

面向生物化工学科本科生的工程伦理课程建设

申 春, 赵怡琳, 王少杰, 朱玉山, 李国锋, 王 磊*, 曹 辉*

北京化工大学生命科学与技术学院, 北京

收稿日期: 2024年8月3日; 录用日期: 2024年9月23日; 发布日期: 2024年10月11日

摘 要

在“双碳”目标的指导下, 现代绿色生物化工产业作为传统化工生产的重要升级方向之一, 已经获得了广泛关注与政策支持, 但是当前对于生物化工工程师的本科教育更多地关注于职业技能的训练, 缺乏人文素养的系统提升。为了培养符合未来生物化工产业发展需求的合格工程技术人才, 面向该学科本科生开展工程伦理教育, 将有利于强化工程师的职业道德素养, 推动生物化工产业的可持续发展。本文基于近五年在实际教学过程中的体会与经验总结, 从课程内容设置、案例库筛选和教学方法创新三方面讨论面向生物化工本科生的工程伦理课程建设, 为进一步完善具有中国特色的“新工科”教育提供参考。

关键词

生物化工, 工程伦理, 科研反馈教学

Construction of Engineering Ethics Curriculum for Undergraduate Students Majoring in Biochemical Engineering

Chun Shen, Yilin Zhao, Shaojie Wang, Yushan Zhu, Guofeng Li, Lei Wang*, Hui Cao*

College of Life Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing

Received: Aug. 3rd, 2024; accepted: Sep. 23rd, 2024; published: Oct. 11th, 2024

Abstract

Guided by the “dual carbon” goal, the modern green biochemical industry, as one of the important upgrading directions for traditional chemical production, has received wide attentions. However, undergraduate education for biochemical engineers focuses more on vocational skills training and lacks systematic improvement of humanistic literacy. In order to cultivate qualified engineers who meet the development needs of the future biochemical industry, it is critical to carry out engineering

文章引用: 申春, 赵怡琳, 王少杰, 朱玉山, 李国锋, 王磊, 曹辉. 面向生物化工学科本科生的工程伦理课程建设[J]. 创新教育研究, 2024, 12(10): 55-60. DOI: 10.12677/ces.2024.1210679

ethics education for undergraduate students. It would be beneficial to strengthen the professional ethics of engineers and promote the sustainable development of the biochemical industry. Based on the experience and summary of practical teaching in the past five years, this article discusses the construction of engineering ethics courses for undergraduate students from three aspects: course content setting, case library selection, and teaching method innovation, providing reference for further improving the “New Engineering” education with Chinese characteristics.

Keywords

Biochemical Engineering, Engineering Ethics, Research Feedback Teaching

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

工程实践过程中往往会面临复杂的利益冲突，例如参与工程活动的工程师、工人、管理者、投资者等之间的利益冲突，以及工程活动与生态环境、社会安全等的冲突。为实现工程实践活动中不同利益的平衡，达到工程实践的目的——提高人类的生活质量，在上世纪 60 年代左右，诞生了“工程伦理”这门工程学与哲学、伦理学和社会学交叉的新兴学科[1] [2]。

近年来，随着生物技术的迅猛发展，以生物技术为核心手段，融合化学工程学的生物化工学科在生物医药、生物农业、生物能源、生物制造业等方面为社会提供服务和产品。例如加入了碱性蛋白酶制剂或碱性脂肪酶制剂等的加酶洗衣粉广受欢迎，因为碱性蛋白酶可以促进奶渍、血渍等含有蛋白质的污垢变为成易溶于水的小分子肽，而碱性脂肪酶可以将甘油三酯水解变为容易被清洗掉的甘油二酯、甘油单酯和脂肪酸，解决了传统洗衣粉难以去除蛋白质污垢和脂质污垢的问题。但是，任何科学技术都是“双刃剑”，生物化工技术在为人类社会提供服务的同时，也可能会对社会、环境造成损害。例如微生物发酵技术可以用于抗生素的生产，但是也会产生含有抗生素残留的废水，若不经处理直接排放，将对环境和人类生活带来严重影响。所以作为工程活动的践行者，工程师不仅需要掌握精湛的科学与工程基础知识，还需要具备伦理意识，在工程设计、决策过程中充分考虑和平衡不同方面的利益。近年来在我国多地生物化工与生物医药企业发生的致病微生物泄露事故、爆炸事故以及中毒事故等，都反应出工程师的工程伦理意识淡薄问题，所以，强化生物化工领域工程师的工程伦理意识与职业道德素养势在必行。

北京化工大学生命科学与技术学院面向二年级本科生开设了《生物/制药工程环保与安全技术》课程，引导生物化工学科的本科生建立工程伦理的概念，让其充分意识到现代生物化工技术可能对自然环境带来的风险，所制备的产品可能存在的质量和安全风险，生物化工技术应用于社会可能导致的部分群体利益冲突和受损的风险。课程教学旨在帮助学生加强社会责任意识和职业道德意识，提高其规避技术、社会风险和协调利益冲突的能力。

2. 课程内容的设置

为了实现让生物化工学科的本科生具备综合考虑经济、环境、法律、安全、健康、伦理等制约因素的能力，为学生进一步学习专业知识和职业技能、提高全面素质、增强从事本专业的科研、生产工作必备的能力打下一定的基础，课程的内容设置主要包含以下四个方面：(1) 生物化工与环境保护；(2) 生物化工与健康；(3) 生物化工与生物制造；(4) 生物化工与安全。通过以上四方面内容的讲解，让生物化工

专业的本科生充分理解生物化工学科,尤其是我国的生物化工学科在“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”这个大方向上已经取得的成绩和面临的挑战。

首先,在生物化工与环境保护方面:通过对环境污染和人体健康之间的关系的讲述,让学生掌握生物工程中环境保护的基本概念;讲解“三废”的来源、种类、危害和处理的基本方法,掌握“三废”等污染的控制技术,尤其着重学习生物技术在废气、废液和固体废弃物的处理过程中的应用,不仅增强生物化工专业学生的专业自信心并点燃对专业知识的兴趣,并且培养学生的安全和环保的意识,建立对相关法律条例的认识,能在以后的生产、管理、设计及研究等工作中能自觉地把生物工程污染控制及安全生产放在首位。

其次,在生物化工与健康方面:讲述生物技术药物的基本定义(借助于基因工程、酶工程等生物技术制备得到的药物,例如生物疫苗、诊断试剂、生物技术药物等),介绍其药理学特性、生产制备过程中的特性以及检验上的特殊性,讲述生物医药的分类和创制流程,通过与化学药物在原料药来源、制剂类型方面的差异进行对比讲述,加深本科生对生物医药的形象化理解。介绍部分重要酶类药物、疫苗等典型生物医药的性质和制备工艺。讲解制药工程中的伦理内涵,明确患者、医生、制药企业、政府四方的角色分工和利益诉求的差异。讲述药物临床实验中可能存在的伦理问题。

随后,在生物化工与生物制造方面:讲述生物制造的基本定义,明确其是以工业生物技术为核心技术手段,改造现有制造过程或者利用生物质、CO₂等可再生原料生产能源、材料与化学品,实现原料、过程及产品绿色化的新模式,被誉为是生物经济产业化的“最后一公里”[3][4]。论述生物制造的必要性:我国是全球最大的制造国,讲解生物制造如何实现我国化工制造模式的变革,在“绿色发展”和“碳中和”方面的贡献。介绍我国生物制造产业发展现状和存在的问题,激发学生潜心科研、为国争光的信心和决心。

最后,在生物化工与安全方面:讲解燃烧要素、燃烧类别、燃烧过程和原理、爆炸种类、爆炸极限的计算方法、火灾爆炸的危险与防火防爆的措施以及实验室安全等相关内容,让学生系统掌握防火防爆的基本理论知识。讲解传染病和人类的文明进程、人类历史上的重大传染病、传染病和国家安全之间的关系、《国际卫生公约》的由来和发展、生物事件相关病原体概述、传染病控制所面临的相关的风险因素和挑战、生物武器的相关知识,让学生树立生物安全的意识。介绍目前先进的生物技术,如基因编辑技术、合成生物学等的研究进展以及其潜在的作用和风险,讲解其中可能存在的环境和人类健康灾难、富人特权、技术恐惧等生物伦理风险。

3. 课程资源建设

单纯讲解原理不仅会让课堂死板无趣,并且不利于学生理解和加深对所述过程的形象化认知,所以课堂上,尤其是针对课堂的重点和难点知识必须加以案例辅助说明。所选案例一般分为两类:经典案例和特例。

经典案例往往是国内外历史上著名的典型案例,例如在讲解科学技术可能对环境造成影响的时候,就可以引用双对氯苯基三氯乙烷(DDT,有机氯类杀虫剂)与《寂静的春天》的经典案例。《寂静的春天》是美国科普作家蕾切尔·卡逊创作的作品,在全世界范围内引起轰动。本书细致地讲述了以DDT为代表的杀虫剂的广泛使用,给人们的生存环境所造成的难以逆转的危害——人类不断想控制自然的结果,却使生态破坏殆尽,也在不知不觉间累积毒物于自身甚至遗祸子孙[5][6]。在讲解基因组编辑技术潜在的风险时,可以引入基因编辑婴儿事件的经典案例:相关科研人员伪造伦理审查书,招募夫妇志愿者(艾滋病病毒抗体男方阳性、女方阴性)参与实验;为规避艾滋病病毒携带者不得实施辅助生殖的相关规定,策划他人顶替志愿者验血,指使个别从业人员违规在人类胚胎上进行基因编辑并植入母体,并生下双胞胎女

婴。虽然生下的小孩不会有艾滋病，但是是否会引起更多的问题，比如代谢紊乱，癌症，以及这两个孩子日后结婚生子，是否会对人类基因池造成影响，都是未知数[7]。

上述经典案例虽是历史上比较著名的案例，但是和学生的生活距离较远，引起共鸣的程度较弱，所以需要在经典案例的基础上继续引入一些特例，这些特例不仅能服务于教学目标的达成，还需要贴近学生的日常生活，能让学生体验到情感上的启迪、培养学生的情感态度。例如在固体废弃物治理的课堂上，讲解固体废弃物污染防治的“减量化、资源化和无害化”原则时，为了让学生更深刻的理解科研工作如何在固体废弃物的“资源化”中发挥作用时，可以介绍学生身边的导师们实际获得的研究成果：例如北京化工大学谭天伟院士团队采用新型催化剂，通过生物转化和化学转化协同技术，成功将甘蔗渣、木薯渣等低廉废弃生物质转变为重要大宗化学品对二甲苯，突破了该领域难以兼顾高转化率、高选择性和高碳平衡的瓶颈，极大降低了生物基对二甲苯的生产成本[8]-[10]。再例如苏海佳教授团队以厨余垃圾等低劣生物质为底物，构筑菌种发酵体系，通过厌氧发酵的方式生产氢气[11][12]。以上两个案例都是实现固体垃圾“变废为宝”，实现固废的资源化再利用。在介绍生物化工技术应用于农林业和环境保护方面时，可以展示曹辉副教授研发的高效清洁型保水固沙新材料。该材料利用聚天冬氨酸的三维网络结构，大幅度提高并维持土壤墒情，改善土壤物理性质。该产品在校内教学楼附近草坪施用，取得了显著效果，可以直接供学生考察(见图 1)。将上述这些发生在学生身边的科研成果引入课堂，能够极大地提高学生对专业的认同度，进而激发学生对基础知识学习的热情。在介绍生物化工技术应用于废塑料循环利用方面时，让学生们了解虽然塑料给人们的生活带来了极大的便利，但同时废塑料也造成了严重的环境污染问题。朱玉山教授团队开发的多酶催化体系可以将塑料水瓶的高分子材料 PET (聚对苯二甲酸乙二醇酯)高效转化为其单体对苯二甲酸及乙二醇，实现了高分子 - 单体 - 高分子的闭环循环利用[13]。

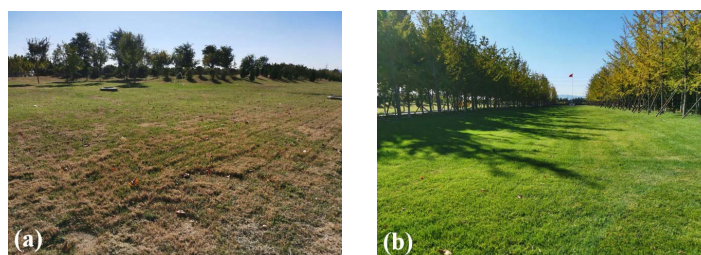


Figure 1. Demonstration of the application effect of polyaspartic acid water retaining agent. (a) Blank control group; (b) Soil mixed application of polyaspartic acid water retaining agent. Location: Changping Campus of Beijing University of Chemical Technology

图 1. 聚天冬氨酸保水剂施用效果展示。(a) 空白对照组；(b) 土壤混施聚天冬氨酸保水剂。图片拍摄地点：北京化工大学昌平校区

4. 教学方法

为了实现工程伦理课程建设中的“生动课堂”目标，可以采用以下教学方法，不仅能够改变传统的教师单方向输出的“填鸭式”教学模式，还可以激发学生的思考，与工程建设的一般方法相辅相成。

首先，通过在授课过程中增加启发式问题和案例讨论，实现老师和学生之间以及学生和学生之间的思想交流与碰撞，从而将课堂转变为互动式教学模式。随着信息等技术科技的发展，互联网步入生活，带来便利的同时、也为现代课堂教学增加了难度——学生虽来到了课题，但低头看手机、全然不理睬会教授的讲述。这就导致了当代课堂的一个共性问题：老师们准备了一桌丰盛的“饭菜”，但学生们却“消化不良”，达不到教学目的。为了解决上述问题，必须将学生不时地拉回课堂，启发式问题和案例讨论的

设置有助于学生放下手机、重新进入课堂、回顾老师所讲内容,以及与周边同学增强沟通与讨论,不仅活跃了课堂的氛围,并且提高学生对课堂所教内容的兴趣和认同感。尤其是案例讨论,让学生想象自己是不同的角色,从而实现对同一件事情从不同的角度去进行观察和理解,从而深刻理解工程师伦理道德建设的重要性和复杂性。

其次,开展翻转课堂教学。翻转课堂是一种重要的教学方法,通过重新调整课堂内外的时间,将学习的决定权从教师转移给学生,不仅可以提升学生学习的主动性,满足不同学生的学习需求,还可以优化利用课堂时间,提高学习效果。可通过如下方式实现翻转课堂:首先,课前教师提供相关的学习材料,帮助学生了解课程的基本概念和原理,实现自主学习设计。其次,进行课堂教学设计,在课堂时间通过角色扮演、模拟实践等方式,让学生体验伦理决策的过程,加深对课程内容的理解。此外,教师还可以布置一些拓展任务,例如让学生自主设计工程伦理案例,将所学应用于实际,培养学生的社会责任感和实际操作能力,不仅有助于巩固课堂上学到的知识,还能提高学生的实际应用能力。

5. 结语

面向生物化工学科的本科生加强工程伦理意识的培训,有助于其在日后的工程实践中更好地履行伦理责任。在过去的五年期间,作者通过对课程内容的合理设置,引入案例讨论以及“将课堂还给学生”的教学方法,极大地提高了学生主动学习的积极性,改善了课程教学效果,有效强化了该学科本科生的工程伦理教育,为培育出符合未来生物化工产业发展需求的合格工程技术人才以及进一步完善具有中国特色的“新工科”教育提供了新思路。但是目前也存在一些问题。例如因涉及的课程内容较多,且课程时长有限,故讲述的知识点深度必定有限,容易变为科普式教学;再如由于选课人数过多,造成分组数量、小组作业参与度和翻转式教学时长之间存在矛盾;或者,因为课堂时间有限,有诸多课堂互动模式无法实际开展。后续的教学过程中,仍需不断探索新的教学方式,以解决上述问题,提升教学质量。

参考文献

- [1] 李正风,王前,丛杭青. 工程伦理[M]. 北京:清华大学出版社,2019.
- [2] Davis, M. (2005) *Engineering Ethics*. Ashgate Publishing Limited.
- [3] 谭天伟,陈必强,张会丽,崔子恒. 加快推进绿色生物制造助力实现“碳中和”[J]. 化工进展, 2021, 40(3): 1137-1141.
- [4] 谭天伟,苏海佳,陈必强,等. 绿色生物制造[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2018, 45(5): 107-118.
- [5] 舒静庐. 中国科学普及名著欣赏[M]. 合肥:安徽文艺出版社,2013.
- [6] 刘芳. 绿色未来与新思维[M]. 合肥:安徽文艺出版社,2012.
- [7] 张家豪. 贺建奎事件法律责任探析[J]. 科学咨询, 2020(32): 44-46.
- [8] Feng, X., Cui, Z., Ji, K., Shen, C. and Tan, T. (2019) Ultra-Selective *p*-Xylene Production through Cycloaddition and Dehydration of 2,5-Dimethylfuran and Ethylene over Tin Phosphate. *Applied Catalysis B: Environmental*, **259**, Article 118108. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.118108>
- [9] Feng, X., Cui, Z., Bao, Y., Chu, H., Wu, X., Shen, C., et al. (2021) Is Hydrolysis a Bad News for *p*-Xylene Production from 2,5-Dimethylfuran and Ethylene? Mechanism Investigation into the Role of Acid Strength during 2,5-Hexanedione Conversion. *Journal of Catalysis*, **401**, 214-223. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2021.07.026>
- [10] Chu, H., Feng, X., Wu, X., Song, J., Shen, C. and Tan, T. (2022) 2,5-Hexanedione: The Bridge for *p*-Xylene Production from Lignocellulosic Biomass via a Brand New Two-Step Route. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **11**, 177-186. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05191>
- [11] Wang, S., Zhang, T. and Su, H. (2016) Enhanced Hydrogen Production from Corn Starch Wastewater as Nitrogen Source by Mixed Cultures. *Renewable Energy*, **96**, 1135-1141. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.072>
- [12] Wang, Y., Zhao, Y., Wang, S., Xiao, G., Jin, Y., Wang, Z., et al. (2022) Visible-Light-Driven Enhanced Biohydrogen Production by Photo-Biohybrid System Based on Photoelectron Transfer between Intracellular Photosensitizer Gold Nanoparticles

and *Clostridium butyricum*. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **11**, 300-311.

<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05516>

- [13] Zhang, J., Wang, H., Luo, Z., Yang, Z., Zhang, Z., Wang, P., *et al.* (2023) Computational Design of Highly Efficient Thermostable MHET Hydrolases and Dual Enzyme System for PET Recycling. *Communications Biology*, **6**, Article No. 1135. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05523-5>
<https://www.nature.com/articles/s42003-023-05523-5>