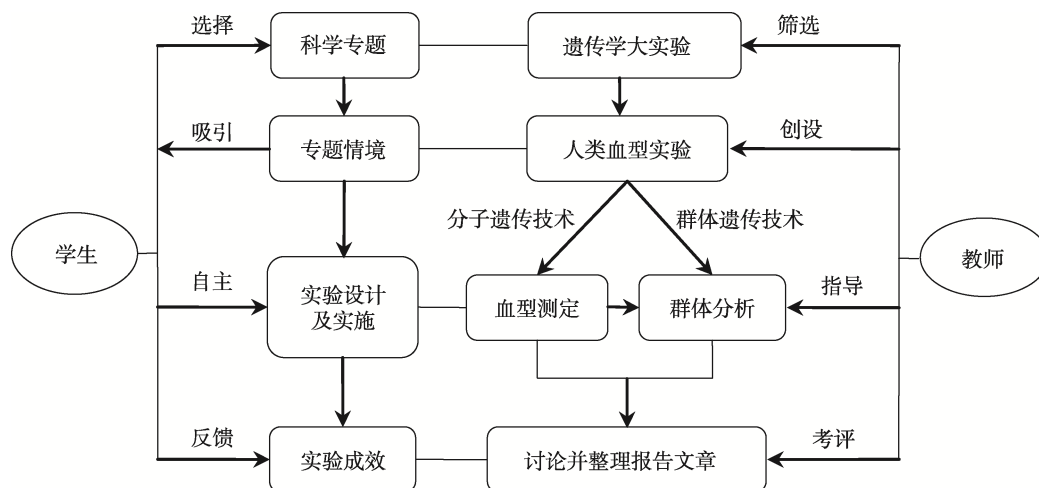


图 1 以人类血型性状综合遗传大实验为例的分子遗传和群体遗传的教改流程图

Fig. 1 Flow chart of course design for molecular genetics and population genetics educational reform (in the case of comprehensive genetic experiments of human blood type traits)

和 PCR 扩增技术与琼脂糖凝胶电泳技术示范与操作。

第三次课重点是酶切片段电泳结果的血型基因型分析, 检查学生判读每人血型基因型的正确性。

第四次课的重点是遗传平衡定律的内容及其应用的介绍和 Popgene 等群体遗传分析软件的使用方法介绍与演练。

由于整个大实验是分组进行的, 各小组间完成进度不一, 各次实验间时间上可能会有重叠。为了解各小组的进度并提供有针对性的指导, 确保每个小组都完成了所有技术环节, 每个小组要将完成的阶段实验结果给老师看, 老师检查合格后需在“实验进程项目考核单”(附图 1)上签字认可, 然后才能进行下一阶段的实验, 直至完成全部大实验内容。

### 3 教学效果及学生评价

学生 DNA 的提取是用唾液中的黏膜细胞经一系列的分子遗传技术操作进行, 所提 DNA 溶液用核酸定量分析仪检测, 浓度达到 100 ng/μL 以上才能进行下一步的 PCR 试验。不合格的同学需要重新提取。附图 2 是生科 12 班 2 名同学的 DNA 浓度检测结果, 1 名同学的 DNA 浓度是 658.0 ng/μL, 另 1 名同学的是 181.2 ng/μL。

以提取的 DNA 为模板, 用 2 对引物分别 PCR 扩增处理, 一对引物应扩增出 159 bp 的目的片段, 另一对引物应扩增出 200 bp 片段。2% 琼脂糖凝胶电

泳检测目的片段扩增结果, 所有组员均扩增成功, 才能进行下一步的酶切实验。附图 3 是生科 12 班 8 名同学的 2 对引物 PCR 片段电泳结果。

将扩增的 200 bp 目的片段用 *Kpn* 酶切, 159 bp 目的片段用 *Alu* 酶切, 并将酶切之后的 DNA 片段电泳。若 *Kpn* 酶切条带若有 200 bp 的条带, 且 *Alu* 酶切之后含 159 bp 的条带, 则认为含有 A 基因; 若 *Kpn* 酶切条带若有 200 bp 的条带, 且 *Alu* 酶切之后含 118 bp 的条带, 则认为含有 B 基因;

若 *Kpn* 酶切之后, 含有 171 bp 的条带, 且 *Alu* 酶切之后含 159 bp 的条带, 则认为含有 i 基因。附图 4 左侧是生科 12 班 4 名同学的酶切片段电泳结果, 右侧是这 4 名同学的血型基因型鉴定结果。

从各小组的分子遗传实验过程看, 尽管有的小组某个环节不成功有重做一次的现象, 最后所有的小组都成功地鉴定出了自己每个成员的血型基因型。

生科 11 班 ZTZX 小组除了通过 DNA 提取、扩增及酶切, 检测出了本组成员 ABO 血型基因型, 还采用均匀设计方法, 对 PCR 退火温度及琼脂糖凝胶电泳浓度进行了优化, 发现 54 为最适退火温度, 3% 为最适琼脂糖浓度。附图 5 生科 11 班 ZTZX 小组在 3% 琼脂糖凝胶 PCR 扩增产物的电泳检测结果, 左侧退火温度是 50, 右侧退火温度是 54。

最后, 以生科 12 班 28 名同学为一个类似孟德尔群体, 统计 28 个人的 ABO 血型基因型, 用 Popgene

软件进行群体遗传参数的分析, 见附表 1, 其中 A 为基因型的统计结果及卡方值计算, B 为遗传平衡检验结果, C 为等位基因频率。该结果显示该群体的 ABO 血型性状处于遗传平衡状态。

整个大实验完成后, 各小组需按要求提交按照学术期刊的论文格式撰写的实验报告、教师签字后的实验进程考核单、大实验感想等材料。

在学生的大实验感想中, 有的学生写到: “这次不再是纸上谈兵, 也并不是在做一道试卷上的‘某个群体’题, 这次从我们本班同学中采集数据。突然有了一种意识, 虽然可能大体仍处于平衡之中, 但是会有许多基因型或是表现型处于数量上的劣势, 但作为遗传多样性的一部分, 我们有必要保护好任何遗传资源。”有的同学说: “这个大实验增强了我对理论课知识的理解。比如 PCR 技术, 在试验后才更深刻的理解了 PCR 技术的原理和操作方法, 掌握了反应体系所需的各种底物, 和变性、复性所需要的条件; 还有对 DNA 分子特异性的理解, 只有用了适当的引物, 才能扩增出特定的 DNA 片段, 特定的酶可以特异性识别一段 DNA 序列, 并切割成一定长度的片段, 可进行检测。还使我了解到血型与基因型的关系, 以及不同血型间产生凝血的原因。”有的同学说: “这次大实验是个很新颖的实验, 同学们都反映很有意思, 不仅了解关于自己血型的基因型, 还熟悉了相关操作技术和原理。”还有同学反映: “通过这次实验, 我们不仅深入了解了遗传平衡的知识, 还通过实验过程丰富了自己的实验经历, 而且也掌握到了非常先进的生物统计软件以及科学的分析基因的实验方法。”

#### 4 结语与讨论

从实验结果及学生反映看, 这个大实验通过 5 年的教学探索与实践, 取得了很好的教学效果: (1) 建立了稳定的分子遗传实验体系, 能够清楚地检测出 ABO 血型的 6 种基因型:  $I^A I^A$ 、 $I^A i$ 、 $I^B I^B$ 、 $I^B i$ 、 $I^A I^B$ 、 $ii$ ; (2) 综合了分子遗传与群体遗传的实验教学, 统计全班同学 6 种基因型的频数, 直接计算 3 个复等位基因的频率, 进而进行类似孟德尔群体的遗传平衡检验; (3) 实现了学生自主设计并完成实验的开放式实验教学; (4) 学生掌握了群体遗传参数分析软

件的应用; (5) 大实验教学获得了学生的好评。

深化高校创新教育改革, 是国家实施创新驱动发展战略和促进经济提质增效升级的迫切需要<sup>[10]</sup>。创新教育与缄默知识的学习直接相关, 而缄默知识的学习与传承主要依靠学生自主参与的实践教学方法<sup>[2,3]</sup>。实验课作为大学本科教育中实践教学的重要环节, 应该从教学理念和教学价值等方面重新认识, 不能认为它只是课堂理论教学的延伸和辅助, 而应该从缄默知识学习的角度, 重视实践教学的价值, 使学生获得课堂不能讲授的缄默知识, 真正全面掌握知识并创造性地解决实际问题。综合性、自主设计性的大实验是实施创新教育的重要方式; “人类 ABO 血型分子基因分型与群体遗传平衡分析”大实验深化了遗传学实验的内容, 综合了分子遗传与群体遗传的理论知识; 学生自主设计实验, 培养了学生驾驭知识的能力; 开放实验室允许学生反复操作, 有充足的时间向老师和同伴学习, 直到掌握分子遗传实验技术; 应用最新的软件分析群体的各种遗传参数, 强化学生对群体遗传学和生物统计的理解与锻炼; 分组实验培养学生相互协作的团队精神。整体而言, 达到了让学生掌握分子遗传实验技术、群体遗传数据分析技术、培养学生的创新思维、提高学生实际动手能力和综合素质的目的。

发挥实验课的实践教学价值, 还应该从学时安排、教学内容设计、教学经费、教学辅助人员安排等方面深入改革现行的实验课教学模式, 提供强有力的保障措施, 而不是简单地加大现在主讲教师的工作量, 使得改革难以为继。从我们这个大实验的教学来看, 用了 12 学时, 每周 3 学时, 历时 1 个月, 期间实验室从早 7 点至晚 11 点全天开放, 教师和研究生助教全程提供辅导, 工作量非常大。我们安排了 1 名主讲教师, 1 名实验师, 1 名研究生助教。笔者曾在英国考察曼彻斯特大学的大实验教学, 他们在历时 1 个半月的微生物大实验中, 配备了 1 名主讲教师, 1 名实验师, 4 名博士研究生助教。因此, 在我国现行的、把实验课作为课堂理论教学尾巴的教学模式中直接推广应用大实验教学是不现实的。

高校创新教育是我国当前社会发展的迫切需求, 各级教育部门应该尽快更新观念、增加人力物力投入, 满足实践教学价值体系下实验课的教学需求。在

此前提下,本文中的“人类 ABO 血型分子基因分型与群体遗传平衡分析”大实验可直接推广应用于高校生物类专业的遗传学实验教学,其中的教学理念和方法还可推广应用于其他生物学、农学以及林学等的实验教学。从而更大范围发挥实验课实践教学的价值,培养具有创新思维和动手能力强的高素质人才,提升我国的综合竞争实力。

附录:

附图和附表见网站电子版 [www.chinagene.cn](http://www.chinagene.cn)。

### 参考文献(References):

- [1] The Department of Education's opinions on comprehensively improving higher education quality. The Department of Education (2012) No. 4. 2012-03-16.  
教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见. 教高[2012]4 号. 2012-03-16.
- [2] Polanyi M. The Study of Man. London: Routledge & Kegan Paul, 1957: 12.
- [3] Zhang YY. Theoretical basis exploration and analysis of practical teaching. *China Univ Teach*, 2006(6): 50-52.  
张英彦. 实践教学的理论基础探析. 中国大学教学, 2006(6): 50-52.
- [4] Shi W. On the university practical teaching system. *J High Educ*, 2013, 34(7): 61-64.  
时伟. 论大学实践教学体系. 高等教育研究, 2013, 34(7): 61-64.
- [5] Zhang JF, Hu DM, Zheng CX, Zhao N. Education practice and exploration of genetics opening laboratory course//  
Anthology of University Teaching Forum on Life Science. Beijing: Beijing Forestry University, 2009: 51-54.  
张金凤, 胡冬梅, 郑彩霞, 赵楠. 遗传学开放性实验课教学实践与探索//高校生命科学教学论坛文集. 北京: 北京林业大学, 2009: 51-54.
- [6] Liang QJ, Wang C. Analysis of genetic equilibrium of ABO blood type. *Bull Biol*, 2008, 43(1): 15-17.  
梁前进, 王纯. ABO 血型的遗传平衡问题解析. 生物学通报, 2008, 43(1): 15-17.
- [7] Yamamoto F. ABO blood group system—ABH oligosaccharide antigens, anti-A and anti-B, A and B glycosyltransferases, and ABO genes. *Immunohematology*, 2004, 20(1): 3-22.
- [8] Chen JC, Zhang HY, Peng JY, Fu YY, Ye WC, Chang H. Simple method and application for DNA extraction from saliva. *J Sun Yat-sen Univ (Med Sci)*, 2006, 27(4S): 171-173.  
陈嘉昌, 张红宇, 彭瑾瑜, 付艳艳, 叶伟超, 常弘. 从唾液获取人体 DNA 的简易方法与应用. 中山大学学报(医学科学版), 2006, 27(4S): 171-173.
- [9] Liu CL, Miao TH, Gong XY, Wang ZY, Ren FR, Lv QS, Liu JH. Application of multiplex PCR on ABO genotyping. *Beijing Med J*, 2007, 29(2): 109-111.  
刘长利, 苗天红, 龚晓燕, 王卓妍, 任芙蓉, 吕秋霜, 刘景汉. 复合 PCR 技术在 ABO 血型基因分型中的应用. 北京医学, 2007, 29(2): 109-111.
- [10] The State Council General Office's implementation opinions on deepening enterprising education reform in institutions of higher learning. The State Council General Office (2015) No. 36, 2015-05-04.  
国务院办公厅关于深化高等学校创新创业教育改革的实施意见. 国办发[2015]36 号, 2015-05-04.

(责任编辑: 陈德富)



实验进程考核单

研究小组名称 \_\_\_\_\_

小组成员      1. \_\_\_\_\_      2. \_\_\_\_\_  
                         3. \_\_\_\_\_      4. \_\_\_\_\_

考核项目	考核评价	验收签字
血型分子分析实验方案		
DNA 提取		
PCR 扩增目的片段		
酶切片段		
血型基因型鉴定		

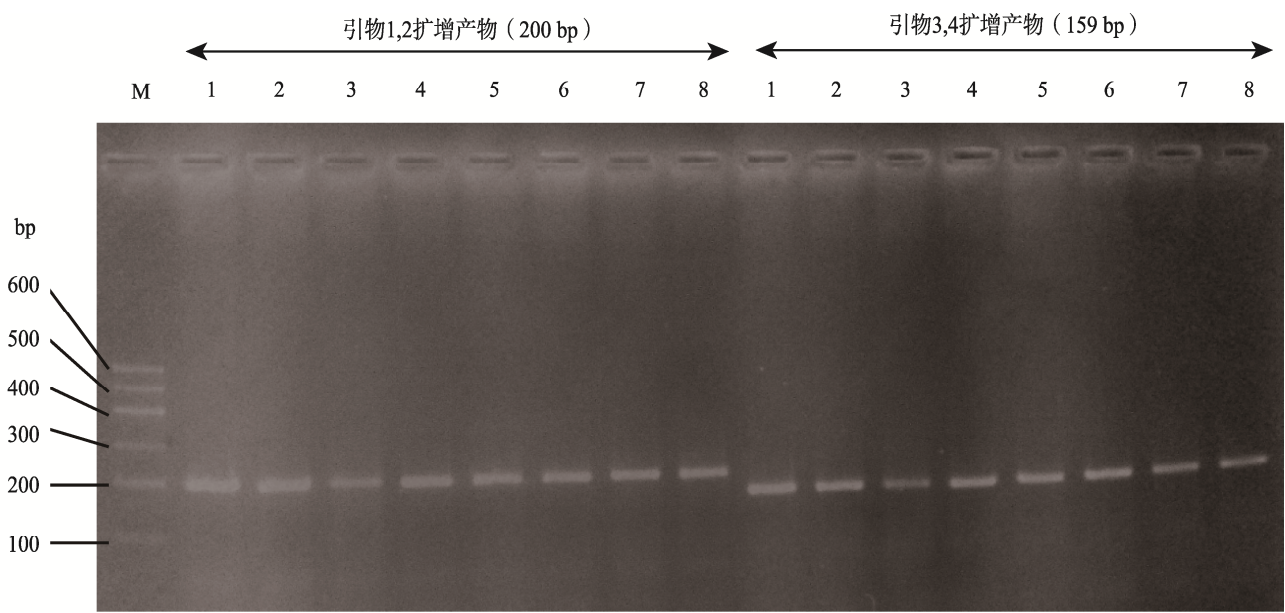
注：此单与小组实验报告一同提交

附图 1 实验进程考核单  
Fig. S1 Checklist of experimental process

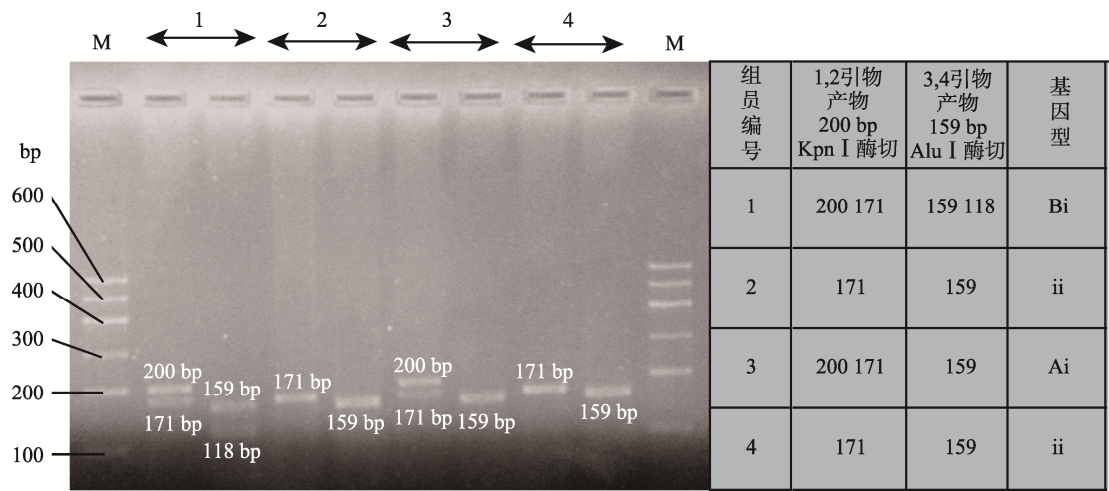
#	Sample ID	User name	Date and Time	Nucleic Acid Conc.	Unit
16		le	2014/11/19 11:29	-0.2	ng/μl
17		le	2014/11/19 11:29	658.0	ng/μl
18		le	2014/11/19 11:30	0.5	ng/μl
19		le	2014/11/19 11:30	-0.1	ng/μl
20		le	2014/11/19 11:31	181.2	ng/μl

附图 2 生科 12 班两名同学的 DNA 提取检测结果  
Fig. S2 Testing results of DNA extraction of two students in Class 12



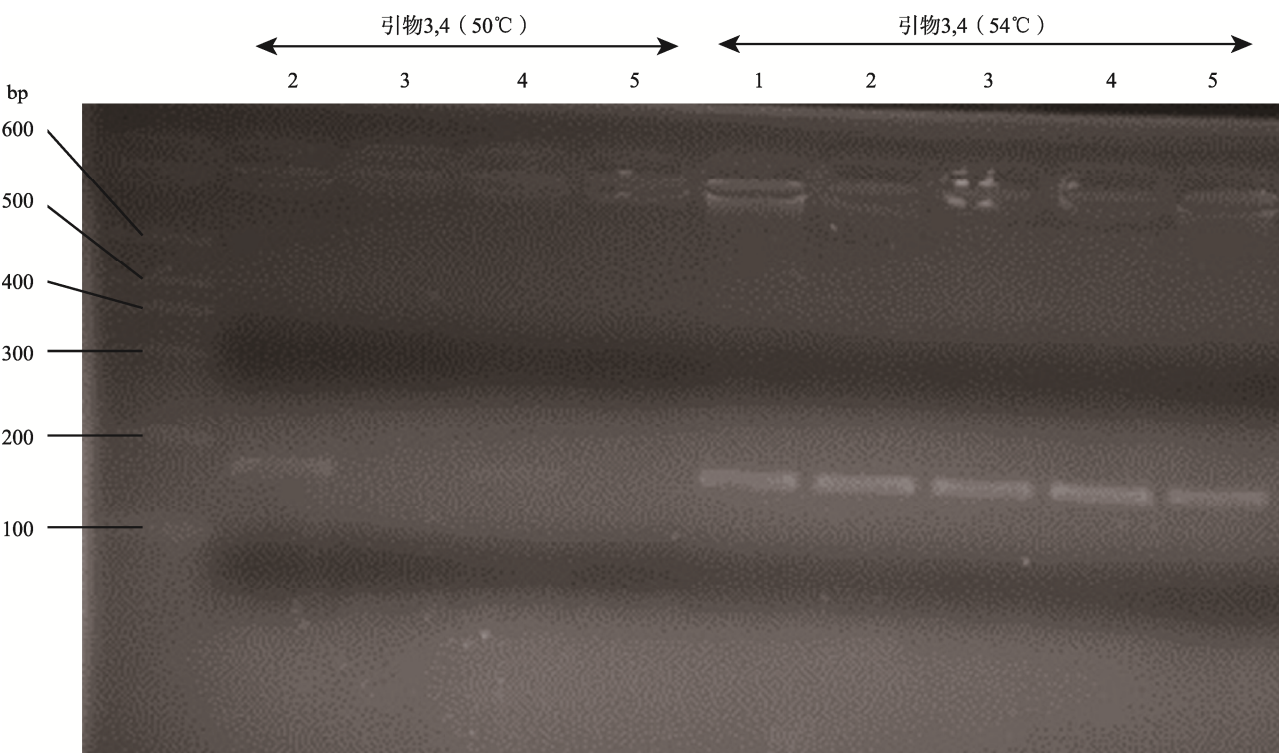


附图 3 生科 12 班 8 名同学的 2 对引物 PCR 片段电泳图  
Fig. S3 The electrophoretogram of PCR fragments amplified by two pairs of primers of eight students in Class 12



附图 4 生科 12 班 4 名同学的酶切片段电泳结果及这 4 名同学的血型基因型鉴定结果。  
Fig. S4 The electrophoretogram results of digestion fragments of 4 students in Class 12 and their genotypic identification results of blood types  
左侧: 1-4 表示学生编号, 200 bp 等是 DNA 片段长度。右侧: 1-4 号学生血型基因型鉴定结果





附图 5 生科 11 班 ZTZX 小组不同退火温度 PCR 扩增产物电泳结果  
Fig. S5 Electrophoresis result of PCR amplification products with different annealing temperature of Group ZTZX in Class 11

附表 1 Popgene 软件的生科 12 班 ABO 血型基因型的群体遗传参数分析  
Table S1 Population genetic parameter analysis of ABO blood type in Class 12 by Popgene  
A 为基因型统计结果及卡方值计算；B 为遗传平衡检验结果；C 为等位基因频率。

A    Population: 1    Locus: p1					C   Allele Frequency of population 1	
Genotypes	Obs. (O)	Exp. (E)	(O-E) <sup>2</sup> /E	2*O*Ln(O/E)	Allele\Locus	p1
(A, A)	4	1.6545	3.3249	7.0621	Allele A	0.2500
(B, A)	3	4.3273	0.4071	-2.1980	Allele B	0.3036
(B, B)	2	2.4727	0.0904	-0.8487	Allele i	0.4464
(i, A)	3	6.3636	1.7779	-4.5119		
(i, B)	10	7.7273	0.6684	5.1566		
(i, i)	6	5.4545	0.0545	1.1437		
B						
Chi-square for Hardy-Weinberg equilibrium						
Chi-square:	6.323271					
Degree of freedom:	3					
Probability:	0.096899					
Likelihood ratio test for Hardy-Weinberg equilibrium::						
G-square:	5.803873					
Degree of freedom:	3					
Probability:	0.121552					