

问题导向/翻转课堂教学在生物工程专业“化工原理”课程中的应用探索

李璐, 肖南, 解新安, 李雁

华南农业大学 食品学院, 广东 广州 510642

李璐, 肖南, 解新安, 等. 问题导向/翻转课堂教学在生物工程专业“化工原理”课程中的应用探索. 生物工程学报, 2020, 36(9): 1939–1946.

Li L, Xiao N, Xie XN, et al. Integrating problem-based-learning with flipped classroom teaching in “Principles of chemical engineering” for biological engineering undergraduates. Chin J Biotech, 2020, 36(9): 1939–1946.

摘要: 新工科建设要求探索符合时代特征和工程教育规律的培养模式。针对“化工原理”课程特点和传统教学方法的局限性, 将问题导向教学法与翻转课堂教学模式融合, 用于生物工程等专业该课程的教学改革与实践。通过对课前知识学习、课中知识内化、课后巩固拓展 3 个阶段的系统教学设计, 有效激发学生的学习兴趣 and 积极性, 培养学生的自主学习能力和工程思维, 取得了较好的教学效果, 可为农业院校化工原理及食品工程原理课程建设和工程人才培养提供参考和借鉴。

关键词: 问题导向, 翻转课堂, 化工原理, 评价

Integrating problem-based-learning with flipped classroom teaching in “Principles of chemical engineering” for biological engineering undergraduates

Lu Li, Nan Xiao, Xinan Xie, and Yan Li

College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China

Abstract: New engineering program requires training models that conform acceptable time span and principles of engineering education. Considering the program “Principles of chemical engineering” and the limitations of traditional teaching methods, we integrated problem-based learning method and flipped classroom teaching model to reform the course. Through a three-stage systematic teaching design including knowledge learning before class, knowledge internalization in class, and consolidation and

Received: December 27, 2019; **Accepted:** April 16, 2020

Supported by: Teaching Reform Project of Higher Education in Guangdong Province (No. [2018]1), Project of Excellent Resources Sharing Course Construction in Guangdong Province (No. [2016] 233), Education Teaching Reform and Research Projects of South China Agricultural University (No. JG17019).

Corresponding author: Lu Li. Tel: +86-20-85280266; E-mail: lulu_lee@scau.edu.cn

2017 年度广东省本科高校高等教育教学改革项目 (No. 粤教高函[2018] 1 号), 广东省精品资源共享课程 (No. 粤教高函[2016]233 号), 华南农业大学教育教学改革与研究项目 (No. JG17019) 资助。

网络出版时间: 2020-05-09

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1998.Q.20200508.1431.002.html>

expansion after class, we effectively stimulated students' interest and enthusiasm in learning, cultivated students' independent learning ability and engineering thinking, and achieved good teaching effect. It can provide reference for the construction of "Principles of chemical engineering" course and training of engineering talents in agricultural colleges.

Keywords: problem-based, flipped classroom, principles of chemical engineering, evaluation

2010年教育部启动的“卓越工程师培养计划”，明确将“重视工程人才培养国际化”列为中国工程教育发展的重大战略之一^[1]。近年，教育部又提出“新工科”背景下的工程教育改革，致力于培养具有国际视野的卓越工程技术人才^[2]。高校承担着为社会提供人才的重任，如何使高校学生在校学习期间获得工程思维和解决实际问题的能力是工程人才培养的核心。

作为学生进入工程领域的敲门砖，“化工原理”通过单元操作对加工过程中的各种平衡关系以及影响因素进行热力学及动力学研究，是我院面对生物工程专业开设的主干专业必修课程之一，也是该专业发酵工程工艺原理、酿酒工艺学、发酵设备、发酵工厂设计等专业课的先修课程。该课程具有工程实践性强、注重应用等特点，对培养学生，尤其是工程类课程较少的农业院校的学生的工程意识、工程计算能力、解决实际工程问题的能力具有举足轻重的作用。但受限于农业院校学生薄弱的先修学科基础和难以学以致用等现状，学生的学习积极性普遍不高，对其工程能力的培养效果也很不理想。

笔者基于所在教学团队十几年对化工及食品工程原理课程的教学经验，在“广东省精品资源共享课”项目资助及建设的基础上，以新工科改革和卓越工程师培养计划为契机，结合国内外工程教育发展和现代高等教育改革的趋势，通过探索新的教学手段和方法来提高学生学习的主动性，进一步培养学生工程意识和解决问题的能力，以满足社会对高层次工程人才的需求。

1 翻转课堂与传统PBL教学方法的融合

PBL (Problem-based learning) 教学法，也译

作“问题导向学习法”，强调以问题为导向，以解决问题为主线，鼓励学生通过自主探索、分组合作等方式去获得自主学习和解决复杂问题的能力^[3]。PBL教学法作为一种建构主义思想指导下的教学模式，于1969年首次被美国神经病学教授Howard Barrows应用于医学领域^[4]，因效果好而逐渐被推广到其他教育教学实践中，是目前国际上比较流行的一种教学方法。

翻转课堂 (Flipped classroom) 是近年基于信息技术蓬勃发展而兴起的一种新型教学模式，它最基本的理念是把知识学习过程放在教室外，学生先根据教师布置的任务和资源选择合适方式自主学习，课堂上学生再在教师引导下通过内容讨论、针对性疑惑解答及团队协作交流等方式，完成知识的建构和内化^[5-6]。与传统教学相比，它将传统课堂“预习-课堂讲授-复习”的学习流程翻转为“课前自主学习-课中知识内化-课后总结提高”的学习步骤，本质上是一种先学后教的模式，因更符合人类认知规律而成为实施差异化教学和个性化教学的有效手段，在国内外的教育教学领域获得快速发展^[7]。

笔者分析这两种教学模式发现，翻转课堂和PBL教学在教学特点及学习方式上存在很多共通性和互补性。如果将两者有效融合用于生物工程专业“化工原理”课程的教学，将生物工程中常采用的生产工艺和操作设备作为理论教学内容的载体，教师在任务布置和课堂讨论时通过联系生活或生产实际构建问题场景，以解决问题为导向引入相关授课内容，必能激发学生对课程的兴趣，并在自主学习、疑难探究、问题解决的过程中实现对其工程思维意识的建立和强化，这对于培养学生的学习能力、创新精神以及培养更多具有较

高素质的卓越工程人才都将具有重要作用。

2 基于 PBL 的翻转课堂教学模式设计与实践

2.1 基于导入问题和网络资源进行课前教学设计

2.1.1 通过工程案例或生活情境实现问题导入

兴趣是最好的老师,因此在课前学习时,教师可根据教学目标设计一些能够让学生产生共鸣或认知冲突的情景,激发学生的参与欲望,调动学生运用已有的知识去积极思考,并带着解决问题的意愿去学习和主动查阅文献,真正变“要我学”为“我要学”。如在讲解固体干燥前可先让大家思考如下生活现象:为什么降低食品中的含水量能延长其保质期呢?在广州三四月份的“回南天”(我国华南地区一种潮湿天气现象的称呼)里,为什么衣服会特别难晾干呢?通过这种与生活实际紧密相连的问题让学生产生对湿空气性质及对流干燥原理等课程内容的学习愿望。也可以通过生物工程生产工艺中涉及到的与教学内容相关的工程案例进行问题导入,如在讲解流动输送机械时,可结合学生正在上的酿酒工艺学课程中提到的“纯生”啤酒的生产特点及生产工艺,假设某企业在“纯生”啤酒的过滤澄清工艺中需处理的啤酒流量是 $120 \text{ m}^3/\text{h}$,进出超滤膜设备的压力分别为 $2.02 \times 10^5 \text{ Pa}$ 和 $1.52 \times 10^5 \text{ Pa}$,请他们帮企业选择合适的泵。学生因有了解决实际问题的需求而更有积极性去系统预习泵的型号、适用范围、选型计算等相关课程内容。

2.1.2 学生根据问题、学习资源和教学任务进行课前自主学习

课前学习是翻转课堂能够顺利进行的关键,合适的课前预习既能提升学生的学习兴趣,又能帮助其实现既定的学习目标。因此,在通过问题导入引起学生的学习兴趣后,教师还必须根据授课的主题和重难点合理安排教学内容,内容不仅要“专”和“精”,还要具有比较好的可控性和延伸

性。本教学团队建设完成的广东省精品资源共享课教学网站可提供绝大部分章节授课视频、课件 ppt 及对应的自测题目(网址:<http://spgcyl.course.scau.edu.cn/index.asp?index.html>)。考虑到学生观看完整的授课视频进行课前学习可能时间过长,我们还会针对性录制部分 20 min 以内的短视频,鼓励学生结合教学目标及任务,通过教材文献、课程平台、互联网等多个渠道完成课前学习,并通过回答导入问题和系统自测来检查课前学习效果。同时,对于课前学习中遇到的问题,学生可在课程网站互动区或 QQ 交流群中留言讨论,实现学生与学生、学生与老师间的多方位实时交流。老师也可选择部分有代表性的问题带入课堂,组织同学实施更大范围、更深层次的讨论。

例如笔者在对“固体干燥”章节实施翻转教学前,会提前告知本章的教学目标是:①掌握和理解湿空气的性质;②能利用空气性质的特点解释相关的生活现象;③能通过干燥过程中的物料衡算、热量衡算及干燥时间计算等,完成食品干燥加工中最佳工艺参数的优化工作。据此给学生设定课前学习任务如下:①通过观看授课视频等资源自主完成对湿空气温度、湿度、比热等性质的定义及相关公式学习;②思考回答引入问题,想想生活中还有哪些现象或事情与空气的性质有关?试着用相关原理进行解释;③预习应用热空气对流干燥的物料衡算和热量恒算以及相关工程例题,考虑如何应用这些知识去优化食品干燥加工中的工艺参数;④如果把前面学过的固体流态化和干燥结合起来,所得的流态化干燥与普通干燥相比有什么优势?能不能找到其在食品或生物工程工业中的应用实例?通过这些具有层次性的“问题链”,引导学生将问题不断向前推进,在学习、思考、探究、讨论和解决问题的过程中,引导学生体会知识的发现和形成过程,加深对知识本质的理解,形成和掌握解决食品及生物类工程问题时的思维方式。

2.2 基于主题讨论及答疑解惑的课堂交互教学

课堂学习继续采用 PBL 与翻转教学相融合的模式。教师可结合课前学习的导入问题和教学目标,通过交互式课堂应答系统,快速掌握学生学习进度与掌握情况,及时发现学生理解或掌握不到位的知识点及学习疑惑,寻找多个问题的共性联结点,在此基础上组织难点学习或小组讨论,通过师生互动、生生互动来深化课前学习的内容,实现对学生已知知识的深化、拓展和应用,完成知识内化的过程。

例如,笔者在利用翻转课堂组织“固体干燥”中湿空气性质的学习时,会先把学生(一般是两个班,约 50 人)分成 10 个学习小组,抽取其中 7 个小组分别讲述相对湿度、湿含量、热焓、露点温度等 7 个重点概念,另外 3 个小组负责提问和补充。然后让同学寻找生活中和湿空气性质相关的例子或现象,并试着从理论上给予解释。大家讨论后发现秋天昼夜温差大时早晨会有露水就与露点温度有关;食品干燥后含水量降低会停止或减弱微生物的活动,从而延长食品的保质期;“回南天”衣服特别难干是空气相对湿度接近饱和,因此无法完成水分的传质过程等在自我讲述和讨论应用的过程中,学生深化了对课前自学知识的理解和掌握,并通过与生活现象的关联拓展了应用性和趣味性。之后再由老师介绍焓湿图的应用,给每个小组设定不同的独立状态参数查图,小组讨论后派代表展示查图过程及结果,鼓励其他小组有疑问或不同意见时马上提问并进行讨论,在进一步巩固不同条件下如何在焓湿图中确定状态点方法的同时,实现师生互动和生生互动。最后,教师再对整个过程中暴露出的难点问题讲解和补充,引导学生对整节课的知识进行总结和梳理,并引申出后续需解决的相关工程问题,推动学生注重知识的内化和应用,培养其提出问题、分析问题和解决问题的能力。

总之,在翻转课堂教学中,因学生在课前已经针对性地完成了相关内容的自主学习,因此在

课堂上,学生是课堂的中心和主导者,教师有更充足的时间组织学生讨论、针对性地解答疑惑等,使得具有不同学习背景、生活阅历的同学在已有的知识基础上建构出新认知,使课堂教学成为知识的处理与转化过程。

2.3 通过总结梳理和实际应用实现课后巩固拓展

课后总结反馈环节是检验学生是否真正掌握知识的有效途径。首先应采用多种评价形式,如教师评价、学生互评等,对学生课前和课中的表现进行客观全面的学习评价。然后教师通过学习平台布置课后作业,促进学生对相关知识的梳理和总结。在此基础上,通过提供一些工程实际应用的拓展资源,指导学生进行实践的验证与应用。如针对“食品干燥”的已授内容,引导学生设计综合性干燥实验——流态化干燥和洞道干燥对不同食品物料的干燥效果对比,并结合所查询到的工业中两种干燥手段的应用情况,分析流态化干燥的优势及适用类型。再如在完成传热学习后分享这样一个工程案例:原为我国长三角地区某城市设计的万吨有机酸生产工厂,后因种种原因落户在辽宁某地区,但原设计方案并未进行相应修改与调整。项目建成后,在冬季时出现室外物料管道结晶、堵塞等现象,造成生产停顿,损失巨大。请同学们结合传热中有关保温和强化传热等相关知识,对该现象产生的原因及解决策略进行分析,从而强化学生分析问题、解决问题的工程能力,而且他们在后续进行发酵工厂设计等专业课程学习时也会自觉考虑设备使用的环境因素^[8]。同时,我们也鼓励学生积极参与全国大学生化工设计大赛、食品工程虚拟仿真大赛等,通过多方面的学以致用达到更好的教学效果。

以上 3 个环节层层递进,有效融合了课前学习、课中内化、课后巩固的翻转课堂和以问题为导向的 PBL 教学模式,该模式的整体过程如图 1 所示。

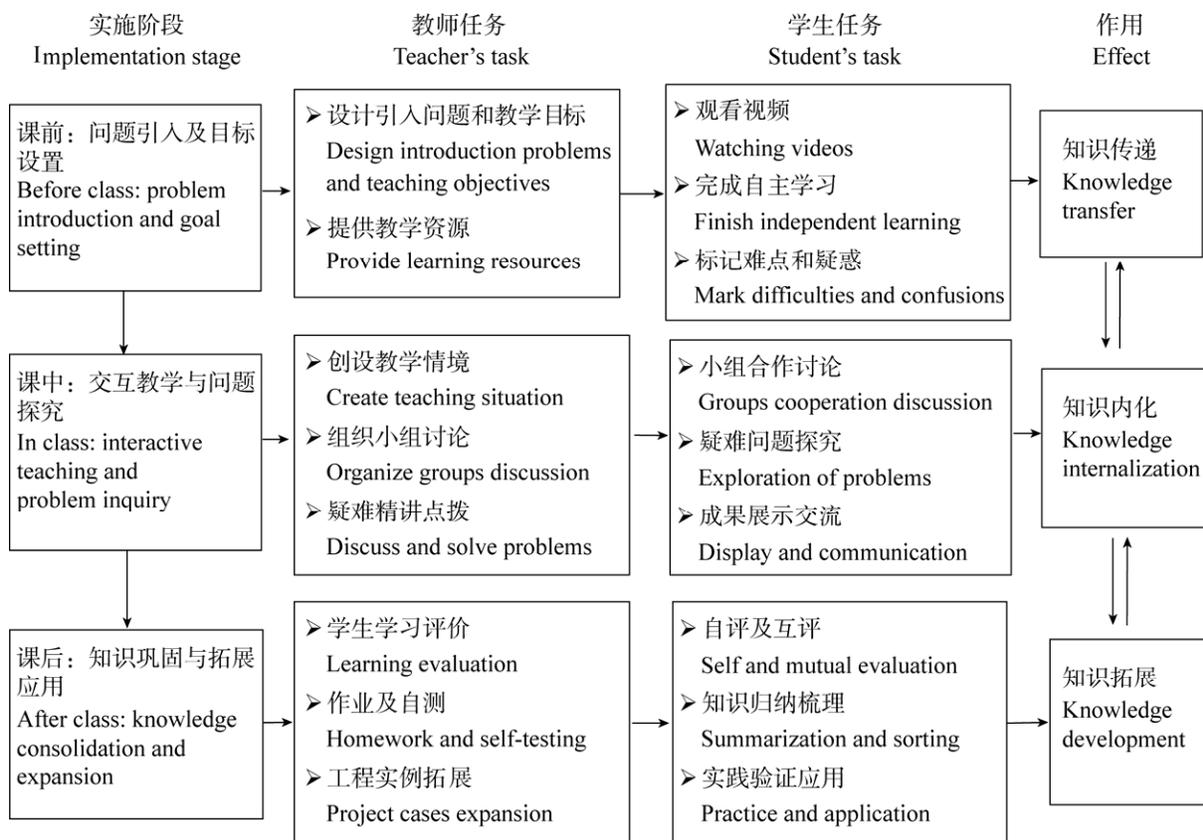


图 1 基于 PBL 的翻转课堂教学模式

Fig. 1 Flip classroom teaching mode based on PBL.

3 基于 PBL 翻转课堂教学改革的评价方式和效果

教学改革的一个重要环节是对学生的学习过程及效果进行合理评价。根据翻转课堂的教学特点，我们重新制定了化工原理课程的成绩评价体系（表 1），切实将课前自主学习能力、团队合作能力以及分析解决问题能力体现到对学生学习的动态评估中，同时仍将能相对客观反映学生掌握知识能力的期末考试作为重要考察内容，占总分的 60%。对积极参加全国大学生化工设计大赛及课程相关创新课题研究的同學，在最终考核成绩不超过 100 分的情况下给予最高 5 分的机动奖励。图 2 是化工原理课程教学改革前（2016 级，47 人）和实施翻转课堂教学改革后（2017 级，49 人）学

生的平时成绩（图 2A）和期末成绩（图 2B）的对比。从图中可以看出，传统模式下学生平时成绩因评价依据单一导致区分度（0.13）很小，成绩基本集中在 85–95 分之间；而实施翻转课堂教学后，平时表现所占比重增加及多角度评价方式使区分度显著加大（0.42），表现突出的同学可能拿到满分，表现差的同学可能低至 65 分，更科学合理地评价了每个学生在学习中的付出和成果。图 2B 中期末成绩的结果则表明实施翻转课堂教学改革后，学生的成绩得到了明显提高，分析原因可能是在这种“先学后教”的模式下，学生可以根据自己的学习习惯和安排学习进度，发挥了学生在学习中的主体作用。其次，通过线上线下的实时反馈，教师能更准确地了解到学生学习的难点疑惑，从而提供更有针对性的指导^[9]。

表 1 化工原理课程评价方式

Table 1 Evaluation methods of Principles of Chemical Engineering course

	项目 Item	形式 Form	分值 Score	评价方式 Method
传统教学 Original assessment	期末考试	期末统考	70	教师评价
	平时成绩	平时作业	20	教师评价
	Usual achievement	Homework 课堂考勤	10	教师评价
翻转教学 Flipped teaching assessment	期末考试	期末统考	60	教师评价
	平时成绩	线上视频学习及自测	10	网络平台数据
	Usual achievement	Online video learning and testing	15	学生互评/老师点评
		Participation degree in class discussion	15	学生互评/老师点评
		作业及课后拓展完成	15	学生互评/老师点评
	Completion of homework and question task		Students' mutual evaluation/teacher's comments	

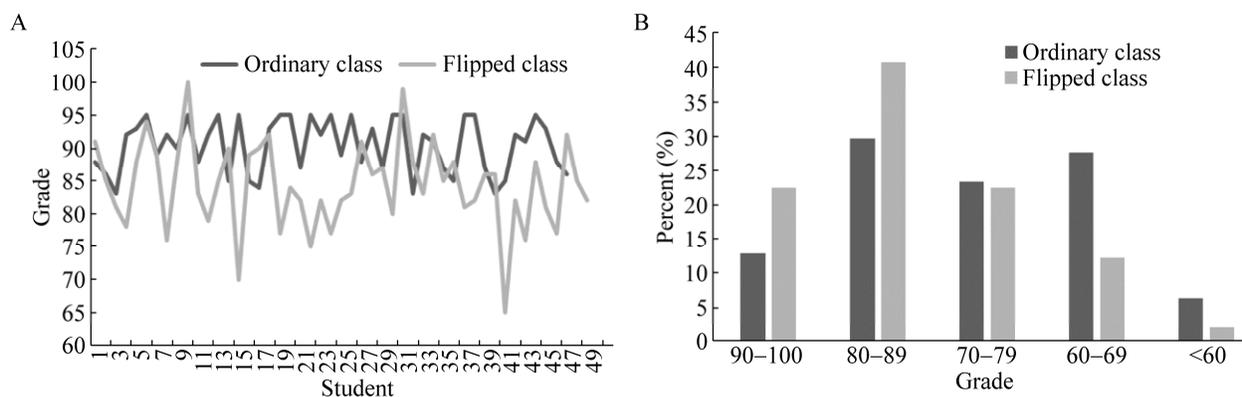


图 2 实施翻转课堂教学改革前后学生平时成绩 (A) 和期末成绩 (B) 比较

Fig. 2 Comparison of students' usual achievements (A) and final testing (B) between ordinary class and the flipped teaching class.

同时, 我们也以无记名问卷方式对参与课程改革的 49 名同学进行了满意度调查 (问卷设计及调查结果见表 2)。从调查结果可以看出, 除“奖励分值的推动作用”选项外, 其余各调查项中的满意率均超过 90%, 大多数同学对课程改革在提高学习兴趣 and 效果、工程能力的培养等方面给予了较高的认可度。深入了解后发现, 学生对奖励分值

激励作用不满意的主要原因是参加比赛或课题等很难刚好在授课学期完成, 导致该奖励机制形同虚设, 不能对学生的学习积极性起到有效激励作用。同时, 学生也希望课程考核能进一步细化, 内容方面能进一步加强与工厂实际的联系和应用, 能有更多的 flash 甚至虚拟仿真学习资源等, 这也为课程后续的持续改进指明了方向。

表 2 基于 PBL 的化工原理翻转课堂教学改革效果评价

Table 2 Reform effect evaluation of PBL/flipped teaching in principles of chemical engineering

问题选项 Question item	很满意/显著提高 (%) Very satisfied/improved considerably	满意/有所提高 (%) Satisfied/improved	不满意/没有提高 (%) Unsatisfied/no improved
课程资源满意程度 Satisfaction degree of network resources	77.55	20.41	2.04
课堂组织及任务设计 Organization and design of class discussion	67.35	28.57	4.08
课程考核方式 Evaluation method of course	79.59	16.33	4.08
学习兴趣提高程度 Improve of interest in learning	75.51	24.49	0.00
学习效果提高程度 Improve of learning effect	57.14	40.82	2.04
工程思维及能力培养 Improve of engineering ability	26.53	65.31	8.16
奖励分值的推动作用 Promoting of reward score	20.41	38.78	40.81

4 结语

在“化工原理”课程中开展基于 PBL 的翻转课堂教学模式的探索与实践,促进了问题导向探究性教学思想和现代教育技术下的翻转课堂教学模式的融合,改传统的“先教后学”为“先学后教”,使学生的被动学习转换为自主探究式的主动学习,在加强学生基础知识掌握和提升工程能力等方面取得了显著成效,可为社会及食品生物工程行业培养具有持久学习能力的创新型工程技术人才。

REFERENCES

- [1] Zhong L, Zheng DF. Construction and reform of chemical engineering principle about fostering the excellent engineers with international view. *Higher Educ Chem Eng*, 2018, 35(3): 28–33 (in Chinese).
钟理, 郑大峰. 面向国际化卓越工程人才培养的化工原理课程建设与改革. *化工高等教育*, 2018, 35(3): 28–33.
- [2] Huang Q, Zheng BD, Zeng SX, et al. Preliminary exploration on the reform of practical teaching of food science and engineering specialty under new engineering construction project. *Food Ind*, 2019, 40(8): 231–233 (in Chinese).
黄群, 郑宝东, 曾绍校, 等. 新工科建设背景下食品科学与工程专业实践教学改革的初探. *食品工业*, 2019, 40(8): 231–233.
- [3] Liu XJ, Zhao LC, Zhou AM, et al. Teaching reform and practice on the course of functional food based on concept of PBL/CDIO. *Food Ind*, 2018, 39(2): 255–257 (in Chinese).
刘晓娟, 赵力超, 周爱梅, 等. 基于 PBL/CDIO 理念的《功能食品学》课程教学改革与实践. *食品工业*, 2018, 39(2): 255–257.
- [4] Li YT, An DD. Design and practice of class activities of the immunology course under the flipped classroom mode. *Microbiol China*, 2019, 46(12): 3491–3496 (in Chinese).
李远婷, 安登第. 翻转课堂模式下免疫学课堂活动的设计与实践. *微生物学通报*, 2019, 46(12): 3491–3496.
- [5] Wang L. Construction of analytical chemistry teaching mode based on flipped classroom under the background of “Internet +”. *J Changchun Educ Instit*, 2019, 35(8): 27–28 (in Chinese).

- 王磊. “互联网+”背景下基于翻转课堂的分析化学教学模式的构建. 长春教育学院学报, 2019, 35(8): 27-28.
- [6] Zhao WQ, Gao GT, Zhang QA, et al. The application of flipped classroom model based on thinking in food engineering principles. *Academ Period Farm Products Process*, 2018, (11): 86-88 (in Chinese).
赵武奇, 高贵田, 张清安, 等. 基于思维型的“食品工程原理”翻转课堂教学模式探索与实践. *农产品加工*, 2018, (11): 86-88.
- [7] Zheng RQ, Lu Y. The optimization design and practical reflection of the teaching mode in the college flipped classroom. *J Higher Educ Manag*, 2017, 11(1): 97-103 (in Chinese).
郑瑞强, 卢宇. 高校翻转课堂教学模式优化设计与实践反思. *高校教育管理*, 2017, 11(1): 97-103.
- [8] Zhao LM, Huang AG, Wang YS. Innovation of compiling textbook and teaching approach for principle of food engineering. *Higher Educ Chem Eng*, 2014, 31(4): 44-46, 75 (in Chinese).
赵黎明, 黄阿根, 王耀松. 《食品工程原理》教材与教学模式创新之思考. *化工高等教育*, 2014, 31(4): 44-46, 75.
- [9] Zhang HY, Li XQ, Guo RL, et al. The application of flipped classroom teaching model in the principles of chemical engineering course. *Higher Ed Chem Eng*, 2017, 34(3): 82-84 (in Chinese).
张海洋, 李雪琴, 郭瑞丽, 等. 翻转课堂教学模式在化工原理教学中的应用. *化工高等教育*, 2017, 34(3): 82-84.

(本文责编 郝丽芳)