

# 启发式细胞生物学实验教学的设计与尝试

王 洁 张智海 蔡 亮\*

(复旦大学生命科学学院, 上海 200438)

**摘要** 在细胞生物学课程的教学过程中, 实验教学是极其重要的组成部分。该文主要阐述了将传统实验教学模式改为启发式的、学生拥有自主权的教学模式的优点和方法, 以及笔者教学尝试的结果, 目标是通过启发式实验教学培养学生发现并解决问题的能力。该文以细胞转染实验为例, 具体说明了如何将被动教学模式转变为促进学生主动学习模式的设计过程。在讨论传统实验教学模式弊端的基础上, 该文作者探索并实践了适应创新人才培养需求的新型实验教学模式。

**关键词** 启发式教学; 主动学习; 实验教学; 细胞转染

## Pedagogical Design and Practice of Heuristic Teaching in Cell Biology Laboratory Course

Wang Jie, Zhang Zhihai, Cai Liang\*

(School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200438, China)

**Abstract** Laboratory course is an essential component of college-level cell biology teaching. Here, we described and discussed how we employed active learning and authentic research in cell biology laboratory course, with an example showing how we reformed the cell transient transfection experiment teaching. In heuristic experiment teaching, the goal was to cultivate and improve students' ability to discover and solve problems. Our pedagogical design overcame the drawbacks of traditional cookbook-style laboratory course. Our practice of heuristic teaching showed that students trained in active learning reformed course not only actively involved all laboratory activities, but also were highly motivated to carry further studies in the field of cell biology.

**Keywords** heuristic teaching; active learning; laboratory course; transfection

大学教育在高层次人才培养中承担着重要作用。社会所需求的人才不仅需要具备一定的科学文化素养, 更需要拥有主动探索知识、解决实际问题的能力。目前, 在高校的众多课程中, 学生几乎都是被动式学习。被动式教学对于学生基础知识的构建、科学文化素养的培养有一定的积极作用, 但在鼓励学生探索新知识、培养学生解决实际问题的能力上则捉襟见肘。所幸, 已有国外经验表明, 采取启发式

教学、促进学生主动学习能够更有效地培养学生的相关能力<sup>[1-2]</sup>。

实验教学的目的是让学生在实践中加深对课堂知识的理解, 进一步激发对学科的兴趣, 让学生在这个过程中养成基本的科学素养, 培养独立思索和解决问题的能力。细胞生物学是生命科学的基础学科之一, 对与其紧密相关的细胞生物学实验课程教学研究有迫切的现实意义。近两年, 我们以促进学

收稿日期: 2017-05-29 接受日期: 2017-08-02

教育部高等教育司2016年度“基础学科拔尖学生培养试验计划”资助的课题

\*通讯作者。Tel: 021-51630727, E-mail: cail@fudan.edu.cn

Received: May 29, 2017 Accepted: August 2, 2017

This work was supported by 2016 “The National Top Talent Undergraduate Training Program”, Department of Higher Education, Ministry of Education

\*Corresponding author. Tel: +86-21-51630727, E-mail: cail@fudan.edu.cn

网络出版时间: 2017-09-12 11:05:03

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.2035.Q.20170912.1105.002.html>

生主动学习为出发点,设计并不断完善一系列细胞生物学相关基础实验技能的实验教学模块,改变按部就班的传统实验教学方式,通过启发式教学和学生拥有自主权的实验教学模式激发学生在学习过程中的主动意识,提高学生在教学过程的参与度,培养学生主动探索与解决实际问题的能力。

## 1 采用启发式教学促进学生主动学习

### 1.1 传统教学的不足

传统的教学模式是教师讲、学生听,教师单方面地把知识灌输给学生,传授的知识点很多、很细。但对学生来说,这种教学模式往往并不能引起他们的学习兴趣。没有兴趣的学习状态很难使学生的注意力长时间集中(一般不超过20 min<sup>[3]</sup>),由此导致学生对知识的理解和记忆不深刻<sup>[4]</sup>、教学效果不理想。

传统的课堂教学是一种被动学习的模式。根据调查显示,传统的教学模式下学习获得的知识,在结束学习6个月后,掌握的知识只剩下5%,远远达不到我们期望的教学效果<sup>[5]</sup>。这一方面与人脑的记忆规律有关,即人脑对记忆的储存本身就会随着时间增加而逐渐丢失,另一方面也与学生获得知识的方式有关。如果能够不断集中学生的注意力,调动学生的积极性,同一课堂内多次重复知识点,强化相关记忆,学生在课堂获得的知识将记得更牢固<sup>[5]</sup>,学习的效果也会更好。因此,为了获得更好的学习效果,我们需要改善传统的课堂教学方法,即让学生化“被动学习”为“主动学习”。

在传统的实验教学中,类似的问题同样存在。根据调查显示,有超过90%的学生认为,实验课上提供的实验训练的数量和质量都不能让他们满意。原因包括:(1)实验枯燥,只是按照提供的步骤重复一遍<sup>[6-7]</sup>;(2)实验陈旧,与最新的实验技术脱节<sup>[6]</sup>;(3)设备有限,时间利用效率较低;(4)对学生实验技能的学习掌握状况缺乏足够反馈等。我们认为,后三种问题相对容易解决,可以通过增加硬件投入、选取反映学科前沿的实验技术、教师和助教注意在实验过程中及时给予反馈等方法来改善实验教学状况。而针对目前学生觉得实验教学枯燥、参与度低这个较难解决的问题,我们认为症结在教学设计上:教师通常会在实验前把每一步的实验操作告诉学生,学生只需要照着教材完成实验即可,没有给学生自己探索的空间,无法引起学生学习的兴趣。针对这一

问题,我们的解决方案是,在实验教学的过程中采用启发式教学,给予学生发现问题和解决问题的机会,从而调动学生的主动性,让学生主动学习。具体实施时,我们在学生熟悉实验操作的前提下,提供探索的机会,即不提供详细的实验步骤,而仅仅给定可用的实验材料和设备,由学生自主设计、探索合适的实验方案,以达到“解决一个科学问题”的实验目的。

### 1.2 促进学生主动学习

国外教学改革的经验表明,通过重新设计教学内容,让学生主动学习,可以提高教学效果<sup>[8-9]</sup>。在促进学生主动学习这一模式的教学中,教师不再是填鸭式教学,而是在讲解基础知识点后,通过合理设置问题,引导学生自己去探索学习其他相关知识点,从而构建自己的知识体系。这个探索的过程,不仅能够使学生注意力集中,而且有助于加深学生对知识的理解<sup>[10]</sup>。主动学习的目的是,解决传统教学中学生在课堂上注意力集中时间过短的问题,从而有效地增加学生集中注意力的时间,同时提供师生间持续地良性互动。另外,在不超过学生记忆容量的范围内传授学生知识,并在课堂上提供学生应用相关知识的环境<sup>[10]</sup>,培养学生解决问题的能力 and 创新能力。除了教师引导学生回答问题外,学生间的讨论是主动学习中另一个重要的环节<sup>[9,11]</sup>。学生首先要对教师提出的问题进行独立思考,然后同组学生(3~5人一组为宜)各抒己见,互相讨论,在讨论中让思想的火花进行碰撞,从而点燃学生追求知识的热情。讨论有不同的方式:所有小组讨论同样的问题,或不同小组讨论同一个问题的不同方面。同时,分组讨论也能培养学生之间的合作意识。思想不断碰撞的讨论过程不仅让学生主动地对知识去伪存真、加强对知识的理解,而且这种“提出问题→讨论→解决问题”的方式与真实的科研环境类似,能够让学生提前适应今后工作的环境。

有读者可能会认为,国外提出的“主动学习”,不就是孔子开创的以“不愤不启,不悱不发”为中心的启发式教学吗?需要注意的是,这两者的侧重点存在一定的差异:促进学生主动学习的教学强调的是充分调动学生学习的主动性,提高学生在教学过程中的参与度;而启发式教学强调启发而非直接传授,希望通过循循善诱的手段来传授知识,使学生能举一反三,触类旁通,与促进学生主动学习不完全相同。可以认为,促进学生主动学习的教学是实现启

发式教学的一种具体教学手段。

### 1.3 启发式教学依赖于学生的主动学习

启发式教学是教师根据教学目标, 从学生实际的知识基础和接受能力出发, 通过教师与学生的互动, 充分发挥学生的能动性, 调动学生的创造性, 引导学生通过科学的方法积极思考、主动学习, 从而促进学生全面发展的一种教学模式。启发式教学不仅需要教师做好“教”的工作, 启发学生思考, 而且需要学生做好“学”的工作, 积极参与到教学互动中。教师不能主观地期望学生主动学习, 而应该通过不断启发学生思考调动学生学习的热情, 提高学生的参与度。

启发式教学能够充分调动学生学习的积极性, 促使学生不断思考。同时, 为了让学生加深记忆, 我们通过设计重复环节来不断加强学生对核心技能的掌握。但是, 启发式教学在传授一些很难通过引导得出答案的知识方面力不从心, 比如系统的知识网络、事实性质的知识点等。另外, 在相同时间内, 与启发式教学相比, 传统教学能够教给学生更多的知识点。因此, 在实际教学时, 需要把启发式教学 and 传统教学灵活结合, 让学生能够在深入理解、思考、记忆基础知识的同时充分接触、探索衍生知识。

启发式教学依赖于学生的主动学习, 要把主动学习融入到传统教学之中, 需要教师平衡好知识数量与知识重点之间的关系, 然后合理地设置问题、规划时间、做好教学设计。

## 2 在实验教学中如何促进学生主动学习、实现启发式教学

### 2.1 启发式实验教学的设计

细胞生物学是一门理论和实践密切相关的学科<sup>[12]</sup>, 其实验教学能帮助学生加深对理论知识的理解, 学生在实验中掌握的相关技能、养成的科研思路对以后从事的工作也有很大帮助。我们以启发生思考、促进学生主动学习为出发点, 设计了一系列针对细胞生物学相关基础实验技能的实验教学模块, 强调对学生自主能力、探索精神的培养。

实验课程开设在暑假, 为期两周, 目的是对细胞生物学基础实验技能进行一次集中训练, 包括细胞培养、免疫荧光标记、细胞转染、显微成像、荧光融合蛋白表达质粒的构建等, 使学生在课后能够开展自主科研、探索感兴趣的细胞生物学领域科学

问题。该实验课程对象主要是对细胞生物学研究感兴趣的一年级升二年级的本科生。选课学生在上该课前只修读了现代生物学导论, 具备初步的生物学知识, 且绝大部分学生没有接受过系统的实验训练。

我们在课程开始前通过调查问卷的方式进行基础水平测试。以2016年实施的课程为例, 问题包括: 学生是否曾经培养过细胞, 对细胞培养的了解程度, 学生自认为是否能熟练传代, 学生对如何准备显微成像样片的了解程度, 是否掌握固定染色的技能, 是否了解分子克隆, 以及能否熟练操作分子克隆等。这些问题均针对即将训练的实验技能, 帮助我们了解选课学生的基础, 进而对课程内容进行适当的调整, 增加教学的针对性。例如, 如果大部分学生曾经培养过细胞, 对细胞培养部分的训练就会适当缩减。在课程结束后, 我们让学生回答同样一份问卷, 两者结果的对比能够清晰反映学生在课程中收获了多少知识点(图1)。

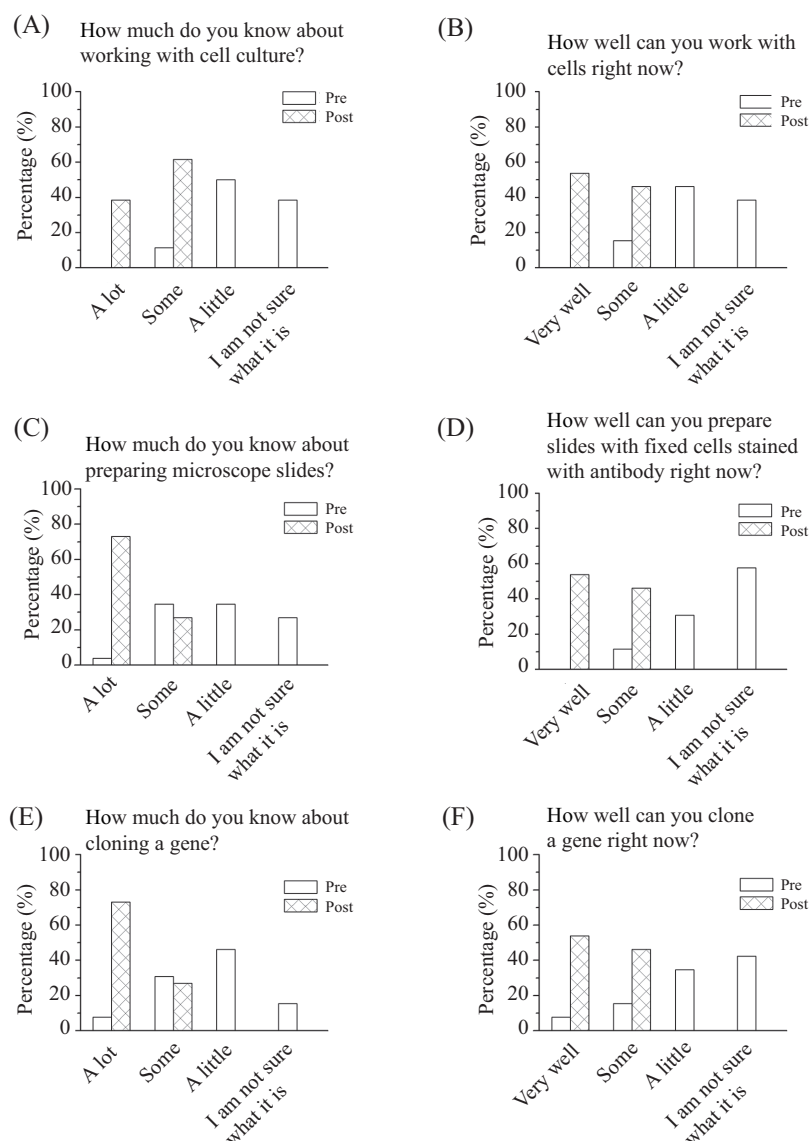
细胞转染是我们系列实验课中的一个环节, 在这一环节前, 学生已经完成了移液枪的使用、设置PCR反应程序、无菌操作、细胞培养及固定染色的学习。以下将以细胞转染为例说明启发式实验教学的设计及需要注意的问题。

**2.1.1 明确教学目标** 首先, 我们需要明确教学目标。教学目标的确立需要教师充分了解学生已经掌握的知识, 并对学生运用相关知识的能力有一定的了解。我们需要参考前期基础水平的测试结果, 不过单纯基础水平测试并不能充分表明学生运用知识的能力, 还需要教师根据课程前期学生的表现对教学目标进行适当调整。

在教学设计阶段, 我们以学生完全不了解细胞转染为前提, 预设的细胞转染实验教学目标是: 理解细胞转染的原理, 熟练掌握细胞转染的操作, 培养摸索最适转染条件的能力。

根据2016年课程开始前问卷调查的结果, 在26个学生中, 只有4人有超过2周的细胞培养经验, 5人有少于2周的操作经验, 17人完全没有接触过细胞培养, 也就是说大部分学生都是零基础。课程前期学生在细胞培养中的表现也印证了大部分学生是从零开始。因此, 2016年的授课并不需要调整预设的教学目标。

**2.1.2 设计教学过程** 在明确教学目标后, 教师应根据教学目标, 由浅入深, 由基础到高级, 完成对教



Pre是课程开始前调查问卷的结果, Post是课程结束后调查问卷的结果。A~F中标题为问卷中的6个问题; 横坐标为选项, 对应学生对问题的了解或掌握程度; 纵坐标为选择该项学生占总人数( $n=26$ )的百分比。

Pre are the survey results immediately before the course, and Post are the results immediately after the course. Panel titles (A-F) are the survey options to the question; X axes are the options correspond to the student's understanding or mastery of the question; Y axes are the percentages of students (the number of enrolled students,  $n=26$ ).

图1 2016年实验课中针对学生实验技能掌握情况的问卷内容及结果

Fig.1 Survey questions and results for students' experimental skills from 2016 cell biology laboratory course

学过程的设计。设定的步骤要合乎逻辑, 逐步引导学生进行思考, 在此过程中, 要充分考虑到学生的知识储备。教学过程包括学生课前预习、教师课上介绍和学生课上讨论等多个部分, 目标是加深学生对相关知识的理解, 并运用至实验中。因为是实验课, 教师还要考虑需要准备的实验材料和实验设备, 为每一步实验操作留出可能额外消耗的时间, 以及为先完成实验的学生安排额外的学习活动等。

在细胞转染的教学中, 我们分了三步: (1)学习细

胞转染的原理后, 由教师演示、学生重复非最佳条件下的细胞转染实验, 隔天观察结果; (2)让学生分组讨论, 设计实验探索DNA和转染试剂的最佳配比, 学生进行操作并在隔天观察结果; (3)学生在课堂分享并讨论不同组间的实验结果, 得到DNA和转染试剂的最佳配比, 然后由教师介绍共转染的概念, 各组用讨论得到的最佳配比进行共转染实验, 隔天观察结果。

在这三步教学过程中, 第(1)步的学习是讲授细胞转染的原理并熟悉实验操作。为了达到让学生主

动学习的效果,在讲授原理时,我们并不直接罗列转染这一操作的目的和优势,而是通过下列问题,启发学生思考,促进师生之间、学生之间的互动交流。

问题1: 想要观察的蛋白质在细胞中表达量很低,直接使用抗体难以观察到怎么办?可能的答案: 表达更多的该蛋白。问题2: 如何表达更多的该蛋白?可能的答案: 把表达该蛋白的DNA转入细胞。问题3: 如何准备这段DNA(对之前传授知识的复习)?可能的答案: 在细菌中利用质粒/环状双链DNA进行扩增。问题4: 如何把质粒转入细胞?可能的答案: 在细胞膜上打洞,让质粒从细胞膜破损处进入细胞质;使用化学物质诱使细胞主动吞入质粒;显微注射直接将质粒送入细胞。额外问题1: 质粒进入细胞质能够发挥作用吗(对中心法则的复习)?为什么?额外问题2: 如何制备大量质粒?相关溶液的主要成分和作用(对之前实验的复习)?

多个问题讨论结束后,教师向学生介绍细胞转染的方法,其中的电转法和脂质体转染法正好是问题4的可能答案。

第(2)步的学习是由学生自主设计实验,摸索最佳转染条件。在传统的细胞转染实验中,一般由教师准备好用来转染的标准DNA样品、转染试剂、待转染细胞等实验材料,学生只需要按部就班地进行操作即可得到实验结果。虽然实验结果往往不错,但是由于没有给学生探索的空间,常常无法引起学生学习的兴趣。即使有些同学对改变实验条件会造成什么结果产生兴趣,往往也会因为时间、材料的限制而不能把想法付诸实践,留下遗憾。为了解决这些问题,我们给学生自主设计实验的机会: 我们提供相关的实验材料和设备,学生经过小组讨论确定本组想要尝试的DNA和转染试剂配比(每组准备12孔细胞,足以开展梯度实验),然后在实验计划得到教师确认后(保证学生计划的配比在一个较合理的范围内),由学生自主开展实验验证。在我们的系列实验课程中,转染用的DNA是学生自制的,组间DNA的浓度及质量可能存在差异,所以教师额外准备了DNA标准样,提供给考虑周全的、想要进行阳性对照的实验小组。虽然想要让学生拥有实验自主权必定会提高教师准备实验材料的难度,但我们认为,这样的困难是可以并值得去克服的,因为学生自主实验能极大地提高学生实验参与度、促进学生自主学习。

第(3)步的学习是讨论总结之前实验所得结果并使用优化的转染实验条件进行二次探索。所谓二次探索,实际上不仅让学生习得新的知识点(共转染),而且能通过重复来不断加强学生对核心技能(细胞转染)的掌握。因为各组通过前次实验得到了各自最优的DNA和转染试剂配比,二次探索中所得实验结果普遍良好。在该部分引入共转染的讨论中,相关问题设计如下。

问题1: 想要观察两种蛋白在细胞中定位是否一致,如何操作?可能的答案: 给它们连上不同的荧光蛋白,转入同一个细胞进行观察。问题2: 如果给一种蛋白加上不同的荧光蛋白,然后转入同一个细胞会出现什么现象?可能的答案: 两个颜色完全共定位。

可以看出,在使用启发式教学模式设计的细胞转染实验的三个步骤中,都有调动学生积极性的环节。启发学生思考、促进学生主动学习的实验教学,通过事先设计而不是临场发挥的互动环节,引导学生通过回答问题来理解实验内容,自主设计探索实验,从而有针对性地培养学生的科研能力。在此过程中,良好的教学互动是关键,而良好教学互动的关键又在于设置好一系列引导学生进行有效讨论的问题。在教学设计准备问题时,要充分考虑学生的知识储备,由浅及深,逐步引导,有时还要兼顾问题的趣味性、社会性。

上面举出的关于细胞转染的例子仅供参考。不同的实验有着不同的设计方法,基本原则都是通过促进学生自主学习来完成启发式教学。

**2.1.3 设置评价系统** 一个好的教学实验不仅要能够培养学生实验能力,还要能够作出真实的评估,这就需要教学实验中设置一个好的评价系统。评价系统需要兼顾两个方面的内容: 其一是本次实验要对哪些操作步骤进行评分;其二是如何对这部分的操作进行评分。评分细则要能够使不同教师/助教对同一学生的实验操作和实验结果给出一致的评分,从而客观衡量学生的实验技能水平,为比较不同教学实践、不同班级的教学效果提供有价值的指标。只有这样,才能确保实验教学的质量,更好地完成教学管理。我们认为,设置细致、明确、没有歧义的评价系统是严谨评估实验教学效果所必需的。

如何构建一个实验教学的评价系统?首先要确定一个清晰的评价结构,包括不同实验操作的内容以及所占比例,包含的内容要符合教学目标并细

表1 细胞转染实验的评分细则(课程助教使用)

Table 1 Transfection rubric (used by the course teaching assistants)

| 序号<br>No. | 评价指标<br>Indexes of evaluation                                                                        | 分数<br>Number of points |         |         |         |      |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|------|
|           |                                                                                                      | 1                      | 2       | 3       | 4       | 6    |
| 1         | Cell density in the culture dish at the time of setting up transfection                              | >80% or <20%           | 30%-50% | 60%-70% | /       | /    |
| 2         | Formulate the mix: the amount of DNA, transfection reagent and blank medium needed                   | /                      | Done    | /       | /       | /    |
| 3         | Drop evenly onto the cells                                                                           | Done                   | /       | /       | /       | /    |
| 4         | A no-DNA control                                                                                     | Done                   | /       | /       | /       | /    |
| 5         | Labeling (date, person, transfected DNA)                                                             | Done                   | /       | /       | /       | /    |
| 6         | Cell contamination (grade on the second day)                                                         | /                      | /       | No      | /       | /    |
| 7         | Percentage of cell death (grade on the second day)                                                   | >50%                   | 20%-50% | <20%    | /       | /    |
| 8         | Cell fluorescence (grade after 24 hours)                                                             | /                      | <20%    | /       | 20%-50% | >50% |
| 9         | Finishing clean up (all reagents and equipments returned to original places, and hood space cleaned) | Attempt                | Done    | /       | /       | /    |

化。然后要制定详细的评价标准,用没有歧义的表述来确定各个得分点,目标是让不同人对同一学生的操作给出相同的得分。评价的标准在课前发给学生,让学生明确自己努力的方向。我们在细胞转染实验中使用的评分表格如下,供参考(表1)。请注意,对转染后细胞荧光比例的评分(2分、4分和6分)要高于对其余项的评分(1分、2分和3分),因为这一项是该实验核心技能的直接体现。

值得一提的是,虽然我们对学生的每一步实验操作、每一个实验结果都按照评分表进行评分,但是对于首次操作和部分实验结果,我们的评分并不算入课程成绩之中,而仅仅是为了反馈给学生,让学生明白自己操作所能获得的分数,从而明白努力的方向。我们认为,提供给学生一个练习的机会很重要,尤其是对于实验操作来说,操作者很可能需要重复多次才能真正掌握。在学生自主设计转染实验并操作的第(2)步教学中,我们对学生实验操作(模块中的第二次操作)进行的评分算入课程成绩,但我们对实验结果进行的评分不算入课程成绩——因为在这一步教学中,我们希望学生能够自由探索转染的条件而不用担心实验结果,以免学生束手束脚、不敢尝试,或者直接查找最佳配比而不进行实验探索。

我们在设置评价系统的时候,给予学生练习的机会,允许学生犯错,通过评价性的打分提醒学生及时改正错误,从而更好地掌握实验技能。我们给予

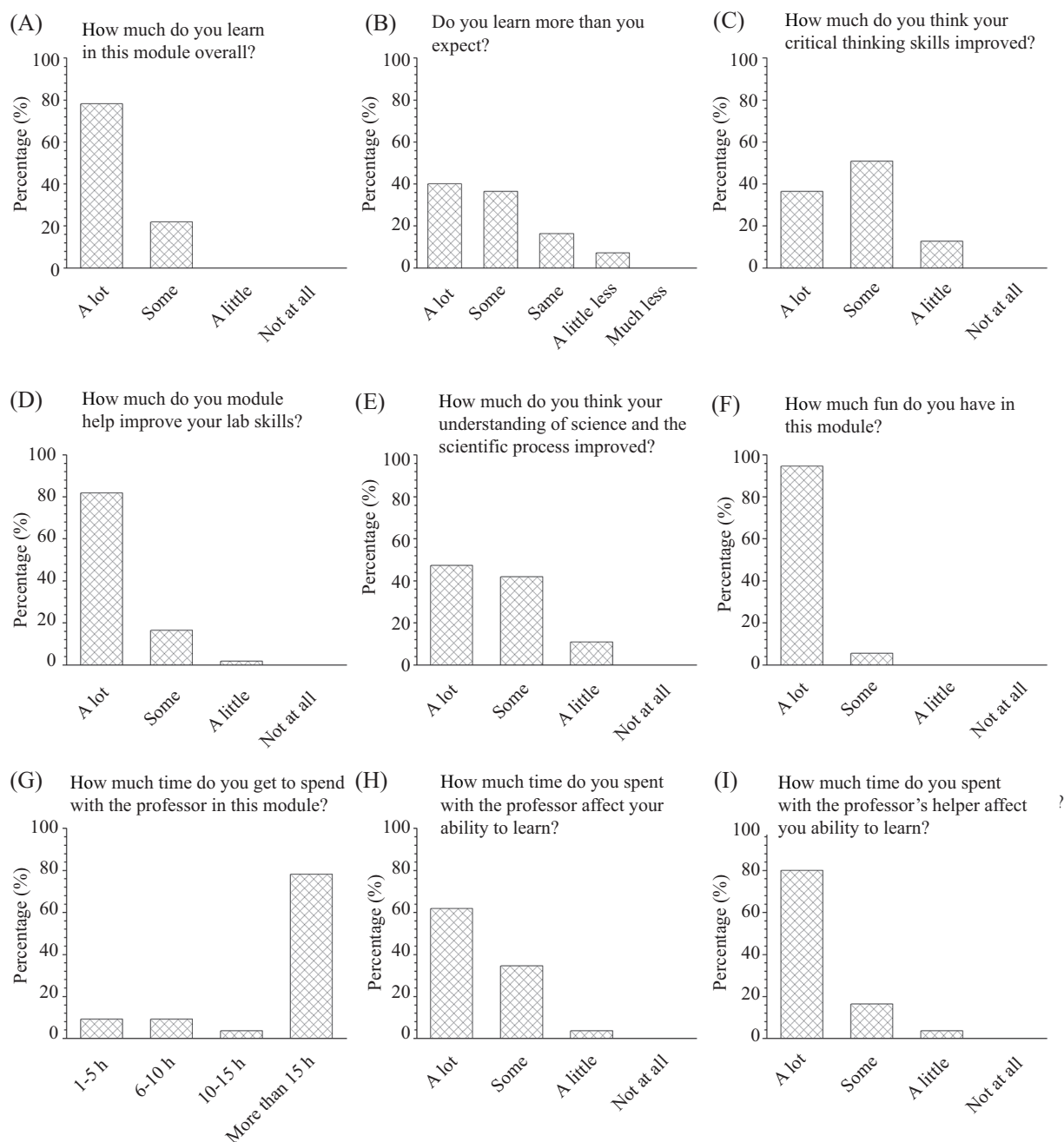
学生探索的机会,让学生不再局限于得到良好的实验结果,更要学会如何探索条件来得到良好实验结果,进而培养学生科研探索的能力。

在启发式的实验教学中,我们采用多种途径提高学生的实验积极性,让学生不再认为实验课就是照着教材按部就班,而是一个能让他们进阶闯关的游戏。这种促进学生主动学习的启发式实验教学与传统实验教学相比,不仅能让学生熟练掌握核心实验技能,而且能训练学生的科研思维,培养学生的探索能力。

## 2.2 启发式实验教学的实践效果

为了了解这种促进学生主动学习的启发式实验教学效果如何、是否适合推广以及如何改进等问题,在2016年系列实验课程开始前和结束后,我们对学生进行了问卷调查,从而了解课程效果以及他们的满意度和建议等,以期逐步完善实验课程的设计。针对具体的实验技能训练,我们调查了学生在课程前后技能掌握程度的变化情况。从图1中的问题和调查结果可以看出,学生接受的系列实验课程显著提高了他们的技能掌握程度。

为了了解学生对系列实验课程的满意度和建议等,我们设计并让学生回答了另一份调查问卷,问卷内容和结果见图2。该问卷( $n=55$ )调查对象包括参加了由启发式实验教学设计的细胞生物学、生物化学、遗传学等各个系列实验教学模块的学生。分



A~I中标题为问卷的9个问题;横坐标为选项,对应学生对问题的回答;纵坐标为选择该项学生占总人数( $n=55$ )的百分比。

Panel titles (A-I) are the survey questions; X axes are the options to the question; Y axes are the percentages of students (the number of total surveyed students,  $n=55$ ).

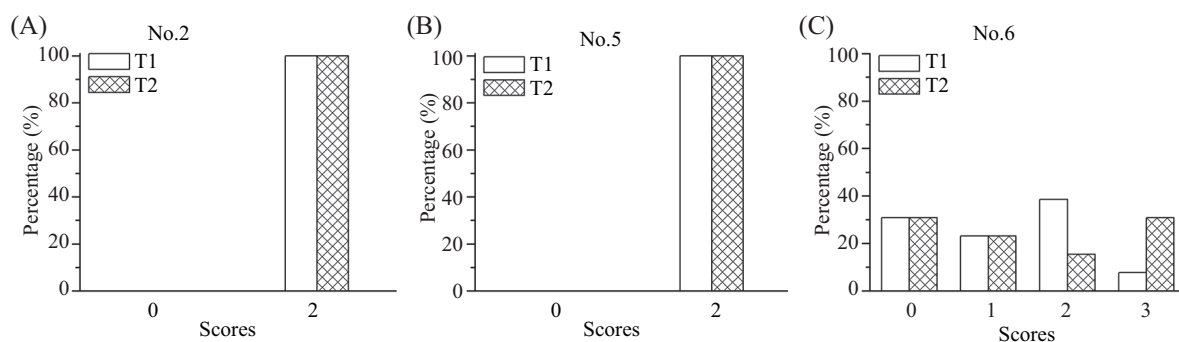
图2 2016年各个系列实验课后针对学生满意度和建议的调查问卷内容和结果

Fig.2 Survey questions and results for students' satisfaction and suggestions from 2016 reformed biology laboratory courses

析表明,学生在实验课程中学到了很多知识,而且普遍超出他们的预期(图2A和图2B),批判性思维方式和科学理解得到锻炼与提高(图2C和图2E),课程提高了学生的实验技能(图2D),学生也从中得到很多乐趣(图2F)。另外,该课程给学生提供了和教师长时间接触的机会,从而使学生能够及时地得到

帮助并提高其学习的效率(图2G~图2I)。

以上两个问卷调查,来自学生的主观评价,属于教学评估的满意度测评部分(level of satisfaction)。为了客观评估学生在教学中培养的能力(level of competence development),我们统计分析了其在系列实验课程中具体到每一项评分细则的得分情况(针



A~C分别对应表1中No.2、No.5、No.6这三条评价指标。横坐标为学生得分;纵坐标为得到该分数的学生占总人数( $n=26$ )的百分比;T1和T2代表第1次训练和第2次训练。

A~C represent the scores from No.2, No.5, No.6 items in Table 1. X axes are the give scores according to the rubric; Y axes are the percentages of students (the number of total surveyed students,  $n=26$ ); T1 and T2 represent 1st training and 2nd training.

图3 2016年系列实验课程中针对细胞转染具体评价指标的学生得分情况

Fig.3 Students' scores on transfection rubric from 2016 cell biology laboratory course

对表1中典型项的得分分析见图3)。图中,我们只列出了具有代表性的评价指标,包括已经反复训练过的技能(学生在细胞转染实验前PCR反应模块等实验中已反复训练的混匀体系和书写标签等,图3A和图3B)和正在训练的技能(细胞转染后的污染情况,图3C)。可以看出,学生对反复训练的技能掌握良好(图3A和图3B),对正在训练的技能掌握程度随着训练次数增多而熟练(图3C)。

学生的问卷调查结果以及课程中根据评价系统做出的各阶段的评分结果都表明,我们设计的该系列实验训练课程取得了较好的教学效果,切实训练了学生的实验技能,促使学生不断思考,培养了学生间的合作能力以及探索优化实验条件的能力,并且学生在实验中也获得了很多的乐趣。

此外,暑期开设的该系列实验课程还有延伸作用:根据负责随后学期理论教学和传统实验教学的多位教师反馈,课堂内表现积极的学生数量显著增加(教学对实践的影响, level of impact on practice);确定专业时第一志愿选择生物科学/生物技术/生态专业的学生数量显著增加(教学对未来的影响, level of impact on future)。

### 3 结语

不同于传统教学中采用的灌输式的被动学习模式,我们结合国外经验,采用了启发式教学的教学模式,使学生由被动学习转变为主动学习<sup>[13]</sup>。我们对现有的细胞生物学实验进行了重新设计。在课程前进行基线测试、按照选课学生情况调整教学目标、

通过讨论引出实验内容、在教学过程中设计二次探索环节、鼓励学生自主实验、设置可迁移的实验评价系统等;使用启发式教学,赋予学生自主权,促进学生主动学习,从而达到训练学生实验技能、培养学生科研思维和探索能力的目的。此外,课程中大量运用小组讨论等形式也有利于培养学生的团队合作意识。对已实施的启发式实验教学模式的四个层次的教学评估显示,该教学方式取得了较好的教学效果。同时,学生经历的训练对有效地学习其他课程也具有积极的促进作用。启发式实验教学值得推广到其他生物专业课程教学中去。

我们清楚地认识到,启发式的实验教学需要不断地摸索与完善。希望广大的教育工作者们能一起努力,共同改进当前的科学教育,使之更好地适应社会需要,从而为国家培养创新型人才。

### 参考文献 (References)

- 1 Labov JB, Reid AH, Yamamoto KR. Integrated biology and undergraduate science education: a new biology education for the twenty-first century? *CBE Life Sci Educ* 2010; 9(1): 10-6.
- 2 Anderson WA, Banerjee U, Drennan CL, Elgin SCR, Epstein IR, Handelsman J, *et al.* Changing the culture of science education at research universities. *Science* 2011; 331(6014): 152-3.
- 3 Unsworth N, Redick TS, Lakey CE, Young DL. Lapses in sustained attention and their relation to executive control and fluid abilities: an individual differences investigation. *Intelligence* 2010; 38(1): 111-22.
- 4 Ebert-May D, Brewer C, Allred S. Innovation in large lectures: teaching for active learning. *Bioscience* 1997; 47(9): 601-7.
- 5 Crosling G, Thomas L, Heagney M. Improving student retention in higher education: the role of teaching and learning Routledge; 2008: 1-15.

- 6 胡 鑫, 高 梅, 李绍军, 陈坤明, 梅 莉. 细胞生物学实验教学改革探索. 中国细胞生物学学报(Hu Xin, Gao Mei, Li Shaojun, Chen Kunming, Mei Li. Teaching reformation of cell biology experiment. Chinese Journal of Cell Biology) 2013; 35(1): 110-4.
- 7 Brownell SE, Kloser MJ, Fukami T, Shavelson R. Undergraduate biology lab courses: comparing the impact of traditionally based “cookbook” and authentic research-based courses on student lab experiences. J Coll Sci Teach 2012; 41(4): 36-45.
- 8 Petress K. What is meant by “active learning?” Education 2008; 128(4): 566-9.
- 9 Fendos J. On the path of scientific teaching. Postdoc J July 2016; 4: 24-34.
- 10 Labov JB. From the national academies: the challenges and opportunities for improving undergraduate science education through introductory courses. Cell Biol Educ 2004; 3(4): 212-4.
- 11 Armbruster P, Patel M, Johnson E, Weiss M. Active learning and student-centered pedagogy improve student attitudes and performance in introductory biology. CBE Life Sci Educ 2009; 8(3): 203-13.
- 12 张 晶, 华子春. 细胞生物学课程体系优化的实践与思考. 中国细胞生物学学报(Zhang Jing, Hua Zichun. Thought on teaching practice and reform in the course of cell biology. Chinese Journal of Cell Biology) 2011; 33(6): 716-9.
- 13 Zhang P, Ding L, Mazur E. Peer Instruction in introductory physics: a method to bring about positive changes in students’ attitudes and beliefs. Phys Rev Phys Educ Res 2017; 13(1): 010104.