

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¹

(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中, 实验教学是极其重要的组成部分。本文主要阐述了将传统实验教学改为启发式的、学生拥有自主权的教学设计与教学尝试, 以期达到通过实验教学培养和提高学生能力的目标。文中以细胞转染实验为例, 具体说明了将被动教学转变为促进学生主动学习的过程。在讨论现有实验教学弊端的基础上, 本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; 自主权; 实验教学; 细胞转染

Pedagogical design and practice of heuristic teaching in a cell biology laboratory course

Wang Jie, Zhang Zhihai, Cai Liang¹

(School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Laboratory course is an essential component of college-level cell biology teaching. Here, we describe and discuss how we employ active learning and authentic research in a cell biology laboratory course, with an example showing how we reformed the cell transient transfection experiment teaching. Innovation driven economy demands creative talents. A reform of current science education is required to meet the needs of our society. Our pedagogical design overcomes the drawbacks of traditional cookbook-style laboratory course. Our practice of heuristic teaching shows that students trained from 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; authentic research; laboratory course; transfection

1

(1) 收稿日期与接受日期 (由本刊编辑部填写)

(2) 资助来源: 2016 年度“基础学科拔尖学生培养试验计划”研究课题

Funded by 2016 “Bajian Plan”, Department of Higher Education, Ministry of Education

(3) 通讯作者: 蔡亮, 021-51630727, cail@fudan.edu.cn

Corresponding author: Liang Cai, +86-21-51630727, cail@fudan.edu.cn

大学教育在高层次人才培养中承担着重要作用。社会对人才的要求不仅仅是其具备必要的科学文化素养，更需要其拥有主动探索知识、解决实际问题的能力。目前高校的众多课程中，学生几乎都是被动式学习。灌输式的教学对于学生基础知识的构建、科学文化素养的培养有着一定的积极作用，但在鼓励学生探索、培养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^[1,2]，采取启发式教学、促进学生主动学习能够有效加强对学生相关能力的培养。

实验教学的目的是不仅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，更是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的教学研究有着迫切的现实意义。近两年，我们以促进学生主动学习为出发点，设计并不断完善了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过程，激发学生在学习过程中的主动意识，提高学生对教学过程的参与，以加强对学生主动探索与解决问题能力的培养。

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

传统的教学方式是教师讲、学生听的模式。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，这种教学方式往往并不能引起他们的学习兴趣。而没有兴趣的学习状态很难使学生的注意力长时间集中（人能够集中注意力听别人讲话的时间是有限的，一般不超过 15~20 分钟^[3]），由此导致学生对知识的理解和记忆不深刻^[4]、教学效果不佳。

传统的课堂教学方法是一种被动学习的方式。根据调查显示，在传统的教学方法下学习获得的知识，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^[5]。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，学习的效果也会更好^[5]。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^[6,7]；(2) 实验陈旧，与最新的实验技术脱节^[6]；(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：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来改善实验教学状况。而针对目前实验教学让学生觉得枯燥、学生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”^[8,9]，可以提高教学效果。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，不仅能够集中学生的注意力，而且有助于加深学生对知识的理解^[10]。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，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^[10]，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，学生间的讨论是主动学习中另一个重要的环节^[9, 11]。学生首先要对教师提出的问题进行独立的思考，然后同组的学生（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，从而点燃学生对知识追求的热情。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；分组讨论能同时培养学生之间的合作意识。在思想不断碰撞的讨论过程中，学生不仅能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的学习主动性，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相同、不矛盾。可以认为，启发式教学是一种教学理念，而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，充分发挥学生能动性，调动学生的创造性；在教师的启发下，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理念。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，而应该主动调动学生学习的积极性，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，并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：(1) 在相同时间内，传统教学能够教给学生更多的知识；(2) 对系统的知识网络、事实性质的知识点，很难通过引导得出答案。启发式教学在上述两方面力不从心。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，让学生深入记忆、理解、思考基础知识的同时能够充分探索、接触衍生知识。

启发式教学依赖于学生的主动学习，而要把主动学习融入到传统教学之中，并不能简单地通过教师多问学生问题来实现，还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来实现启发式教学

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^[12]，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所从事的工作也有很大帮助。我们以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始自主科研、探索自己感兴趣的细胞生物学领域的科学问题。课程主要面对大一升大二，并且对细胞生物学研究感兴趣的本科生。选课学生在上课前只修读了现代生物学导论，只具备初步的生物学知识，绝大部分学生没有接受过系统的实验训练。

实际操作中，我们在课程开始前，通过调查问卷的方式进行基线测试，以 2016 年实施的课程为例，问题包括了：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（结果请见后文 2.2 中图 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、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。我们需要参考前期的基线测试结果，但单纯的基线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；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。通过学生课前预习、教师课上介绍和学生课上讨论等多个部分，加深学生对相关知识的理解，并将其运用至实验中。因为是实验课，教师还需要考虑所需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及好处，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？为什么？（对中心法则的复习）

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的过程。在传统的细胞转染实验中，一般由教师准备好需要转染的标准 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。需要注意的是，想要让学生拥有实验自主权肯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、促进学生主动学习。

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。在随后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：如果给一个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，在细胞转染实验启发式教学的三个步骤中，都有调动学生积极性的环节。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；我们在不同的实验有着不同的设计方法，基本点都是通过促进学生主动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能力，还要求能够真实评估学生的实验能力：这就需要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，才能确保教学实验的质量，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成果所必须的。

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化。其次要制定详细的评价标准，用没有歧义的表达来确定各个得分点，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关注的核心技能的直接体现。

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 No.	评价指标 Indexes of Evaluation	分数 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	/	correct	/	/	/
3	Drop evenly onto the cells	yes	/	/	/	/
4	A no-DNA control	have	/	/	/	/
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)	attempted	done	/	/	/

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, 让其明白自己的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, 很可能需要操作多次才能真正掌握。对于学生自主设计转染实验并操作的第(2)步教学, 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, 甚至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, 让学生不再局限于仅仅得到良好的实验结果, 而是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

为了探究清楚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，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对技能掌握情况的变化。问题及调查结果见图 1。可以看出，学生接受的系列实验课程显著增加了他们的技能掌握程度。

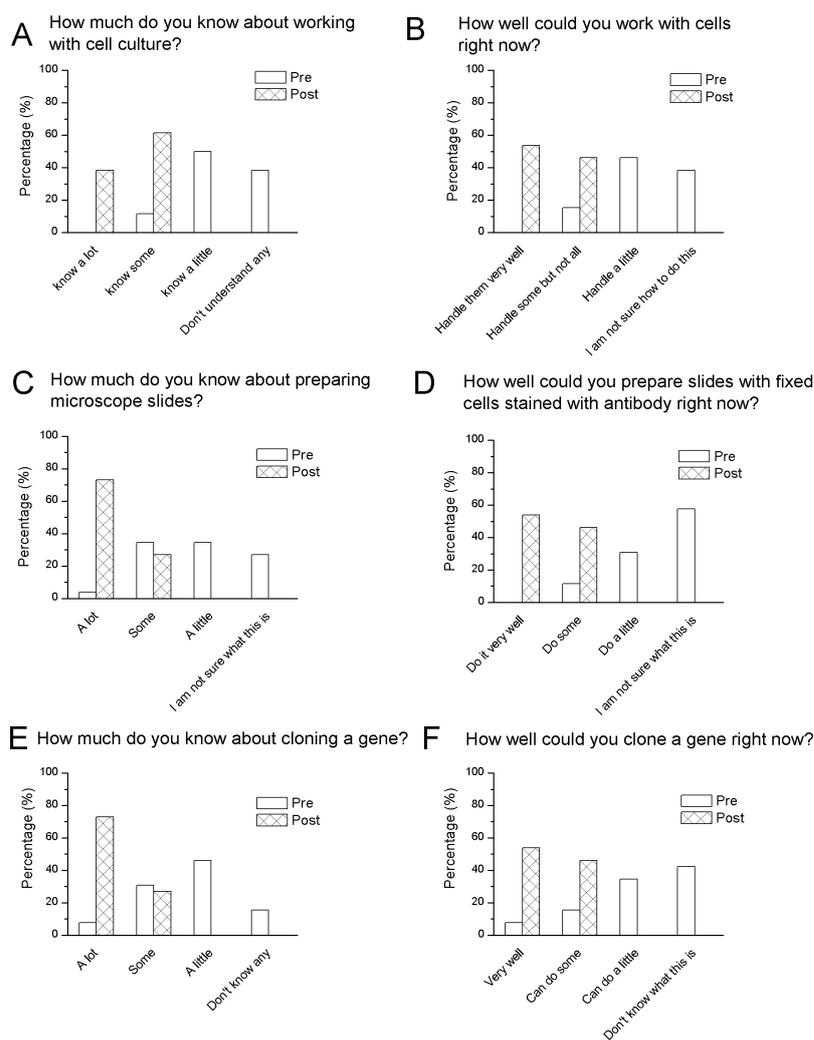


图 1. 2016 年实验课开始前 (Pre) 和结束后 (Post) 针对学生实验技能掌握情况的问卷内容及结果。A-F 的标题为问卷中的 6 个问题；横坐标为选项，对应学生对问题的了解或掌握程度；纵坐标为选择该项的学生占总人数 (N=26) 的百分比。问题及选项为英文表述。

Figure 1. Survey questions and results from 2016 cell biology laboratory course.

(Pre) are the survey results immediately before the course, and (Post) are the results immediate after the course. Panel titles (A-F) are the survey questions; X axes are the options to the question; Y axes are the percentages of students (the number of enrolled students, N=26). Questions and options are in English.

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。需要注意的是，该问卷（N=55）面向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。分析表明，学生课程中学到了很多知识，而且普遍超出他们的预期（图 2A, 2B），批判性思维方式和对科学的理解得到锻炼与提高（图 2C, 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，该课程提供了学生和教师长时间接触的机会，从而能够及时地帮助学生学习并提高其学习的效率（图 2G~2I）。

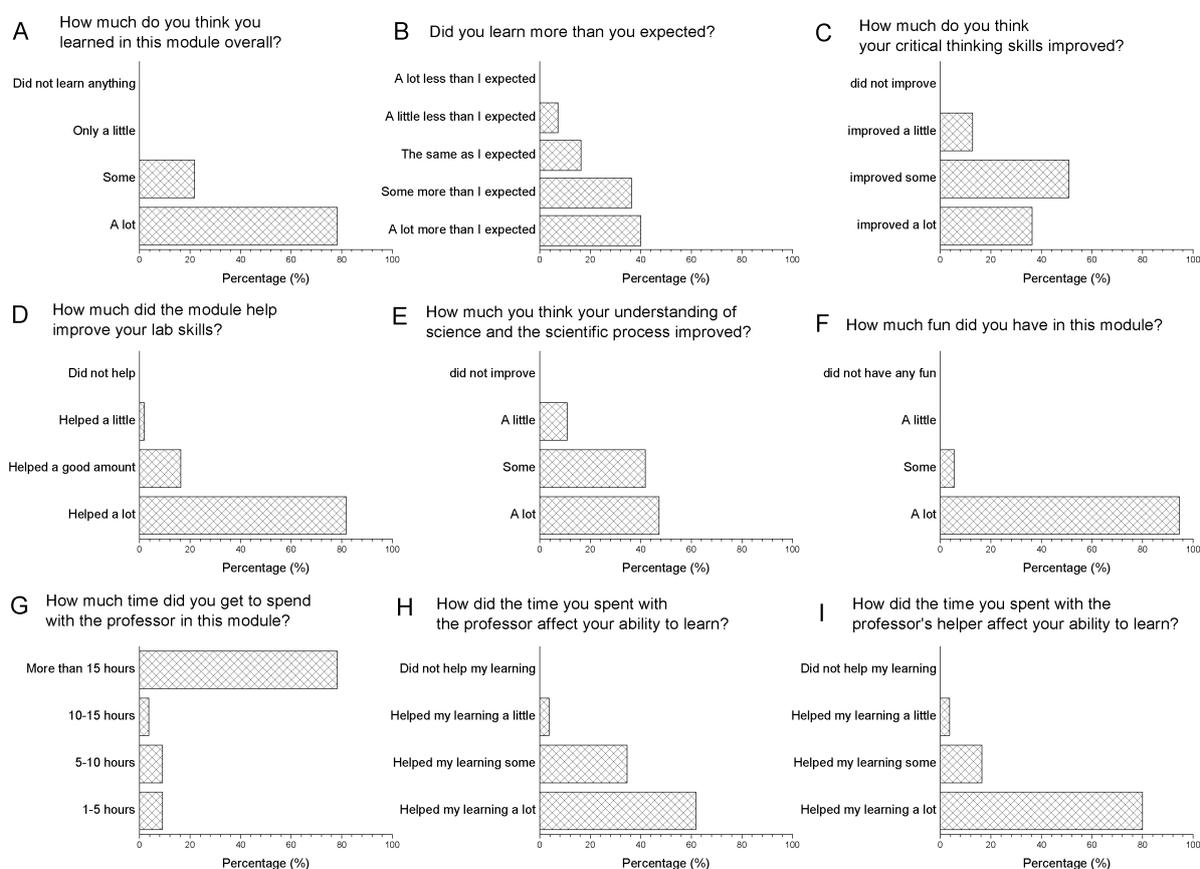


图 2. 各个系列实验课后针对学生满意度和建议的调查问卷内容和结果。

A-I 的标题为问卷中的 9 个问题；纵坐标为选项，对应学生对问题的回答；横坐标为选择该项的学生占总人数（N=55）的百分比。问题及选项为英文表述。

Figure 2. Survey questions and results from 2016 reformed biology laboratory courses.

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

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)。为了客观评估因教学而培养的能力 (level of competence development)，我们统计分析了学生在系列实验课程中具体到每一项评分细则的得分情况(针对表 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的 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, 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, 3B），对正在训练的技能掌握程度随着训练次数增多而变好（图 3C）。

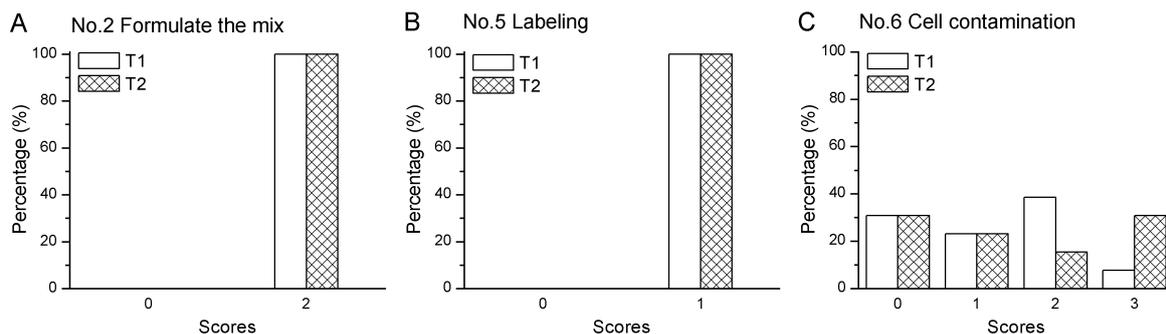


图 3. 系列实验课程中针对细胞转染具体评价指标的学生得分情况.

A-C 分别对应表 1 中 No.2、No.5、No.6 这 3 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。

Figure 3. Students' scores on Transfection Rubric.

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).

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。此外，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辐射作用：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方法，我们结合国外经验^[13]，采用了启发式教学——使学生由被动学习转变为主动学习的教学模式。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，促进学生自主学习，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，课程中大量运用的小组讨论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，为国家培养急需的创新人才。

参考文献

- 1 Labov JB, Reid AH, Yamamoto KR. Integrated biology and undergraduate science education: a new biology education for the twenty-first century? *CBE-Life Sciences Education* 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.
- 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. *Journal of College Science Teaching* 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. *Journal of Postdoctoral Research* 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 Biology Education* 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 Sciences Education* 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. *Physical Review Physics Education Research* 2017; 13 (1):

010104.