

生物工程专业发酵课程群建设探索

赵宏宇 季祥 蔡禄*

(内蒙古科技大学数理与生物工程学院 内蒙古 包头 014010)

摘要: 针对生物工程专业的培养方案和就业方向,提出了以课程群建设推动专业发展的教学改革思路。以“生物工艺学”和“生物反应工程”为主干课,还包括“生物工程设备”、“代谢控制与发酵”、“生物过程检测与控制”等相关课程,同时结合“发酵工艺实验”、“生产实习”和“毕业设计”等实践教学环节,构建了发酵课程群。介绍了发酵课程群对教学内容的整合,分析了课堂教学与实践环节有机结合的教学模式。实践证实,发酵课程群的建设对学生的就业以及后续工作能力的提升起到了显著的促进作用。

关键词: 生物工程, 课程群, 发酵工程, 教学改革

Exploration on the construction of fermentation course group in Bioengineering specialty

ZHAO Hong-Yu JI Xiang CAI Lu*

(School of Mathematics, Physics and Biological Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: Based on the training plan and employment direction of bioengineering specialty, course group has become an important approach to improve the specialty development. The fermentation course group contained two main courses, which were “Biotechnology” and “Bioreaction Engineering”, and three optional courses which were “Bioengineering Equipment”, “Bioprocess Monitoring and Control” and “Metabolic Control and Fermentation”. In addition, other practice teachings, such as “Fermentation Experiment”, “Production Practice” and “Graduation Design”, were also employed to constitute the course group. In this paper, the integration of teaching content in the group was introduced, and the teaching mode of combining classroom teaching with practice teaching was analyzed. The results indicated that the teaching reform of fermentation course group is helpful for students’ employment and ability promotion of social practice and innovative competence.

Foundation item: Comprehensive Reform Pilot Project of Specialty of Inner Mongolia University of Science and Technology (2014 Bioengineering); Key Course Construction Project of Inner Mongolia University of Science and Technology (2014 Bioreaction Engineering)

*Corresponding author: Tel: 86-472-5951555; Fax: 86-472-5954358; E-mail: nmcailu@163.com

Received: July 03, 2015; Accepted: September 09, 2015; Published online (www.cnki.net): November 10, 2015

基金项目: 内蒙古科技大学专业综合改革试点项目(2014 生物工程); 内蒙古科技大学重点建设课项目(2014 生物反应工程)

*通讯作者: Tel: 86-472-5951555; Fax: 86-472-5954358; E-mail: nmcailu@163.com

收稿日期: 2015-07-03; 接受日期: 2015-09-09; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2015-11-10

Keywords: Bioengineering, Course group, Fermentation engineering, Educational reform

依托地区资源优势,经过十余年的快速发展,目前,在内蒙古中西部地区(呼和浩特、包头、鄂尔多斯、巴盟、乌海等地)形成了国内相对集中的大型生物发酵基地,其生产吨位及规模位居全国第一。为了满足地区经济发展的人才需求,我校于2001年创建生物工程专业,专业建设一直围绕内蒙古地区经济发展特色,坚持发酵与生物制药相结合的培养方向,于2008年被评为内蒙古自治区同类专业中唯一的品牌专业。

近年来我们对专业进行综合改革,打破了课程之间的原有界限,将多门课程视为一个整体进行协同建设,形成四大课程群。在专业基础课层面,依据课程特性,提出了“生化与分子课程群”和“微生物课程群”;在专业课层面,依据实际产品的生产过程,提出了“发酵课程群”与“生物分离课程群”。发酵课程群涵盖了专业培养方案中多门核心课程,该课程群的建设对生物工程专业的整体发展具有关键意义。

1 发酵课程群的构成

课程群是指若干门彼此独立,但内容上密切相关、相承和渗透,具有某一共同属性的一组课程集群^[1]。在生物产品发酵生产过程中,主要包括两大相对独立的工段,即发酵和分离提取。发酵工段会涉及到工艺、反应机理、设备、检测和控制系統、代谢调控等相关知识。基于此,我们在课程群中分别对应地设置了“生物工艺学”、“生物反应工程”、“生物工程设备”、“生物过程检测与控制”、“代谢控制与发酵”几门理论课程,同时配置了“发酵工艺实验”、“生产实习”、“毕业设计”三个主要的实践教学环节,形成发酵课程群。与国内许多高校生物工程专业仅开设一门综合性的“发酵工程”课程相比,我们设计的课程群在对发酵过程有关知识的教学方面显然更加系统、全面和扎实。我校一半以上的生物工程专业学生都会在发酵企业就业,这样的系统知识培训对他们今后的发展无疑具有重要意义。

2 课程群教学内容的整合

课程群建设是一个系统工程,绝对不是将几门课程简单设计后加以综合就能够实现的^[2]。在实际的教学过程中,课程群内部往往会存在课程之间教学内容相互交叉的问题,如何有效地衔接与整合群内课程的教学内容,是课程群建设的关键问题之一。发酵课程群将发酵过程的知识进行了细化,以主干必修课为主,带动选修课,形成一个完整的教学体系。虽然课程间内容有所交叉,但是每门课程的侧重点有所不同,所授知识的角度也有所区别(表1)。

“生物工艺学”是发酵课程群中的核心课程之一,主要围绕微生物发酵工艺展开讲授。该课程以探讨生物产品生产过程的共性为目的,从工艺角度阐明细胞的生长和代谢产物的积累与细胞的培养条件之间的相互关系,为生产过程的优化提供理论基础。基于微生物发酵生产的特点,将“生物工艺学”教学内容主要分为菌种选育、培养基、灭菌、种子扩培及发酵过程调控等几部分。教学方法采用单元操作与发酵案例结合法。在课堂教学内容上强调工业微生物菌种选育和发酵过程中各类参数的控制等一些共性技术的部分,同时辅之有代表性的产品的发酵工艺和方法的介绍,通过点面结合促进学生理解^[3]。其中发酵过程调控是该课程中最为重要的内容,又细分为温度、pH、溶氧与搅拌、二氧化碳与呼吸商、补料、消泡、染菌等。同时,将发酵过程动力学以及反应器操作模式与模型的内容整合到“生物反应工程”中讲授,将微生物的代谢调节部分调整到“代谢控制与发酵”课程中,过程的检测方法在“生物过程检测与控制”中系统讲授。

“生物反应工程”是发酵课程群中的另一门核心课程,主要介绍生物反应过程中带有共性的工程技术问题,是发酵课程群中其他课程的重要理论基础^[4]。根据课程的内容,将该课程分为(1)和(2)两部分。“生物反应工程(1)”主要内容为生物反应过程动

表 1 发酵课程群理论教学主要讲授内容
Table 1 The teaching content of courses in fermentation course group

课程 Courses	学时 Class hours	课程性质 Characteristics of courses	开课学期 Semester	主要教学内容与目的 Content and goal of courses
生物工艺学 Biotechnology	48	主干课	六	发酵过程工艺
生物反应工程(1) Bioreaction Engineering (1)	40	主干课	五	生物反应动力学
生物反应工程(2) Bioreaction Engineering (2)	32	主干课	六	生物反应器机理模型
生物工程设备 Bioengineering Equipment	32	必修课	六	发酵相关设备结构
生物过程检测与控制 Bioprocess Monitoring and Control	32	选修课	六	发酵过程检测元件与控制系统
代谢控制与发酵 Metabolic Control and Fermentation	32	选修课	六	发酵过程代谢调控机理

力学，着重讨论酶反应和细胞反应过程的基本动力学规律，并重点探讨传递因素对反应过程动力学的影响及其处理方法。同时，将“生物化学”、“微生物学”、“生物工艺学”以及“酶工程”等课程中相关的反应动力学内容融合到相应章节中。反应动力学与课程群内其他课程交叉较少，同时又是其他课程的理论基础，所以安排在第五学期开设。“生物反应工程(2)”以生物反应器为中心，重点介绍不同操作方式下反应器的设计方法和优化，同时讨论反应器内各种传递、混合特性及反应器的放大问题等。该部分内容与“生物工艺学”中发酵操作方式、生物工程设备中的反应器结构等内容交叉较多。在优化课程内容时，将该部分安排在第六学期与其他群内相关课程同时开设，重点从反应器的操作方式与理论模型、反应器内物质的传递、混合特性的角度来讲授；而相应的“生物工程设备”课程则重点从各种设备的结构功能层面来讲授。

在发酵课程群中，“生物工程设备”课程的目的是使学生掌握生物工厂主要设备的种类、结构、原理、特点及其设计计算和选型等方面的基本知识，要求学生掌握产品生产过程中常用设备的结构、特点、工作原理、设计计算及选型。“生物过程检测与控制”则主要针对产品生产过程的参数测量、操

作监视、自动控制、优化操作与控制以及生产优化管理和自动化等关键问题，从生物过程的各种检测元件到过程控制的理论和各种控制系统做详细的阐释，使学生初步了解各种检测元件和发酵工业中常见的控制系统。“代谢控制与发酵”主要从微生物的糖、脂、氨基酸、核苷酸代谢以及次级代谢等角度出发，阐述生物发酵产品与代谢通路的相互关系，以及如何调控代谢流达到增产的目的。

发酵课程群内各课程内容联系紧密，因此在安排教学计划时可有效利用我校各课程可以选择先修和后修的制度。“生物反应工程(1)”教学内容属于理论基础，安排在第五学期后修；为了和“生物反应工程(1)”衔接，“生物反应工程(2)”安排在第六学期先修。“生物工艺学”一般在前 12 周讲授完，紧接着开设“发酵工艺实验”，在第六学期的最后两个教学周安排生产实习。由于将“生物工艺学”的发酵代谢机理内容调整到了代谢控制与发酵课程中，所以将代谢控制与发酵安排为先修。基于“生物反应工程(2)”讲授反应器内部操作的理论模型、传递、混合特性等基础，“生物工程设备”、“生物过程检测与控制”安排为后修，进一步从设备结构、检测和控制的角度讲授发酵过程的具体设备及其控制，同时也可以和生产实习有效衔接。

3 实验环节对发酵知识的综合应用

发酵工段是实践性非常强的一个环节,所授理论知识必须通过实验教学加强巩固,才能使学生综合地理解。课程群设置了“发酵工艺实验”,共有40课时,以综合性大实验的体系开设。考虑到实验体系与专业方向和就业的衔接以及科研内容促进教学的发展,把实验教学内容主要分为抗生素发酵体系、酶制剂发酵及应用、氨基酸发酵体系。

我校生物工程专业方向为发酵与生物制药,多数毕业生都在内蒙古周边的发酵制药企业就业,而且生产工艺又以耗氧发酵为主,所以我们选择了实习基地——金河生物股份有限公司的主打产品金霉素作为综合实验的发酵产品对象。在该大实验体系中,模拟企业的生产工艺流程进行金霉素的发酵。首先将冷冻保藏的菌种进行传代培养增加活性,选择活性较高的菌株在摇瓶中制备发酵种子。每个小组进行独立的摇瓶发酵,同时每个大组进行发酵罐发酵。在发酵过程中定时取样,而且要求学生自行设计方案,根据过程检测的温度、pH、溶氧、残糖等参数进行工艺调控。发酵结束后,测定发酵液中金霉素效价,最后进行金霉素的提取与精制,得到一定纯度的金霉素成品^[5]。

在实验项目开设时,我们将教师的科研项目直接转化为本科生的综合实验。例如,在酶制剂发酵与应用实验中,将近几年专业教师已开发成熟的生物造纸工艺经过适当简化,为学生开设。首先发酵生产木聚糖酶,经过简单提取纯化后测定木聚糖酶的活性,保存备用;其次发酵木质素降解菌,并通过浸泡木质素,测定菌种降解原料的卡伯值;最后将降解后的纸浆用木聚糖酶进行漂白,制成生物纸浆。

4 实习环节加深对教学内容的认识

专业学生毕业后多数都直接进入发酵企业从事相关工作,实习环节可以有效地将课堂所学的理论知识与生产实践结合起来,加深他们对发酵车间实际生产运行情况的感性认识。

我校将生产实习安排在第六学期的最后两个教学周,以参观内蒙古中西部地区发酵制药企业的发酵车间为主。近年来主要在我们的实践教学基地进行实习,包括金河生物科技股份有限公司的金霉素发酵车间、内蒙古阜丰生物科技有限公司的谷氨酸发酵车间、内蒙古新威远生物化工有限公司的阿维菌素发酵车间、东方希望包头生物工程有限公司的赖氨酸发酵车间和燕京啤酒(包头雪鹿)股份有限公司的糖化发酵车间。实习期间,要求学生主要学习实习车间的发酵工艺、生产设备、车间布局、管理运行等内容。每实习一个发酵车间,要求完成一份详细的实习报告,包括企业整体情况、详细的发酵工艺(附简易的工艺管道及仪表流程图)、主要的设备结构(附简易的设备装配图)和车间整体布局(附简易的车间布置图)。

5 毕业设计衔接课程群教学内容与就业

毕业设计是本科生毕业前最后一个教学环节,旨在考核和培养学生综合运用所学知识、技能独立分析和解决问题的能力。我校毕业设计环节分为两类,一是考研学生和提前进实验室从事科研的学生完成一个小的科研问题;另一类是就业学生选择的发酵生产车间设计。

发酵车间设计是衔接发酵课程群教学内容与就业的有效手段。例如,学生如果在石药集团中润制药(内蒙古)有限公司、联邦制药内蒙古有限公司制药就业,由于这两家企业主要生产青霉素,我们会安排学生做青霉素发酵工段工艺设计的题目。除了要求所设计的车间年产量达到规定的某一个量之外,其余工艺参数均由自己选择。学生往往需要一个半月的时间完成工艺和设备计算部分,包括计算完成产量所需要的所有原料(培养基、补料等各种原料的成分和用量)、用水、用电、蒸汽消耗量等。在这个过程中,就会综合性地涉及到“生物工艺学”、“生物反应工程”、“代谢控制与发酵”等教学内容;而设备计算则包括发酵车间用到的每一个设备的详细结构参数和数量等,主要会涉及到“生物工程

设备”、“生物反应工程”、“生物过程检测与控制”等理论知识。第二阶段是绘图,包括工艺管道及仪表流程图、设备布置图、发酵罐装配图、种子罐装配图,该过程几乎会综合运用到发酵课程群中所有的理论知识。

6 教学团队师资力量的培养

根据课程群及相关教师个人的科研背景,设立了发酵过程的教学与科研团队,使团队的研究方向与课程群的内容一致,团队负责课程群的建设。团队由一名学科带头人和若干名学术骨干组成,学术带头人负责团队的整体建设。团队主要从实践能力、教学研究等方面培养和提升教师的教学水平。

为了提高团队教师的工程素质、实践能力和应用能力,我们每年派出多名专业教师到工厂调研和学习,了解新技术在工厂的应用。与此同时,教师也可以从生产实践中找到急待解决的研究课题,获得企业的经费支持。近年来,课程群教学与科研团队积极探索学校与社会联合培养教师的新途径,推动专业教师到周边地区发酵企业开展产学研合作,形成了学校与企业之间交流培训、合作讲学、兼职任教等形式多样的教师成长机制。从现有实习基地中聘请高级工程师作为兼职教授来我校进行阶段性的讲学,还可弥补现有师资中生产实践经验的不足。例如,我们每年都聘请企业中从事 GMP (Good manufacture practice, 药品生产质量管理规范)认证的工程师为学生讲授生物制药生产车间的 GMP 认证申请、建设与管理方面的知识,而这些知识恰好是我们教师所缺乏的。

团队非常注重教学研究,每周定时召开教学研讨会,并通过设立专业建设研究专项基金,吸引专业教师积极从事教学研究,同时也大力提倡教师将科学研究的成果用于课程群的建设。

7 教学效果的检验

经过多年的建设,课程群以发酵过程为主线,

从多角度对产品的生产过程进行系统的讲解,从课堂教学、实验、实习和设计多个环节实施对学生的培养。学生在内蒙古周边发酵制药类企业就业后,企业对我们专业学生的评价是“上手快、留得住、后劲足”。短短几年时间,部分学生已成为企业的高中层技术管理人员或是技术骨干人员。在我们的回访中,多数学生(尤其是从事发酵生产相关的学生)认为发酵类课程的学习为他们的工作储备了重要的基础理论知识。

8 结束语

地方院校建设生物工程专业,要结合地区经济建设需求,设置好专业培养方向,以课程群的形式重点建设专业方向的关键环节。我校生物工程专业方向是发酵和生物制药,通过对发酵课程群的规划和建设,有效地促进了专业建设水平的提升。

致谢: 内蒙古科技大学生物工程系李雅丽、张小利、王蕾、卢庆华、邓攀博、郑春丽、蒋海明老师对本文进行了多次讨论且提出修改意见,在此表示感谢。

参考文献

- [1] Geng J. Exploration and consideration on the construction of chemistry pedagogy course group[J]. Journal of Jiangsu Institute of Education (Natural Sciences), 2012, 28(4): 1-4 (in Chinese)
耿珏.《化学教学论》课程群建设的探索与思考[J]. 江苏教育学院学报: 自然科学版, 2012, 28(4): 1-4
- [2] Ding H, Yao QW. Thinking and exploration of construction of Top-quality Course Group in modern electric technology[J]. Journal of Shandong Electric Power College, 2005, 8(1): 16-18 (in Chinese)
丁辉, 姚庆文. 现代电气技术精品课程群建设的思考与探索[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2005, 8(1): 16-18
- [3] Zhao HY, Ji X, Zheng CL, et al. Exploration of teaching method in biotechnology course in local colleges[J]. Experimental Technology and Management, 2014, 31(12): 185-187 (in Chinese)
赵宏宇, 季祥, 郑春丽, 等. 地方院校“生物工艺学”课程教学方法的探索[J]. 实验技术与管理, 2014, 31(12): 185-187
- [4] Qi YZ, Xia J, Wang BW. Bioreaction Engineering[M]. 2nd Edition. Beijing: Chemical Industry Press, 2009 (in Chinese)
戚以政, 夏杰, 王炳武. 生物反应工程[M]. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2009
- [5] Zhao HY, Ji X, Zhang XL, et al. Exploration on comprehensive bio-engineering specialty experiment[J]. Experimental Science and Technology, 2009, 7(5): 105-107 (in Chinese)
赵宏宇, 季祥, 张小利, 等. 生物工程专业综合性大实验体系探索[J]. 实验科学与技术, 2009, 7(5): 105-107