

教学

基于建构主义理论的生物乙醇发酵生产探究性实验教学设计

陈翠霞*, 张雨森, 张再美, 李 慧*, 赵玉荣, 王玉鸣, 唐艳凌

中国石油大学(华东)化学与化工学院, 青岛 266580

摘要: 以建构主义“支架式”教学理论为指导, 以能源化工领域清洁能源生物乙醇的高效生产技术为切入点, 设计了“生物乙醇发酵生产”的探究性实验项目。首先, 针对酵母菌株代谢类型和发酵过程影响因素(发酵时间、发酵温度、发酵pH等), 设计了单因素分析及双因素(温度和pH)优化两个层次的“支架式”实验项目。通过创设“酵母历险记”情景, 引导学生自主学习和小组成员协作会话, 设计个性化的探究性实验方案, 加强组内分工协作, 搭建实验平台, 开展生物乙醇发酵生产影响因素探究的实验, 并对实验结果进行深度分析。在此基础上, 教师深入思考教学评价反馈, 拓展第二课堂, 持续提升学生的创新能力。该探究性实验有助于学生搭建“生物-能源-化工”的跨学科知识体系, 提升学生的综合实践能力、团队合作能力、创新能力和工程思维。

关键词: 建构主义; 探究性实验设计; 酵母发酵; 生物乙醇

Teaching design of the exploratory experiment “bioethanol fermentation production” based on constructivist teaching theory

CHEN Cuixia*, ZHANG Yusen, ZHANG Zaimei, LI Hui*,

ZHAO Yurong, WANG Yuming, TANG Yanling

Chemical Engineering College, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China

Abstract: Based on the urgent demand for efficient production technology of clean energy bioethanol in the field of Energy and Chemical Engineering, an exploratory experiment project of “bioethanol fermentation production” was designed under the guidance of constructivism “scaffolding” teaching theory. Firstly, a two-level “scaffolding” experiment project was designed to optimize the metabolic type of yeast strains and the factors affecting the fermentation process (fermentation time, temperature, and pH) using the single factor design and double factor (temperature and pH) design. Through the creation of the “Yeast Adventure” scenario, students were guided to study independently and cooperate with group members to design the experiment schemes, preliminarily completing the meaning construction. During the implementation of the project, students built an experimental platform, carried out research experiments on the influence of different conditions on the ethanol fermentation, and conducted in-depth analysis of the experimental results. Teachers thought deeply about the evaluation and feedback of the experiment, extended the experiment, carried out “the second class” to improve the students’ innovation ability. This exploratory experiment helps students build an

收稿日期: 2024-11-03

基金项目: 山东省教学改革项目重点项目(Z2022114, SDYJSJGB2023004); 中国石油大学(华东)教学改革项目(CZ2022007, CM2022020); 中国石油大学(华东)校级探究性实验项目(TJ-202204)

*通信作者: 陈翠霞, E-mail: chencx@upc.edu.cn; 李慧, E-mail: lihui@upc.edu.cn

interdisciplinary knowledge system of “Biology-Energy-Chemical Engineering”, improves students’ comprehensive practical ability and engineering thinking, teamwork ability, innovation ability and engineering thinking.

Key Words: constructivism theory; exploratory experimental design; yeast fermentation; bioethanol

建构主义理论认为,教学是帮助学生完成知识意义建构的过程,强调学生是学习的主体,教师是学生自主建构知识意义的帮助者、促进者和引导者^[1-4]。探究性实验是指实验者在不知晓实验结果的前提下,通过自己实验、探索、分析、研究得出结论,从而形成科学概念的一种认知活动,与建构主义理论中“以学生为中心”的教学宗旨高度契合。因此,立足我校鲜明的能源特色,结合国家对新能源需求的重大战略技术需求^[5-7]和学生兴趣,在建构主义“支架式”教学理论的指导下,我们设计了基于生物化学课程“糖酵解”内容的“生物乙醇发酵生产”探究性实验,以提高学生学习的主动性、创新能力和分析解决能源领域相关生物化学问题的能力,适应21世纪创新型、应用型“新工科”人才培养的需求。

随着世界能源格局的转变,可再生能源的发展越来越受到重视^[7]。生物乙醇是一种“生长出来的绿色能源”,可以用含淀粉(玉米、小麦、薯类等)、纤维素(秸秆、林木等)或糖质(甘蔗、糖蜜等)等原料经发酵蒸馏制成^[8]。具体而言,微生物在厌氧条件下通过糖酵解过程将葡萄糖(淀粉、纤维素或糖质降解产生)转变为丙酮酸,并进一步还原生成乙醇^[8,9]。已有研究表明,细菌、酿酒酵母和热纤梭菌等微生物均可用来生产乙醇^[10-12]。相比于细菌和霉菌,酵母菌因其发酵性能稳定、乙醇转化率高等优点,成为最常用的乙醇发酵菌株,在葡萄酒、啤酒、白酒物、纤维素乙醇的发酵生产中发挥重要作用。然而,酵母发酵产生生物乙醇的过程较为复杂,受酵母菌生长的环境如压力^[13]、营养成分^[14]、生理代谢物^[15]等因素的影响,同时,由于糖酵解过程涉及的反应步骤较多(10步反应),催化相关反应的生物酶活性对生物乙醇发酵效率具有决定性的影响^[16,17]。因此,为使学生深入理解复杂的酵母发酵产生乙醇的生理代谢过程,采用建构主义“支架式”教学理论,进行“生物乙醇

发酵生产”的教学设计,引导学生掌握发酵工艺优化流程,提升学生对能源化工专业的认知度,加强“学一行,爱一行,专一行”的职业操守。

1 基于建构主义理论的“生物乙醇发酵生产”探究性实验教学设计

建构主义理论的教学设计是指教师结合特定的学习目标和教学内容,针对不同群体的学习者,设计出合适的教学过程和学习活动的过程^[1]。基于此,我们团队设计了“支架式”教学策略:搭建“脚手架”、设计学习情景、实验教学过程实施(引导学生自主学习、促进学生合作学习、提供反思和评价等)(图1)。

1.1 搭建“脚手架”

建构主义理论认为,学习是建构内在心理表征的过程。但学生并不是把知识从外界直接搬到记忆中,而是以已有的经验为基础对新信息进行主动加工来获取、建构新知识。该探究性实验开设以学生学习的“糖酵解”代谢过程为理论基础,综合酵母代谢特点、发酵过程关键因素、发酵工艺流程优化等涉及生物、化学和工程相关的知识,构建生物乙醇高效发酵生产所需的知识体系。因此,基于“问题”驱动,本探究性实验搭建单因素分析(包括不同的酵母菌株和培养时间、pH、温度等发酵条件)以及双因素响应面(温度和pH等)优化两个层次的“支架式”实验项目(图2),提升学生对能源化工专业的认识,培养生物-能源-化工的跨学科知识体系以及创新能力和工程思维。

1.2 情景设定——“酵母历险记”

为激发学生的学习兴趣 and 主动参与实验的热情,本探究性实验依据学生的学习层次,设计了“酵母历险记”的学习情景。引导学生进入情境,化身酵母细胞,体验酵母细胞在遇到不同环境(未知的危险)时的反应。激发学生以探险的方式,逐步回答以下几个由浅入深的问题。(1)实践中用于

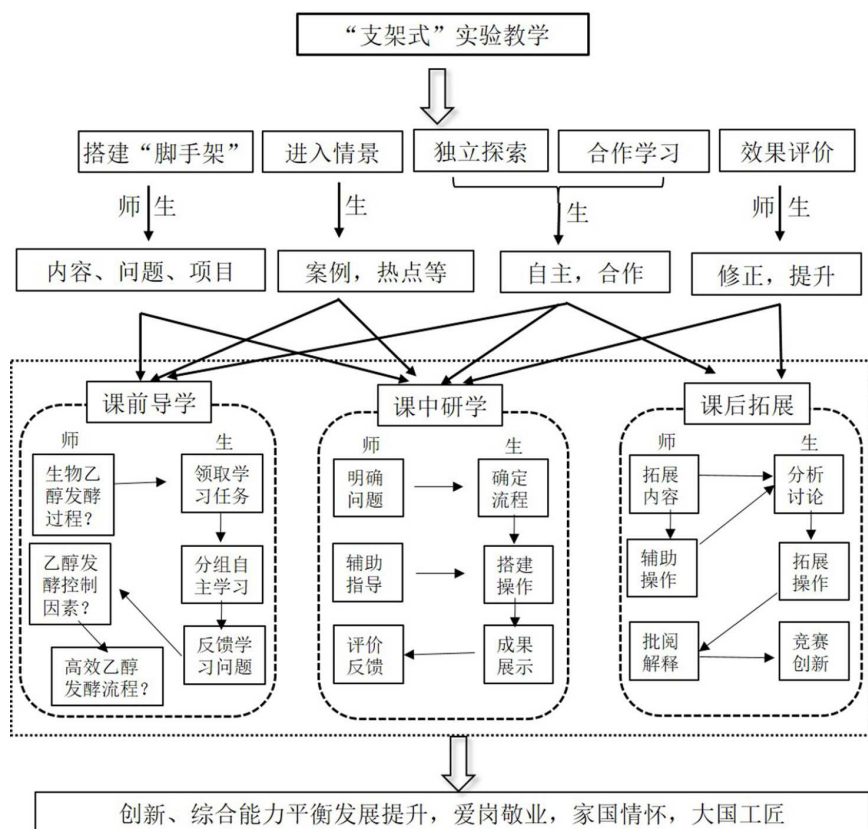


图1 基于建构主义的探究性实验教学设计

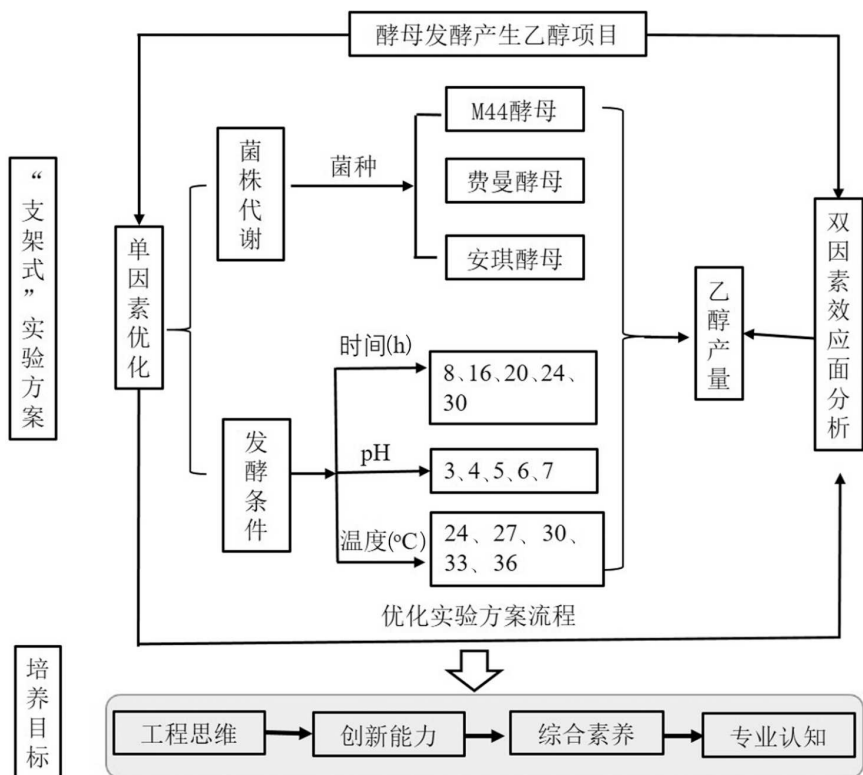


图2 问题驱动的乙醇发酵过程影响因素“支架”图

乙醇发酵的酵母菌株有多种,如:啤酒发酵的顶发酵酵母和底发酵酵母、面包制作过程中的面包酵母等,这些酵母菌株的代谢有何特点?它们发酵产生乙醇的代谢过程又有什么区别?(2)根据所学的糖酵解知识,结合酵母菌株的代谢特点,分析酵母在遇到不同环境(不同发酵条件)时,生物乙醇的产量会发生什么改变?(3)以生物乙醇的高产率为目标,如何构建酵母菌株的生存环境(工艺流程的优化)?上述问题层层深入,即使学生学习成绩较低,也能在不同深度上给出合理的分析,能够驱动学生依据已经学习的基础理论知识,渐进式搭建“生物-能源-化工”的跨学科知识体系,为“生物乙醇高效生产”项目设计出创新型实验方案。

1.3 实验教学过程实施

实验教学过程的实施主要分为学生自主探索和协作学习。在实验前,教师将上述设计的问题在雨课堂或智慧树等智慧教学平台中进行发布,明确上述问题的答题范围,提供部分文献供学生参考,鼓励学生通过查阅更多的科技论文,激励学生认真思考并依据自身经验设计实验方案。这是一种开放的学习,对每个学生个体来说,这种开放的学习在学习方法和学习结果上都可能是不同的。因此,在学生自主学习的基础上,各学生将自主设计的实验方案在小组内讨论、协商,进一步完善和深化对“生物乙醇发酵生产”项目的意义建构,获得本小组的个性化创新型设计方案。随后,在实验过程中,学生通过组内分工协作,根据设计方案搭建实验平台,开展不同条件下生物乙醇发酵及得率测定的相关实验操作,探索生物乙醇发酵的最优条件。在此过程中,教师作为辅助者,协助学生完成整个实验的实施。学生作为主体负责整个实验的操作并对实验结果进行分析讨论。

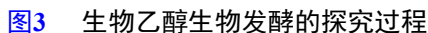
1.4 效果评价

教学效果的评价包括教师对小组及个人评价、小组对个人的评价和学生个人的自我评价。评价内容主要围绕三个方面:自主学习能力,协作学习过程中的贡献,方案设计、实验操作及数据处理等方面是否达到了探究实验项目的要求。

2 生物乙醇发酵实验的探究过程

酵母发酵生产生物乙醇是一个复杂、多因素调控的过程。菌株类型、培养条件等因素均会影响生物乙醇的产量。以菌种为例,酵母菌的选择对于生物乙醇的发酵效率至关重要。生长环境、生理代谢物等因素均能导致不同的酵母菌株在生物学活性、代谢产物等方面产生差异。在实际工艺中,需要根据不同的发酵底物(如木质纤维素、淀粉或甘蔗等)和发酵环境来选择合适的酵母菌株。因此,本探究性实验的结果是开放的,必须经过认真调研和设计,才能获得具有最优生物乙醇生产的创新型实验方案。该实验设计的关键因素在于酵母菌株的选取、发酵温度、pH及发酵时间的范围选取等。只有选择合适的菌株及发酵因素范围,才有可能获得最优发酵调控工艺。基于此,本探究性实验采用“课前导学-课中研学-课后拓展”三段式教学法引导学生进行自主探索和协作学习(图3)。在课前,教师依据学生的学习层次,设置难度层次不同的问题,引导学生在已学习的糖酵解理论知识的基础上,分别从产乙醇酵母菌的特点、酵母生长影响因素(温度、pH、培养时间等)及酵母生产乙醇的调控策略等方面,进行项目相关资料的查询、归纳和总结,初步搭建生物乙醇生产代谢途径及关键调控因素的知识体系。

在个人查阅资料的基础上,教师根据学生的学习能力进行分组,3~4人一组。设计教学内容时,有机融入团队协作的要求,例如,调研任务要求学生明确分工,互相配合,分别负责查阅酵母的基本结构、不同酵母菌株的生长特征及酵母发酵产生乙醇的条件控制策略、生物乙醇的检测方法等。由于学生在个人查阅的过程中关注的调控因素不同,如有的同学关注培养温度、有的同学关注体系含氧量、有的同学关注培养时间,个人设计的探究实验方案也不同。在进行小组活动时,必须经过小组内深入讨论、协商,进一步深入理解糖酵解途径与生物乙醇合成过程的关系,深化对“生物乙醇发酵生产”项目的知识建构,选择本小组认为最关键的因素进行多水平的实验探索,设计本组的个性化创新型方案。一旦确定小组实



实验后，学生采用数据统计软件(SPSS或者origin)进行数据的整理和分析，深入理解不同因素对生物乙醇发酵生产过程的影响，进一步优化创新实验方案的流程。与此同时，将该思路引入新的项目中，积极参加大学生创新创业项目、教师科研项目等进行项目升级，进一步培养学生的创新思维。

3 教学效果分析

3.1 能源特色, 加强学生的专业认知

我校能源化学工程专业是新兴的工科专业, 旨在培养能够对传统石化能源升级改造和绿色可再生能源开发的卓越人才。生物化学是一门以实验为基础、揭示生命活动内在规律的学科, 能够为化石能源升级改造、新能源开发和生物质能源高值转化提供重要的理论支撑, 是本专业的基础理论课。但该课程体系中关于能源化工相关的案例较少, 学生认为, 该课程对所学专业支撑度不够, 对课程的认可度不高, 加上本专业学生的生物学基础知识薄弱, 导致学生学习兴趣低, 产生“学而无用”的情绪。该问题也是工科院校生物化学教学中存在的普遍问题。

为使学生对专业知识建立形象的感知, 教师在课程内容设计时, 应紧跟专业领域的发展动态, 启发学生将生物化学知识与专业领域的发展和实际应用相结合。如在本创新性实验的设计上, 选择能源化工领域清洁能源生物乙醇的绿色生产(发酵法)为探究项目, 学生在进行项目背景资料调研时, 会更深入了解我国能源领域的发展状况, 提高学生对专业的认知度。学生在进行“生物乙醇发酵生产”探究性实验项目设计、实验结果分析时, 能够深入理解独立变量与响应变量之间的数学关系, 找到最优的操作条件或设计方案。当面对生物能源物质生产等专业领域技术问题时, 能够采用科学、有效的设计方法, 设计最佳的流程方案, 提高了学生的科研素养、发现问题和解决问题的能力。能源类的同类兄弟院校教师可在此基础上, 引用本创新型实验的案例, 其他工科院校也可以结合本校定位和专业特色, 更进一步开发相关的实验项目。

3.2 “支架式”建构主义教学模式, 提升学生学习积极性

学生的学习积极性提升主要靠唤醒学生内心的学习动力。针对工科院校学生的特点, 本创新型实验采用“支架式”建构主义教学模式, 设计新颖的探讨课题(搭建“脚手架”), 提升学生学习兴趣(吸引), 激发学生探索的能动性(自主探索), 加强学生进行组内合作(合作学习), 最后根据实验结

果进行创新型实验方案修正(反馈调整)。

建构主义理论教学观认为, 教师在帮助学生建构知识意义方面发挥主导作用。在教学过程中, 帮助学生建构知识意义就是要“帮助学生对学习内容所反映的事物的性质、规律以及该事物与其他事物之间的内在联系达到较深刻的理解”^[2]。因此, 教师在进行创新型教学设计时, 应首先分析学生的知识结构背景, 在此基础上, 设计与专业背景密切相关、能引起学生兴趣的探究性课题(搭建“脚手架”)。该探究性课题应具有一定的新颖性, 是时代发展的前沿, 也是社会未来发展的方向, 但学生又对此“一知半解”, 才能激发学生的求知欲(吸引环节)。为进一步驱动学生的学习能动性, 教师应将开展创新型实验需要的知识进行分解, 给学生提供最基本的文献资料, 帮助学生补充相关背景知识, 引导学生在教师提供文献支撑的基础上自主地进行更深入的文献检索并进行创新型实验方案设计(独立探索和合作学习)。如本创新型实验是基于学生已在理论课上学习了糖酵解相关知识的基础上设计的, 教师引导学生分别从酵母菌株和酵母发酵环境(培养时间、pH、温度等)两方面考察酵母发酵产生乙醇的能力。但酵母菌的培养、生长调控策略是工科专业学生的薄弱环节, 教师应着重推荐相关文献, 并提供关键词引导学生进行自主调研。学生通过文献检索、阅读和归纳, 能够了解酵母菌的基本结构组成、生长规律及厌氧发酵过程中的限制因素等基本的生物学知识。同时, 学生通过实验课堂的实际动手操作, 明确影响生物乙醇发酵过程的关键因素并对原设计的方案进行修订和完善(评价环节)。该过程的训练可有效提升学生的学习积极性。

3.3 第二课堂“赛-课”融合, 全面提升学生的创新能力和工程思维

学生对基础知识的掌握体现在对知识的内化和应用上。基于此, 教师应积极拓展第二课堂, 鼓励学生进行知识迁移。第二课堂可以以多种方式开展, 比如开展大学生创新创业项目、带领学生参观相关企业、指导学生参加创新创业竞赛、带领学生针对某一问题进行调研等。如本探究性实验发酵工艺优化的研究思路拓展至微生物胞外多糖驱油剂的发酵生产项目, 并通过大学生创新创

业项目、大学生创新创业竞赛等第二课堂进行系统的实验探索,通过产品或科技论文的形式展示实验结果,提升学生的创新能力和工程思维。我校学生以该项目实验结果为基础参加国际大学生创新创业竞赛,获得了省部级一等奖。相关实验方案设计在全国大学生化工实验大赛中取得全国总决赛一等奖、在全国高校商业精英挑战赛创新创业计划竞赛中获得国家级一等奖的优异成绩。上述成绩的获得极大地提升了学生“学有所用”的学习满足感,也能有效激发学生挑战自我的学习激情。

近两年来,学生参加大学生创新创业项目(第二课堂)和创新创业大赛的积极性高涨。课堂学生参与校级大学生创新创业项目13项,省级和国家级大学生创新创业项目3项。学生在国际大学生创新创业项目、“挑战杯”大学生创新创业项目竞赛中获得了优异的成绩,获得了国家级银奖2项,省级一等奖2项,省级二等奖1项。大学生生物学竞赛省级一等奖2项,二等奖和三等奖各1项。学生以相关知识和技术为基础的毕业设计有3人次获得了校级优秀毕业论文。指导学生参与发表SCI论文3篇、申请发明专利5项,软件著作权1项。在本校的教学过程中取得了非常好的教学效果。各兄弟院校也可采用课上知识构建与课后拓展相结合的方法激发学生的学习积极性。

3.4 合作学习,提升学生的团队协作能力

当代大学生自我意识强,更加关注个人利益和个人发展,认为团队协作浪费时间和精力,因而对团队协作持抵触态度。创新型实验教学项目则需要学生通过自主探索和学生之间协作完成。在本创新型实验实施过程中,我们制定了切实可行的团队合作的评价方案,让学生明白团队合作不仅仅是完成任务,而是一种相互信任、相互协作、相互支持的工作方式。只有当大家都能够团结一致、共同协作,才能够取得更好的成绩。

学生之间相互合作主要表现为小组实验方案设计的合理性、小组成员间的分工、学生实验的操作步骤以及实验结果的分析上。合理评价学生在小组内的贡献是激发学生进行小组合作的有效途径。因此,为体现评价的公平性,将学生和教师作为评价主体,以学生自评、学生间的互评以及

教师评价综合起来且设定适合的比例。在本创新型实验评价过程中,要求学生根据自身的学习情况和对小组实验的贡献,进行自我评价,占比为20%。学生在实验方案设计及实验报告中将团队成员的贡献列出,并进行小组成员互评,且占比50%。与此同时,在创新型实验结束汇报时,其他小组成员和教师根据项目的整体完成情况及实验结果分析的合理性等情况,对小组内成员的合作情况予以评价(占比10%和30%)。通过该规范化的评价标准实施,98%的学生认为,在实验设计、实验过程以及实验结果分析环节中,遇到问题可以互相讨论、协商,任务的实施提升了团队协作能力。

4 结语

本探究性实验以能源领域内清洁能源生物乙醇的绿色生产(发酵法)为切入点,以“支架式”建构主义教学模式为指导,利用“问题”驱动学生自主探索和协作学习。学生在项目背景资料调研过程中,了解了清洁能源生物乙醇生产发展趋势,提高了专业认知度。学生在探究性实验的创新方案设计、实验过程实施和结果分析中,搭建了“生物-能源-化工”的跨学科知识体系,培养了团队协作能力、创新能力和工程思维。

尽管我们在教学过程中根据学生的情况设置了分级问题、进行了分层次教学,但部分学生仍不能完全参与到课堂的学习中,存在“摸鱼”的现象。部分工科学生的生物学背景相对薄弱,对于一些基础的生物学知识均需从头学习,确实存在学习困难的问题。针对该情况,在实际教学过程中,教师可以让学生作为“助教”,让学生进行预实验,提前对学生进行必要的实验指导,了解其知识储备不足之处,进而进行个性化指导。另外,本创新型实验无法在规定的课堂时间内完成,需要学生利用课外时间完成相关实验内容,导致部分学生存在不满情绪,教师需在实验前和学生沟通好,引导学生以小组为单位进行合理分工,顺利完成实验内容。

作者贡献声明:

陈翠霞:论文构思与设计,论文撰写;

张雨森、张再美、王玉鸣：参与教学实施

李 慧：论文构思及修改；

赵玉荣、唐艳凌：论文撰写及修改。

利益冲突声明：本文不存在任何利益冲突。

参考文献

- [1] 莱斯利·P. 斯特弗, 杰里·盖尔. 教育中的建构主义. 上海: 华东师范大学出版社, 2002
- [2] 何克抗. 新型建构主义理论—中国学者对西方建构主义的批判吸收与发展创新. 中国教育科学, 2021(4): 14-29
- [3] 高纤铷. 动态可塑: 翻转课堂“浅层学习”的积极理解—基于建构主义学习理论的视角. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2024(10): 39-42
- [4] 罗伟刚. 建构主义视域下地方本科高校思想政治理论课教学改革研究. 科教文汇, 2024(17): 46-49
- [5] 杨中志, 解静聪, 徐俊明. 木质纤维生物质制乙醇产业化现状与开发建议. 中外能源, 2021, 26(10): 18-30
- [6] Lynd L, Zyl W, McBride J, et al. Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. *Curr Opin Biotechnol*, 2005, 16(5): 577-583
- [7] 田慧芳. 世界能源格局发生深刻变化. 世界知识, 2022 (9): 21-23
- [8] 李楠楠, 李淑英, 白凤武, 等. 燃料乙醇生产研究进展. 生物过程, 2012, 2: 81-88
- [9] 李富强, 彭叶灿, 郝加稳, 等. 木薯渣超低酸预处理后的酶水解及乙醇发酵. 纤维素科学与技术, 2021, 29(2): 1-10
- [10] 王明. 内蒙古草原纤维素分解菌的筛选及秸秆乙醇发酵[D]. 扬州: 扬州大学, 2021
- [11] Darwesh OM, El-Maraghy SH, Abdel-Rahman HM, et al. Improvement of paper wastes conversion to bioethanol using novel cellulose degrading fungal isolate. *Fuel*, 2020, 262: 116518
- [12] 徐惠娟, 刘文欢, 樊展源, 等. 热纤梭菌转化木质纤维素产乙醇的研究进展. 新能源进展, 2020, 8(1): 28-34
- [13] 陈敦武, 刘翠翠, 陈雄, 等. 不同食品酵母对葡萄糖的流加强度和热激压力的生理响应. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 21-26
- [14] 任梦梦, 傅宏鑫, 马毅, 等. 有机氮源添加对嗜热厌氧杆菌产乙醇的影响. 生物化工, 2019, 5(5): 5-9
- [15] 赵伟, 赵兵涛, 次仁潘多, 等. 酿酒酵母代谢有机酸对乙醇发酵的影响. 可再生能源, 2017, 35(7): 971-977
- [16] 张雯, 裘雨妮, 周家杰. 以海藻为原料的乙醇发酵过程中关键酶研究. 当代化工研究, 2021, 19: 22-24
- [17] 李骆冰, 王永红, 庄英萍, 等. 乙醇发酵中酿酒酵母辅酶 NAD⁺及NADH测定方法. 食品与生物技术学报, 2011, 3 (2): 287-293