

## 对微生物工程类虚拟仿真实验建设与共享应用的思考

汤海峰, 李臣亮, 周毓麟, 刘艳

吉林大学 生命科学学院, 吉林 长春 130012

汤海峰, 李臣亮, 周毓麟, 等. 对微生物工程类虚拟仿真实验建设与共享应用的思考. 生物工程学报, 2021, 37(12): 4439-4445.

Tang HF, Li CL, Zhou YL, et al. Development of the virtual simulation experiments for Microbial Engineering and perspectives on its shared application. Chin J Biotech, 2021, 37(12): 4439-4445.

**摘要:** 微生物工程是一门实践性和应用性较强的课程。让学生走进企业的生产线进行实践性学习是必不可少的教学环节。实习资源不足一直是限制微生物工程课程开展高水平实习教学的瓶颈。利用信息技术搭建的虚拟化生产线不但可以使学生从中学习复杂的生产系统中的理论性知识, 还能进行更深层次的虚拟操作, 从而促进学生实践能力和创新能力的形成。为了更好地发挥虚拟仿真实验项目在本科教学中的作用, 文中对微生物工程类虚拟仿真实验项目的教学价值进行了归纳, 对其建设进展和特点进行了总结, 对限制其共享应用的主要问题进行了分析并提出了解决方案。

**关键词:** 教学研究, 教学改革, 课程教学, 课程改革, 现代教育技术

## Development of the virtual simulation experiments for Microbial Engineering and perspectives on its shared application

Haifeng Tang, Chenliang Li, Yulin Zhou, and Yan Liu

School of Life Sciences, Jilin University, Changchun 130012, Jilin, China

**Abstract:** Microbial Engineering is a practical and applied course, it is therefore an indispensable part of teaching to let the students practice in the production line of an enterprise. However, lack of internship resources has always been a bottleneck hampering the high-level internship training during teaching the Microbial Engineering course. A virtual production line developed based on information technology enables students to learn the theoretical knowledge of the complex production system. Moreover, it enables students to perform complex virtual operations, thereby improving students' practicing and innovation abilities. In order to let the virtual simulation experiments project play a great role in undergraduate teaching, this article summarizes the progress, characteristics, and value of the virtual simulation experiments for Microbial Engineering. In addition, the main challenges that limit its shared application are also discussed, with potential solutions prospected.

**Keywords:** teaching research, teaching reform, course teaching, curriculum reform, modern educational technology

**Received:** November 27, 2020; **Accepted:** February 19, 2021

**Supported by:** Jilin University Undergraduate Teaching Reform Research Project, 2019, China (No. 2019XYB091).

**Corresponding author:** Yan Liu. Tel: +86-431-85168643; E-mail: liuyaorui@126.com

2019年度吉林大学本科教学改革研究立项项目 (No. 2019XYB091) 资助。

网络出版时间: 2021-04-14

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1998.Q.20210414.1103.002.html>

微生物工程是以活细胞为催化剂,采用工程技术充分挖掘和利用生物体系潜力的一门学科,是生物工程的重要组成部分,是基因工程、酶工程、细胞工程实现产业化的桥梁<sup>[1-2]</sup>。微生物工程课程的实践性和应用性较强,教学过程中侧重培养学生工程知识、工程设计和问题分析能力<sup>[3]</sup>。在产业应用领域的实践性学习对学生学好微生物工程课程至关重要。课堂教学和产业领域实践教学存在的天然“鸿沟”,会不同程度地导致学生培养过程中的“重理论轻实践”现象。虚拟仿真实验可以很好地模拟产业生产,为学生提供优质的生产实践学习资源。

虚拟仿真实验教学是依托虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库和网络通讯等技术,构建高度仿真的虚拟实验环境和实验对象,以在虚拟环境中开展实验<sup>[4]</sup>。面向本科生的虚拟仿真实验教学是对线下实体课堂教学的有效补充,可以有效拓展实验教学内容的广度和深度、延伸实验教学的时间和空间、提升实验教学质量和水平<sup>[5-6]</sup>。

## 1 微生物工程虚拟仿真实验的教学价值

### 1.1 拓展学生的最近发展区

微生物工程类课程主要以微生物发酵工业生产过程为主线,传授工业微生物菌种选育和保藏、工业发酵培养基设计、工业发酵工艺与设备、工业发酵的清洁与除菌工艺、生物反应动力学、微生物代谢工程与调控等内容<sup>[2]</sup>。课程内容多涉及产业领域,已经远离学生的生活实际,学生缺乏相关的经验积累。建构主义学习理论认为,学习是引导学生从原有经验出发,不断积累新的经验<sup>[7]</sup>。由于学生缺乏对产业领域的经验积累,微生物工程课程中与生产相关的内容超出了学生的最近发展区,增加了教与学的难度。虚拟仿真实验可以通过计算机虚拟生产工艺流程,使学生沉浸在虚拟的生产流程中,“近距离”学习与感受复杂的生产系统中的相关知识,积累原始经验,使微生物工程课程的教学内容处于学生的最近发展区中,

提高教与学的效率。

### 1.2 加深对微生物工程理论知识的理解

认知过程包括感觉、知觉、记忆、思维和想象等基本过程<sup>[8]</sup>。感觉是认知的开端,对学习成果的好坏至关重要。感觉包括听觉、视觉、嗅觉、味觉、肤觉、动觉等<sup>[9]</sup>。传统的微生物工程课程一般以教师讲授的方式开展教学,学生仅利用听觉接受信息。而虚拟仿真实验可以实现视觉、听觉、触觉、动觉等多种信息接受器官协同活动,增强信息接受效率,提高学生对知识的获取能力,强化学习效果。以多个感官信息通道整合到一起协同作用为特征的多感官学习能够有效调动学生的多种感官功能,实现更有效地沟通、参与和对知识的理解<sup>[10]</sup>。

### 1.3 促进学生实践能力的快速形成

认知心理学家在承认动作本身是一系列刺激反应联结的同时,更强调动作技能的学习必须有感知、记忆、想象、思维等认知成分的参与。如维尔福德的动作技能形成模型将动作技能的形成分成3个连续的阶段:感觉接受阶段、由知觉到运动的转换阶段、效应器阶段。虽然技能是在练习的基础上形成的,但技能形成的开端却是视觉和听觉。美国心理学家理查·休因(R.M.Suine)提出的“表象训练法”也认为在头脑中反复想象某种运动动作或运动情境可以提高运动技能<sup>[11]</sup>。虚拟仿真实验通过视觉、听觉、触觉等器官和身体的动觉协同作用能够使相关的技能动作通过感觉系统传到大脑皮质的有关中枢,使其兴奋,即在有关中枢间形成初步的暂时神经联系,从认知层面为技能的快速形成奠定基础。技能的形成由操作定向、操作模仿、操作整合和操作熟练4个阶段组成,其中操作定向和操作模仿阶段可以通过线上虚拟学习来实现<sup>[12]</sup>。

## 2 微生物工程虚拟仿真实验的建设进展

2014年,教育部启动了在本科实验教学课堂

上开展虚拟仿真实验项目的行动。2017年之前教育部以国家级虚拟仿真教学中心评选的形式推动虚拟仿真实验项目建设。2017年开始直接认定国家级虚拟仿真项目。2019年教育部将虚拟仿真项目升格为国家级一流本科课程。由此可见,教育部对虚拟仿真实验项目建设的重视已经达到了相当高度。2017–2019年教育部先后认定728项国家级虚拟仿真项目(含虚拟仿真实验教学一流课程),包括16项微生物类项目。其中,微生物工程类项目9项,占微生物类项目的56.3%(表1)。由此可见,微生物工程类虚拟仿真项目建设水平较高,在微生物类项目中占绝对优势。从已经认定的国家级虚拟仿真实验项目来看,微生物工程类虚拟仿真项目建设具有以下特征。

(1) 选题定位准确,满足本科教学程度较高。微生物工程相关课程贴近生产实际,学生有进入生产线进行现场学习的需要。在传统的教学中学生只能通过现场参观或观看教学录像等方式对生产线进行认知层面的学习,真正在实际生产线上动手操作的机会较少。开发虚拟仿真实验可以通过虚拟生产车间或中试设备向学生展现产业生产过程的工艺路线、生产操作流程和生产线的操作方法。使学生通过虚拟操作对生产线的结构、原理、运行方式和操作方法等知识进行“探究式、参与式”学习,完成更高层次的学习目标。这在传统教学方式中往往是不可企及的。

(2) 遵循“能实不虚”的建设原则,注重“虚实结合”。国家要求虚拟仿真实验项目建设要体现“虚实结合、相互补充、能实不虚”的原则,实现真实实验不具备或难以完成的教学功能<sup>[13]</sup>。已认定的微生物工程类国家级虚拟仿真实验项目都是以真实的生产线或实训系统为蓝本进行虚拟开发,实现虚中有实、虚实结合。利用Unity 3D等技术对真实场景进行高度虚拟。通过计算机技术弥补现场教学实习中的短板。通过在线学习学生不但可以了解生产线的结构、运作过程,还可以在计算机上进行虚拟的“生产操作”。这对学生

理论知识学习和实践能力的形成同样具有积极意义。

(3) 全面开放共享,成效初显。国家倡导各高校把开发的虚拟仿真实验项目进行开放共享。目前,已经被认定为国家级项目的9个微生物工程类虚拟仿真项目均在“实验空间”(网址为<http://www.ilab-x.com>)网络平台在线共享。截至2020年11月共计有7600余人通过“实验空间”平台进行了共享学习。通过开放共享可以使其他院校的学生有更多的机会利用优质实验教学资源,学习高水平的实验项目。也可以使教师的教学理念得到更新,教学能力得到提升,教学水平进一步提高<sup>[14-15]</sup>。通过开放共享虚拟仿真项目还能够避免教学资源重复建设,节约教育资金,提高虚拟仿真项目的经济效益。

虽然微生物工程类虚拟仿真实验项目利用计算机技术为学生提供了虚拟的线上实践资源,在一定程度上弥补了线下实践教学资源匮乏的短板,但已开发的微生物工程类虚拟仿真实验项目过于突出对生产设备和特定生产工艺的仿真,而对生产过程中各条件参数相关性、数据统计分析和计算机控制方法等非确定性因素模拟不足,学生一般只能对这些仿真实验项目进行机械性的操作。微生物工程是微生物学与工程技术相结合的交叉学科,课程内容包含了大量的公式和模型。在开发虚拟仿真实验项目时应该充分发挥计算机的强大计算优势,在对生产线进行仿真的同时加强对生产中的变量数据进行模拟和分析,使学生更深刻地理解和掌握微生物工程课程的应用性知识和技能。例如,广西大学开发的“啤酒工艺虚拟仿真实验教学”项目,在3D虚拟仿真系统中嵌入了HYSYS软件,通过DCS接口调用数据并对关键设备的性能参数进行动态模拟,使学生在掌握啤酒发酵设备和工艺操作过程的基础上进一步理解发酵过程中的相关理论知识,提升数据分析处理和生产控制能力。这种开发思路有效地拓宽了虚拟仿真实验项目的教学应用空间。

表 1 2017–2019 年已认定的微生物工程类国家级虚拟仿真实验项目 (含虚拟仿真实验教学一流课程) 统计表

Table 1 The national-level projects of virtual simulation experiment for microbial engineering recognized during 2017–2019

项目名称 Subject	建设单位 The developer	参评年度 Year	共享使用人数 User numbers
(1) 啤酒工艺虚拟仿真实验教学 (1) Virtual simulation experiment for beer fermentation	广西大学 Guangxi University	2017	1 740
(2) 糖化酶催化啤酒发酵及酵母菌与大肠杆菌生物发酵 虚拟仿真实验 (2) Virtual simulation experiment for beer fermentation catalyzed by glucoamylase and fermentation experiment using yeast and <i>Escherichia coli</i>	华东理工大学 East China University of Science and Technology	2017	518
(3) 固态白酒发酵的工艺原理和生物学本质探究虚拟仿 真实验 (3) Virtual simulation experiment exploring the technological principle and biological essence of solid-state liquor fermentation	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	2017	0
(4) 食用菌功能性饮料生产工艺虚拟仿真实验 (4) Virtual simulation experiment for the production of functional beverage using edible mushroom	河北师范大学 Hebei Normal University	2018	736
(5) 淀粉酶高产菌的筛选、诱变、鉴定及应用虚拟仿真 实验教学项目 (5) Virtual simulation experiment for screening, mutagenesis, identification and application of amylase high-yielding bacteria	河南师范大学 Henan Normal University	2018	2 712
(6) 青霉素工业化生产仿真实验 (6) Simulation experiment for industrial production of penicillin	天津商业大学 Tianjin University of Commerce	2018	399
(7) 生物药物重组人干扰素 $\alpha 2b$ 注射剂生产线的虚拟仿 真教学 (7) Virtual simulation experiment for the production line of recombinant human interferon $\alpha 2b$ injection	江南大学 Jiangnan University	2018	515
(8) 重组 SOD2 蛋白中试规模制备的虚拟实验教学项目 (8) Virtual simulation experiment for the pilot-scale production of recombinant SOD2 protein	暨南大学 Jinan University	2018	456
(9) 基因工程技术制备门冬酰胺酶(冻干粉针)工艺的虚 拟仿真实验 (9) Virtual simulation experiment for the production of asparaginase (freeze-dried powder) by genetic engineering	浙江理工大学 Zhejiang SCI-TECH University	2018	582

### 3 微生物虚拟仿真实验共享应用中存在的问题与对策

#### 3.1 缺乏完整的课程结构要素

2019 年, 教育部提出“虚拟仿真实验教学一流课程”的概念, 把虚拟仿真实验项目归为“课

程”, 但是目前建设的虚拟仿真实验项目缺少课程所需的结构要素。首先, 教学设计缺乏系统性。虽然国家级虚拟仿真实验项目申报时都制定了规范的实验目的、实验原理、教学方法等, 但教学目标、教学重难点、教学步骤与时间分配等课程所需的关键要素仍然模糊不清, 尤其是教学目标

不够完善。多数项目的内容过于突出“知识与技能”目标,而对“过程与方法”目标和“情感”目标体现不足。教学目标是教学活动的向导,只有制定完善的教学目标,才能使教学活动产生预期的教学效果,才能对教学活动的效果实施教学评价<sup>[16]</sup>。其次,缺乏课程所必需的教材。目前高校所开发的虚拟仿真实验项目都没有配套的教材或讲义。教材是依据课程标准编制的、系统反映学科内容的教学用书,是课程标准的具体化<sup>[17]</sup>。微生物工程类虚拟仿真实验项目以生产实际环境为主要教学内容,开发者以外的其他教师很难在没有详细的教科书的情况下对某一个个性化生产线的设计理论、运作原理和组成结构等知识有全面的了解。因此,教师很难直接利用其他学校开放的虚拟仿真实验项目独立开展实验教学。只有编制配套的教材或教师用书才能实现虚拟仿真实验项目的高水平共享。

### 3.2 缺乏必要的课程指导

微生物工程类虚拟仿真实验项目一般是利用计算机技术模拟的生产工艺三维动画场景。学生对这种游戏化的学习资源具有天然的兴趣和较高的学习热情<sup>[18]</sup>。部分教师在教学过程中过分依赖资源自身,“放任”学生自学,而没有通过系统的教学设计开展教学活动。使虚拟仿真实验教学出现教师“缺位”现象。虽然虚拟仿真实验教学是由信息化技术进步所衍生的线上教学模式,但仍然不能忽视教师在教学过程中的主导作用。虚拟仿真实验项目的教学仍然是一个动态的、复杂的过程,离不开教师的指导和管理。因此对虚拟仿真实验项目进行规范的课程设计并以此开展教学活动是提升虚拟仿真实验课程教学质量的必要手段。

### 3.3 与传统实验教学方法割裂

以视频传播技术和虚拟仿真技术代表的线上教学手段是传统教学的有益补充而不是简单的替代。虽然通过虚拟仿真技术可以实现对真实生产线的数字化虚拟,但绝不能忽视现场实践对学生

知识和能力培养的决定性作用。部分教师过分强调虚拟仿真实验的教学效果而忽视现场实习的重要性。学生在真实的生产场景进行学习的过程对微生物工程相关知识的掌握具有不可替代的作用<sup>[19]</sup>。因此教师应该本着“虚实结合、互为补充”的原则,采取线上与线下相结合的方式开展教学。这样才能发挥现代教育技术的优势,提高实践教学质量。

### 3.4 网络基础设施建设薄弱

网络结构限制是当前虚拟仿真实验的校际共享中存在的普遍问题。各高校建设的虚拟仿真实验项目多搭建在本校的服务器供本校学生使用。多数高校出于网络安全考虑都对校园网络进行了访问限制,校外用户很难进行访问。虽然有部分高校给校外用户开通了访问通道,但由于网络带宽、服务器载荷等因素导致校外用户很难流畅地在线学习他校的虚拟仿真实验项目。因此,从国家层面搭建公共平台对高校的虚拟仿真实验项目进行托管是解决这一困难的有效方法。

## 4 结语

开发微生物工程虚拟仿真实验项目可以实现真实实验不具备或难以完成的教学功能、补充传统教学方法和手段的不足,提高学生对微生物工程相关理论知识和实验技能的学习效率。然而,微生物工程类虚拟仿真实验项目的开发和共享应用仍然处于起步阶段,在教学中的教学辅助资料不足、教学方法不成熟、网络基础设施建设薄弱等问题使虚拟仿真实验教学没有展现出预期效果。只有在教学中不断探索,瞄准问题的关键点,采取有效的解决措施,才能发挥出现代教育技术的优势,切实提高微生物工程课程的教学质量。

## REFERENCES

- [1] 冯飞,张雅君,曾幕衡.《微生物工程》课程教学

- 探索与改革. 微生物学通报, 2009, 36(6): 910-913.  
Feng F, Zhang YJ, Zeng MH. Research and teaching reform of "Microbial Engineering" course. Microbiol China, 2009, 36(6): 910-913 (in Chinese).
- [2] 张卉. 微生物工程. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.  
Zhang H. Microbial Engineering. Beijing: China Light Industry Press, 2010 (in Chinese).
- [3] 魏杰, 毕秀丽, 于开源. 微生物工程实验与实践教学模式改革的改革研究. 吉林农业科技学院学报, 2015, 24(1): 115-116.  
Wei J, Bi XL, Yu KY. Research on the reform of experiment and practice teaching model of microbial engineering. J Jilin Agr Sci & Tech Univ, 2015, 24(1): 115-116 (in Chinese).
- [4] 教育部办公厅关于开展 2015 年国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知(教高厅函〔2015〕24 号)[EB/OL]. [2015-06-04]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201506/t20150618\\_190671.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201506/t20150618_190671.html).  
Notice of the general office of the ministry of education on the construction of national virtual simulation experiment teaching center in 2015 (Jiao Gao hall Letter〔2015〕No. 24)[EB/OL]. [2015-06-04]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201506/t20150618\\_190671.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201506/t20150618_190671.html) (in Chinese).
- [5] 关于开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作的通知(教高司函〔2013〕94 号)[EB/OL]. [2013-08-13]. [http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201308/t20130821\\_156121.html](http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201308/t20130821_156121.html).  
Notice on the construction of national virtual simulation experiment teaching center. (Jiao Gao Department Letter [ 2013 ] No. 94)[EB/OL]. [2013-08-13]. [http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201308/t20130821\\_156121.html](http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/201308/t20130821_156121.html) (in Chinese).
- [6] 教育部关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设的通知(教高函〔2018〕5 号)[EB/OL]. [2018-05-30]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607\\_338713.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607_338713.html).  
Notice of the ministry of education on the construction of national virtual simulation experiment teaching project(Jiao Gao Letter [ 2018 ] No. 5)[EB/OL]. [2018-05-30]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607\\_338713.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607_338713.html) (in Chinese).
- [7] 李方. 教育知识与能力. 北京: 高等教育出版社, 2011.  
Li F. Education Knowledge and Ability. Beijing: Higher Education Press, 2011 (in Chinese).
- [8] 路海东. 教育心理学. 长春: 东北师范大学出版社, 2002.  
Lu HD. Educational Psychology. Changchun: Northeast Normal University Press. 2002 (in Chinese).
- [9] 彭聃龄. 普通心理学. 北京: 北京师范大学出版社, 2016.  
Peng DL. General Psychology. Beijing: Beijing Normal University Press, 2016 (in Chinese).
- [10] 刘浪, 马志强. 从离线网络教学到多感官学习: 国际创新教学法的分析与展望. 开放学习研究, 2020, 25(2): 9-17.  
Liu L, Ma ZQ. From offline networked learning to multisensory learning: analysis and prospect of international innovating pedagogies. J Open Learn, 2020, 25(2): 9-17 (in Chinese).
- [11] 殷小川, 薛祖梅. 表象训练在运动技能形成中的作用及研究存在的问题. 首都体育学院学报, 2005, 17(5): 51-53.  
Yin XC, Xue ZM. On the functions of imagery training in the process of athletic skill learning and the problems found in the research. J Cap Inst Phys Edu, 2005, 17(5): 51-53 (in Chinese).
- [12] 汤海峰, 刘艳, 闫国栋, 等. 开展线上线下混合式教学助推大型仪器面向本科生开放. 实验技术与管理, 2020, 37(11): 174-177.  
Tang HF, Liu Y, Yan GD, et al. Carrying out online and offline mixed teaching to boost opening large-scale instruments to undergraduates. Exp Technol Manag, 2020, 37(11): 174-177 (in Chinese).
- [13] 李平, 毛昌杰, 徐进. 开展国家级虚拟仿真实验教学中心建设提高高校实验教学信息化水平. 实验室研究与探索, 2013, 32(11): 5-8.  
Li P, Mao CJ, Xu J. Construction of the national virtual simulation experiment teaching centers, improving the experimental teaching informatization

- in higher education. *Res Explorat Lab*, 2013, 32(11): 5-8 (in Chinese).
- [14] 王森. 实验教学示范中心资源共享机制的研究与实践. *实验技术与管理*, 2013, 30(1): 134-136.  
Wang S. Research and practice on resources sharing mechanism of experimental teaching demonstration centers. *Exp Technol Manag*, 2013, 30(1): 134-136 (in Chinese).
- [15] 徐进. 2013 年国家级虚拟仿真实验教学中心建设工作小结及 2014 年申报建议. *实验室研究与探索*, 2014, 33(8): 1-5, 25.  
Xun J. Construction summary for the national experiment teaching centers of virtual simulation in 2013 and suggestions for this year's application. *Res Explorat Lab*, 2014, 33(8): 1-5, 25 (in Chinese).
- [16] 莫雷. *教育心理学*. 北京: 教育科学出版社, 2007.  
Mo L. *Educational Psychology*. Beijing: Educational Science Publish House, 2007 (in Chinese).
- [17] 张东良, 周彦良. *教育学原理*. 北京: 北京理工大学出版社, 2017.  
Zhang DL, Zhou YL. *Principle of Pedagogy*. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2017 (in Chinese).
- [18] 朱本伟, 倪芳, 熊强, 等. 新工科背景下生物反应工程课程的多元化教学模式改革与探索. *生物工程学报*, 2021, 37(7): 2571-2580.  
Zhu BW, Ni F, Xiong Q, et al. Innovation and exploration of diversified teaching patterns for Biochemical Reaction Engineering under the new engineering education background. *Chin J Biotech*, 2021, 37(7): 2571-2580 (in Chinese).
- [19] 曾化伟, 曾昕, 徐大勇, 等. 生物工程专业发酵工程方向教学模式探究. *中央民族大学学报 (自然科学版)*, 2019, 28(2): 72-77.  
Zeng HW, Zeng X, Xu DY, et al. Exploration on the teaching mode of Fermentation Engineering in Bio-Engineering. *J Minzu Univ Chin (Nat Sci Ed)*. 2019, 28(2): 72-77 (in Chinese).

(本文责编 陈宏宇)