

## “模块教学”在“微生物发酵工程”资源共享课教学中的探索与实践

宋存江<sup>(✉)</sup>, 王淑芳, 杨超, 李国强, 马挺, 蔡峻, 冯露, 刘方

南开大学生命科学学院, 天津, 300071

**摘要:** 本文介绍在微生物发酵工程课程教学中采用模块教学的必要性和可行性及其在教学中的探索与实践。实践证明, 模块教学对于有效利用授课课时, 提高学生对于课程内涵、外延及其内在规律的认知, 充分激发学生的学习热情具有促进作用; 对培养高素质生命科学人才具有极大的推动作用。

**关键词:** 模块教学, 发酵工程, 教学互动

## Exploration and Practice of “Module Teaching Method” in Microbiology Fermentation Engineering Course

SONG Cun-jiang<sup>(✉)</sup>, WANG Shu-fang, YANG Chao, LI Guo-qiang, MA Ting, CAI Jun, FENG Lu, LIU Fang

College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China

“模块理论”应用在教学领域, 就是将一门学科或多门学科中具有同类功能的知识点或能力项组合成知识模块或能力模块, 使其整体功能大于部分之和。“模块教学”就是先确定教学的能力培养目标, 根据该目标将教学课程分解为若干模块, 以实现不同的分目标。模块教学以其针对性、主体性、差异性、灵活性、实践性等特点, 受到教育理论研究者 and 高等院校教师的关注。“模块教学”能够反映不同学习内容相关联的知识内涵, 有目的、有内容、有步骤、有组织地安排至关重要<sup>[1]</sup>。

模块教学包括若干层次: 一门课程的模块教学、课程群的模块教学、还可升级为××专业课程的模块教学以及××人才培养的模块教育等。本文着重介绍

在微生物发酵工程课程教学中对于“模块教学”的探索与实践。

### 1 发酵工程教学中实施“模块教学”的必要性

生物学本科专业调整以来, 发酵工程任课教师在教学中不得不长期面对的问题是课时少。以南开大学为例, 理论课教学从以前的54课时缩减为36课时。而发酵工程课程内容伴随着生命科学的不断发展, 外延不断扩大, 内涵不断延伸, 课程教学内容日益丰满。如采用传统的教学模式, 教学课时远远满足不了需要。这都要求教师不得不采用多种新的教学方法。

南开大学课程组采用了“三位一体”的教学模式, 即: 发挥理论课的主体作用——以案例教学丰富教学内容, 以模块教学实现教学中的科学性; 培养学生的综合创新能力——开设综合性研究型实验课; 使学生对理论与实验的认知得以升华——开展赴生产实地的实践教学。

模块教学就是先确定教学的能力培养目标, 根据

收稿日期: 2013-10-24; 修回日期: 2013-12-24

基金项目: 天津市高教学会“十二五”高等教育科学研究课题(125z003)和天津市普通高等学校本科教学质量与教学改革研究计划(D03-0710)

通讯作者: 宋存江, E-mail: songcj@nankai.edu.cn

该目标将教学课程分解为若干模块，以实现不同的分目标。将发酵工程的知识内容、知识单元和知识点分解为若干个模块，通过案例教学、模块教学、综合性研究型实验、生产现场教学等方式予以实施。多种教学方式相辅相成、互为补充，为理科院校开设生物类工科性质课程积累了宝贵的经验。

## 2 发酵工程教学中实施“模块教学”的可行性

发酵工程是利用微生物或动植物细胞的生长繁殖和代谢活动以及特定功能，通过现代化工程技术生产有用物质或直接应用于工业化生产的技术体系；是将传统发酵与现代的 DNA 重组、细胞融合、分子修饰和改造等新技术结合并发展起来的现代发酵技术。

发酵工程课程的内容庞大，包括发酵与分离两大

板块，全部内容共有十七章，其理论课的教学内容可以概括为“12345”（表1），即：①集中介绍课程的一条主线：菌种/细胞—发酵—分离纯化—产物，聚焦发酵工程原理与技术；②体现课程的两大主题：以微生物菌种和动植物细胞的分子改造与构建为代表的生物学主题，以发酵反应器/设备和发酵动力学为代表的工程学主题；③强化课程的三大基础：包括发酵过程的过量生产、生物反应质能平衡和气液质量传递；④凝练课程的四项工程：包括灭菌工程、空气除菌工程、发酵控制工程、产物分离工程；⑤强调课程的五种方式：包括分批/补料分批发酵、连续发酵、高密度发酵、工程菌发酵和现代固态发酵。以上五点就是发酵工程课程的全部教学内容。从以上分析来看，发酵工程课程具有模块的可分割性，是可以采用模块教学的。

表1 课程组在发酵工程教学中的模块教学设计

模块	名称	课程章节
主线	菌种/细胞—发酵—分离纯化—产物	第一章 绪论 第七章 微生物发酵过程
两大主题	以微生物菌种和动植物细胞的分子改造与构建为代表的生物学主题 以发酵反应器/设备和发酵动力学为代表的工程学主题	第二章 工业上常用的动植物细胞和微生物细胞 第三章 动物/植物/微生物细胞的改造 第八章 发酵动力学 第十二章 发酵反应器/设备
三大基础	包括发酵过程的过量生产、生物反应质能平衡和气液质量传递	第四章 代谢产物的过量生产 第五章 发酵反应的质能平衡 第六章 气液质量传递
四项工程	包括灭菌工程、空气除菌工程、发酵控制工程、产物分离工程	第十四章 发酵工艺控制 第十五章 灭菌工程 第十六章 空气除菌 第十七章 下游分离纯化工程
五种方式	包括分批/补料分批发酵、连续发酵、高密度发酵、工程菌发酵和现代固态发酵	第九章 分批/补料分批和高密度发酵 第十章 连续发酵 第十一章 基因重组菌的发酵培养 第十三章 发酵过程的检测与自动控制

## 3 模块教学的探索与实践

课程组在具体的实施模块教学中，对上述模块又进行了修正。主要做法如下：

### 3.1 第一模块：基础引入模块（4课时）

第一章绪论：通过生动的发酵工程范例调动学生

的学习兴趣。在基本概念介绍的基础上，重点介绍发酵工程的主要内容、特点及发展方向。第二章工业上常用的动物/植物/微生物细胞：重点介绍工业上常用的动物/植物细胞、细菌、放线菌、真菌、酵母菌，涉及能源领域、材料领域、现代工业技术领域常用的微生物菌种。第三章动物/植物/微生物细胞的改造：介绍动物/植物细胞、生产菌种选育的基础知识与方法；

介绍分子生物的细胞/菌种改造方法和基因工程菌的构建技术；介绍细胞/菌种保藏的基本原理和常用方法；介绍细胞/菌种退化的原因与复壮方法。

### 3.2 第二模块：基础模块（6 课时）

第四章代谢产物的过量生产：介绍发酵反应过程中的代谢调控理论，重点介绍代谢控制发酵的基本方法，如何在实践中实现代谢产物的过量生产。重点介绍提高初级代谢产物产量的 11 种手段和提高次级代谢产物产量的方法。第五章发酵反应的质能平衡：介绍质能平衡理论可预测发酵过程各基质的需要量，从而更经济有效地利用质能，减少无效消耗。强调该理论是解除发酵过程中某种基质限制或抑制，达到过程优化的重要手段。强调掌握本章的基本知识有利于在实践中灵活运用。第六章气液质量传递：强化满足微生物对氧的需要是微生物反应工程的一个重大课题，供氧不足可能引起菌种的不可弥补的损失或导致代谢方向的改变。介绍发酵过程中气液质量传递原理、处理好供氧和需氧之间的关系是保证生产最佳化的重要方面。

### 3.3 第三模块：过程动力学和五大发酵方式模块（12 课时）

第七章微生物发酵过程：介绍发酵过程类型、过程特点及操作方式；重点介绍种子扩大培养、发酵培养基的特点、组成设计和优化；强调发酵过程的中间分析及发酵终点控制。第八章发酵动力学：本章是现代发酵工业实现自动控制的理论基础。强化认识微生物反应过程中各种物质运动的本质及规律；介绍发酵过程中菌体生长、底物消耗和产物合成的速率以及影响反应速率的因素，将各种因素进行归纳，为将动力学理论应用于生产管理奠定基础。第九章分批/补料分批和高密度发酵：重点介绍分批发酵、补料分批技术和高密度技术，强调该技术是现代发酵工业的主要操作方法；深入讲解具体操作方法、规律、特点，在发酵过程中平衡各变量之间的关系，有助于提高生产效率。重点介绍高密度发酵的原理。料液的流加方法。通过最新的研究实例对高密度发酵的优点予以说明。第十章连续发酵：重点介绍连续发酵方法、特点、动力学原理以及发酵系统中各参数之间的关系。

通过  $F_{in}$  和  $F_{out}$  的关系，对上述发酵方式加以总结。第十一章基因重组菌的发酵培养：重点介绍工业上基因工程菌应具备的条件，介绍克服基因工程菌在保藏

和发酵生产中不稳定性的方法和措施。介绍基因工程菌发酵后下游技术工艺的特点。

### 3.4 第四模块：设备及控制模块（4 课时）

第十二章发酵反应器/设备：介绍发酵反应器的基本类型、结构、性能、特点及其发展趋势。通过丰富的发酵罐照片介绍厌氧发酵设备、通风发酵设备等特点。重点介绍通用发酵设备。第十三章发酵过程的检测与自动控制：发酵工程实现在线分析并自控，强调只有通过各种参数检测，对过程进行定性定量描述，才能对过程进行控制。重点介绍发酵过程的检测项目及直接、间接参数检测调控方法，介绍应用计算机对发酵过程进行自动化管理。

### 3.5 第五模块：四大工程模块（10 课时）

第十四章发酵工艺控制：微生物产品的发酵生产是由微生物的生化活动和环境条件相互作用来完成的。工艺条件的控制就是要为生产菌创造一个最适环境，使目的产物得以充分表达。介绍发酵工艺控制对发酵生产的重要性及各种环境因素对发酵的影响，介绍发酵调控的基本知识，为生产菌创造一个最适环境，达到最优控制目的。重点介绍七大因素。第十五章灭菌工程：现代发酵工业大多为纯种培养，培养基及培养设备的彻底灭菌是防止杂菌污染，确保正常生产的关键之一。介绍发酵生产中通常使用的灭菌方法，重点介绍湿热灭菌原理、方法及其设备。第十六章空气除菌：现代发酵工业中绝大多数是好气性纯种培养，空气是菌体生长和代谢必不可少的条件，无菌空气的制备成为微生物工程中的重要环节，介绍生产中空气除菌的基本方法、原理、流程及设备。重点介绍过滤除菌的原理及其方法。第十七章下游分离纯化工程：发酵产物的提取和精制是微生物发酵工程的重要组成部分。其工艺是否先进合理直接关系到产品的质量、收率及经济效益。从菌种培养到发酵，再到提炼出高收率的合格产品才算整个发酵工程的完成。教学中强调下游加工的重要性，介绍常用的产物分离纯化方法和精制方法；介绍建立分离纯化方法的原则和必要条件。

## 4 采用模块教学的效果和体会

模块教学需要教师对所授课程的教学内容有系统和深刻的理解，熟知课程内容之间内在的联系和逻辑

关系；对培养对象和教学目标有准确的把握。模块教学的实质在于将关联度高或性质相近的章节和知识点整合到一起，将课程分解成若干个相对独立的教学单元，可有效利用教学课时，为学生在短时间内学习和掌握相关知识与技能，理解其内在的联系，掌握其规律性奠定基础。诚然，实施模块教学必须遵从课程的基础性和系统性，针对学生循序渐进的认知规律，科学地加以利用。模块教学为学生构建清晰的课程理论知识和实验操作技能的框架，能使学生在认知课程基本内容的前提下，彻底明了每个独立知识单元在整个课程中的地位和作用。在教学实践中，模块教学结合发酵工程综合性研究型实验（48 课时）和实践教学（18 课时）对教学内容进行合理的分配。利用课余时间开展学生案例讨论交流。实践证明，模块教学可以加深学生对专业知识的系统理解和把握，能提高学生

对于知识的整合能力，也提示和鼓励学生在学习过程中，学会深入挖掘知识之间的有机联系，能真正地激发学生的学习积极性，达到鼓励创新、启迪思维、培养能力、提高素质的目的。

## 参考文献

- [1] 高丹. 模块教学——21 世纪适合社会及人发展的教学形式 [J]. 首都师范大学学报（社会科学版），2001，138（6）：111-115.
- [2] 宋存江，王淑芳，李国强，等. 探索微生物发酵工程“三位一体”的教学模式 [C] // 高校生命科学教学论坛文集（2009）. 北京：高等教育出版社，2010：21-24.
- [3] 宋存江. 发酵原理与技术 [M]. 北京：高等教育出版社，2014.

（责编 高新景）