

“基于发酵法提高乙醇生产效率”的高中跨学科项目式选修课设计

姜澜青青

(上海外国语大学附属浦东外国语学校, 上海 201203)

摘要: 跨学科项目式研究对培养高中生综合素养,尤其是提高解决复杂真实问题的能力具有重要意义。以“提高发酵法生产乙醇效率”项目研究为主题,设计跨学科选修课的教学实施和评价方案,旨在探索新课标下提升跨学科学习和研究能力的项目式教学活动。

关键词: 高中化学; 跨学科; 项目式学习; 选修课; 乙醇

文章编号: 1005-6629(2025)05-0036-06 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

以培育核心素养为目标的教学改革中明确提出了关注学科间的横向联系,强调培养在真实情境中解决复杂问题的必备品格和关键能力^[1]。项目式学习被认为是最具有融合核心素养发展效力的教学方式^[2]。由于必修课实验教学课时有限,通过选修课可以为学生提供更加开放性的跨学科项目研究平台,为提高核心素养提供支持。

1 课程背景

乙醇作为一种重要的食品与化工原料,学习内容广泛分布在化学与生物学科必修和选修课程的多个章节中。对高中化学与生物学课程标准中有关乙醇生产的内容进行梳理与对比(如图1),发现两门学科分别对乙醇及其生产都有各自的学科要求^[3,4]。在必修课程阶段,化学学科侧重乙醇的结构、性质及应用等方面的学习;在生物学学科中主要学习酵母菌无氧呼吸产生乙醇的生物化学过程,从生命科学的角学习乙醇的产生机制。进入选修课程阶段,对乙醇相关内容的要求进一步提升,在化学选修课程系列1实验化学中,主题3为化工生产过程模拟实验,以粮食酿酒为例,对其化工生产过程进行复原和模拟;生物学选修课程中的“生物资源开发与利用”模块,要求学生利用酵母菌生产乙醇的原理、方法和生产工艺流程深入探究微生物资源的合理开发与利用。

基于化学与生物学课程标准中关于乙醇及其生产

的相关内容,提出跨学科项目式选修课的研究主题:如何利用酵母菌发酵法提高乙醇生产效率。

2 课程设计

选修课秉承“学以致用,用以促学”的教学理念,强调知识与实践的结合,旨在通过跨学科的项目式学习方式,提升学生的科学素养和创新能力。

2.1 课程目标

学生通过选修课的学习,深入了解发酵法生产乙醇的基本理论和关键技术,进一步提高实验设计和操作能力,能够合作完成乙醇生产的实验设计和操作。学生在实验设计和实施过程中学习科学研究方法,提高科学思维能力,运用数学统计和信息技术辅助研究,从而提升跨学科综合素养。

2.2 课程内容

课程面向高一、高二学生,共计16课时,采用2课时连上,时长为90分钟。不同学校可以灵活安排项目完成的时间期限,也可以利用学校社团课、冬令营或夏令营的时间集中完成。

课程中涉及到化学与生物学相关理论知识,因此第1~4课时安排理论讲解、文献检索、小组头脑风暴等内容,为学生接下来的实验研究进行铺垫。在系统学习理论知识后,安排两人一组进行更细致的文献检索及实验预设计,并合作完成开题报告,选出合适的多羟基物质,研究其对酵母菌发酵法生产乙醇效率的影响。

普通高中化学课程标准中乙醇及其生产相关内容		普通高中生物学课程标准中乙醇及其生产相关内容	
知道乙醇分子的空间结构及分子中的官能团	4.1 有机化合物的结构特点	必修课程	2.2 细胞的功能绝大多数基于化学反应,这些反应发生在细胞的特定区域
认识乙醇的结构及其主要性质与应用	4.2 典型有机化合物的性质		
结合实例认识乙醇在生产、生活中的重要应用	4.3 有机化学研究的价值	必修课程	2.3 细胞会经历生长、增殖、分化、衰老和死亡等生命进程
认识官能团与有机化合物特征性质的关系,在一定条件下官能团可以相互转化	1.2 有机化合物中的官能团		
认识醇、醛、酸等的组成和结构特点、性质、转化关系及其在生产、生活中的重要应用	2.2 烃的衍生物的性质与应用	选择性必修课程	3.1 获得纯净的微生物培养物是发酵工程的基础
了解设计合成乙醇路线的一般方法,体会有机合成在创造新物质、提高人类生活质量和促进社会发展方面的重要贡献	2.3 有机反应类型与有机合成		
以真实的化工生产过程为研究对象,借助相关资料对其原理、流程进行复原和模拟,如粮食酿酒等	主题3: 化工生产过程模拟实验	系列1 实验化学 选修课程	3.2 发酵工程为人类提供多样的生物产品
围绕生命健康相关问题,以食物成分的检测、食品加工过程探究等为载体,开展综合实验项目,例如啤酒中酒精含量的测定等	主题4: STSE 综合实验		
		课程 标准 对比	2.2.4 说明生物通过细胞呼吸将储存在有机分子中的能量转化为生命活动可以利用的能量。通过探究酵母菌的呼吸方式,达成对细胞的生存需要能量和营养物质,并通过分裂实现增殖的理解
		选择性必修课程	2.3.3 描述在正常情况下,细胞衰老和死亡是一种自然的生理过程
		选择性必修课程	3.1.1 阐明在发酵工程中灭菌是获得纯净的微生物培养物的前提
		选择性必修课程	3.1.2 阐明无菌技术是在操作过程中,保持无菌物品与无菌区域不被微生物污染的技术
		选择性必修课程	3.1.3 举例说明通过调整培养基的配方可有目的地培养某种微生物
		选择性必修课程	3.1.5 概述显微镜计数法是测定微生物数量的常用方法
		选择性必修课程	3.2.2 阐明发酵工程利用现代工程技术和微生物的特定功能,工业化生产人类所需产品
		选择性必修课程	3.2.3 举例说明发酵工程的重要应用价值
		选修课程	7. “生物资源开发与利用”模块
		选修课程	职业发展规划 开设建议

图1 高中化学与生物学课程标准中关于乙醇及其生产的内容比较

为了提供充足的实验时间,安排6课时进行实验教学,在教师的指导下,学生分组进行实验操作,可以根据实验结果不断调整方案,培养学生解决真实问题的能力。实验结束后组织学生(2课时)进行项目成果的展示,包括实验报告的撰写和口头汇报。通过同伴评价和教师点评,提供反馈意见,促进学生的反思和学习。各小组完成论文撰写并制作PPT和展板,展示内容包括选题依据、研究背景、研究方法、研究结果、结论与讨论等。通过各个小组成果的展示,进行综合分析,总结出发酵法提高乙醇生产效率的最佳方案,形成本选修课的研究结论。具体课程设计方案汇总见图2。

2.3 评价方式

参考许珂的研究方法,建议采用档案袋评价形式,强调过程性评价,以小组为单位进行项目完成情况综合评价,包括小组自评和教师评分^[3]。档案袋评价的优点在于其开放性、全程性、引领性、多元性、可回顾性、可展示性以及个性化等,属于质性评价。评价的目的在于激励学生注重规划和积累,重视研究规范,引导学生精心设计方案,在操作过程中遵守实验规则,减少主观性和随意性造成的误差甚至错误等。选修课结束后对各小组的档案袋汇总之后进行等第评价(评价表见表1)。

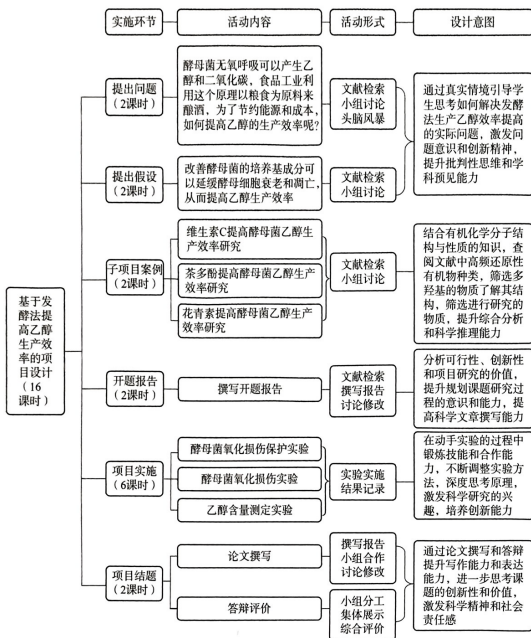


图2 课程设计方案汇总

表1 小组项目完成情况评价表

组别: _____ 小组成员: _____				
评价内容	评价标准	分值	小组自评 (40%)	教师评分 (60%)
文献综述	文献的筛选具有代表性	2		
	文献数量充足且覆盖面广	2		
	文献能体现最新研究进展	2		
	对关键信息和重要观点进行提炼	2		
	明确综述中心论点	2		
开题报告	体现论题、背景和研究综述	2		

续表

评价内容	评价标准	分值	小组自评 (40%)	教师评分 (60%)	综合评分
研究记录	体现本研究的可行性	2			
	阐述本研究的创新性与研究价值	2			
	定制研究计划	2			
	格式规范	2			
	记录实验名称、时间、地点、人员 (体现小组分工)	2			
	记录实验所需材料、具体步骤	2			

续表

评价内容	评价标准	分值	小组自评 (40%)	教师评分 (60%)	综合 评分
	实验结果真实、完整	2			
	数据处理和分析、体现可重复性	2			
	对实验提出改进意见	2			
项目 论文	格式、结构合理	2			
	清晰表达研究目的、方法和结论等	2			
	实验数据完整	2			
	结合图表,对于实验结果进行分析和讨论	2			
	提出进一步设想和研究规划	2			
项目 答辩	陈述小组分工	2			
	展板或PPT中体现研究目的、方法、过程、数据分析、结论等	3			
	答辩过程表述清晰、对问题正确理解并阐述观点	3			
	明确研究的创新和不足之处	2			
总分 (满分50分)					

根据综合评分结果划分等级:A(45~50分)、B(40~45分)、C(35~40分)、D(30~35分)、E(<30分)。

2.4 实验教学案例(项目实施板块)

围绕项目开始时提出的研究问题:如何利用酵母菌发酵法提高乙醇生产效率,引导学生思考系列问题:

(1)如何减缓或者加快酵母菌衰老和损伤速度?(2)如何检验酵母菌衰老和损伤速度的差异?在教师提供的实验器材、实验方法以及重要参考文献基础上进行学习、思考讨论,完成实验设计,确定具体的实验实施方案。

2.4.1 实验目的及课时安排

通过实验探究不同浓度维生素C是否能够减缓外源 H_2O_2 对酵母菌细胞的氧化损伤,从而促进酵母细胞增值以及提高酵母发酵产生乙醇的含量。学习抗氧化活性物质的结构与性质以及清除酵母细胞代谢过程中产生自由基的潜在作用,理解抗氧化活性物质能提升酵母细胞代谢过程中生产乙醇的效率。学会无菌操作与接种、酵母菌培养、酵母菌含量测定及乙醇含量测定

等化学与生物学实验操作过程,掌握分光光度计等仪器设备的工作原理及实验操作技能,提升科学探究与科学思维能力。

安排6课时(每次2课时,分三次)。

2.4.2 实验原理

(1)氧化损伤原理:自由基是含有单电子的基团,由于具有未成对电子,性质不稳定,极易发生化学反应^[6]。在细胞中,过多的自由基可能破坏遗传物质DNA或者膜结构的组成蛋白等,使得细胞结构损伤,阻碍细胞正常生命活动,甚至引起凋亡。外源强氧化物质,如 H_2O_2 会加剧对酵母细胞的损伤,加快酵母的衰老与凋亡,减缓发酵速率,从而降低乙醇的产量。

(2)抗氧化保护原理:相关研究表明,添加抗氧化剂可抑制酵母细胞线粒体自噬造成的细胞进一步损伤和凋亡,从而保护细胞免受氧化损伤^[7]。含有羟基的有机物具有一定的还原性,天然活性物质如黄酮类、多酚类等普遍含有多羟基结构,羟基可以通过捕捉自由基起到抗氧化的作用,例如维生素E(图3)通过提供酚羟基氢质子和电子来捕捉自由基。具有多羟基结构的常见物质还有维生素C(图4)、芦丁及儿茶素等,都具有良好的抗氧化活性,可以作为酵母氧化损伤保护剂^[8]。

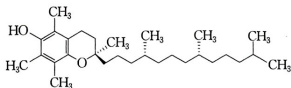


图3 维生素E分子结构

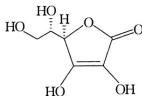


图4 维生素C分子结构

(3)酵母菌含量测定:采用分光光度法。制作酵母菌浓度标准曲线。600 nm波长下测定稀释到一定浓度范围内的菌液样品的吸光度(OD值),吸光度与酵母菌浓度成正比。

(4)乙醇含量测定:采用重铬酸钾分光光度法^[9]。制作乙醇溶液浓度标准曲线。在酸性介质下,乙醇可

被氧化生成乙酸,重铬酸钾中的 Cr^{6+} 被还原成 Cr^{3+} , Cr^{3+} 在 600 nm 波长附近有特征吸收峰,吸光度大小与乙醇含量成正比。

2.4.3 实验过程——酵母菌培养、菌体数量及乙醇浓度的测定

[实验材料]

抗氧化活性物质(维生素C)、酿酒酵母、蒸馏水、葡萄糖、YPD培养基(液体培养基配制:葡萄糖 20 g/L,酵母粉 10 g/L,酪蛋白胨 20 g/L)、4 mmol/L H_2O_2 溶液。

[实验仪器]

量筒、烧杯、玻璃棒、胶头滴管、50 mL 锥形瓶、接种环、牛皮纸、移液枪、分析天平、震荡培养箱、高压蒸汽灭菌锅、超净工作台、恒温震荡培养箱、冰箱、分光光度计。

[实验步骤]

培养方法参考程万琪等采用的方法^[10]:

(1) 灭菌:将培养基、移液枪头以及用于接种和培养的玻璃仪器置于 121℃ 高压蒸汽灭菌锅中灭菌 20 分钟。接种环采用酒精灯灼烧灭菌。超净工作台采用紫外灭菌。

(2) 菌种活化:通过无菌操作,从酿酒酵母菌种保存的固体培养基中用接种环挑取酵母单菌落接种于含 40 mL YPD 液体培养基的锥形瓶中,将锥形瓶放置于 28℃、180 r/min 恒温震荡培养箱中培养 16 小时备用。

(3) 抗氧化保护:通过无菌操作,在四组(每组 3 个重复,每瓶 25 mL) YPD 液体培养基中分别用移液枪添加 0(对照组)、0.01、0.05、0.1 mg/mL 的维生素 C 及 1 mL 步骤(1)中的活化菌液,将锥形瓶继续放在 28℃、180 r/min 恒温震荡培养箱中培养 24 小时。

(4) 氧化损伤实验:建立 OD600 与细胞浓度的标准曲线,根据体积(mL) = $\frac{\text{目标菌数(个)}}{\text{原菌液浓度(个/mL)}}$,从步骤(2)的四种培养液中取一定体积的菌液,保证接入的菌体数量与对照组一致,接种到添加了 4 mmol/L H_2O_2 的四组(每组 3 个重复,每瓶 25 mL) YPD 液体培养基中培养 24 小时。用分光光度计在波长为 600 nm 处测定吸光度,作为酵母菌相对数量进行比较。如果不能及时测定,可以将样品放入冰箱保存,之后集中测定。

(5) 乙醇含量测定:分别取四组样品于比色皿中,在 600 nm 波长下测定吸光度,利用标准曲线计算乙醇含量。

[问题设计]

(1) 为什么每组酵母菌培养液设置三个重复?

设计意图:引导学生理解实验重复对减少误差的作用。

(2) 能否同时向酵母培养液中加入维生素 C 和过氧化氢溶液?

设计意图:引导学生深入思考,如果同时加入两种物质,会导致两物质直接反应,消除了 H_2O_2 对酵母细胞的损伤,无法证实维生素 C 对酵母菌的保护作用。

(3) 如何测定酵母菌数量?

设计意图:学生通常会回答用显微镜计数法这一常规生物学方法,但这个方法效率较低。教师提示学生借鉴高中化学中利用分光光度计测量菠菜中铁元素的含量,以及生物学中分光光度计测定蛋白质浓度的方法,进行知识迁移,尝试运用该方法测定酵母菌含量。

(4) 添加维生素 C 的浓度越高对酵母菌产生乙醇的促进效果就越好吗?

设计意图:引导学生根据实验设计科学合理地推测实验结果,培养学生科学思维的缜密性,并引导学生通过实验进行验证。

2.4.4 预期实验结果及相关结论

在得出实验结果之前,引导学生根据实验设计推测实验结果,有以下两种预测:

(1) 添加维生素 C 的浓度与酵母菌数量及乙醇产量成正比。

(2) 添加较低浓度维生素 C 对酵母菌数量及乙醇产量有促进作用,添加过量维生素 C 对酵母菌产生乙醇有抑制作用。

根据预期结果得出相关结论:维生素 C 对酵母菌繁殖以及乙醇产量有促进作用。

教师继续引导学生针对预测(2)结果深入分析高浓度维生素 C 抑制酵母菌繁殖可能的原因,并提示学生查阅文献。教师可以提供张穗生等的文献供学生参考学习,文献中阐述:发酵过程中,随着发酵液里的乙醇浓度增加,乙醇对酿酒酵母菌的毒性增大,乙醇浓度增加会造成细胞生长迟缓,当乙醇浓度高于细胞最大耐受浓度时,酿酒酵母菌迅速死亡,乙醇生产能力减弱,发酵速度和乙醇产量下降^[11]。据此推测,添加较高浓度维生素 C 的实验组由于乙醇产量不断增加,酵母菌细胞的结构可能被破坏,导致乙醇产量无法继续提升。

(下转第 90 页)

Social Sciences and Education, Board on Science Education, National Committee on Science Education Standards and Assessment. National Science Education Standards [S]. National Academies Press, 1996.

[6][13][15][16] 中华人民共和国教育部制定. 义务教育化学课程标准(2022年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022.

[7] 中华人民共和国教育部. 教育部关于加强初中学业水平考试命题工作的意见[EB/OL]. 教基[2019]15号. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A06/s3321/201911/t20191128_409951.html.

[8] 教育部办公厅. 教育部办公厅关于做好2022年中考命题工作的通知[EB/OL]. 教基厅函[2022]6号. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A06/s3321/202204/t20220406_614237.html.

[9] 教育部办公厅. 教育部办公厅关于加强义务教育学校

考试管理的通知[EB/OL]. 教基厅函[2021]34号. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A06/s3321/202108/t20210830_555640.html.

[10] 刘帆, 文雯. PISA2015 科学素养测评框架新动向及其对我国科学教育的启示[J]. 外国教育研究, 2015, (10): 117-128.

[11] 魏晓东, 于海波等. PCAP 科学素养测评的框架、特点及其对我国科学测评的启示[J]. 外国中小学教育, 2016, (7): 38-46.

[12] 王俊民. 澳大利亚科学素养测评框架探析及启示[J]. 外国中小学教育, 2019, (3): 47-56.

[14] 李川. PISA2015 科学素养公开试题分析即教学启示[J]. 外国中小学教育, 2017, (9): 69-76.

[17] 陈彦芬, 高秀岭. 英国国家科学课程标准中的科学探究[J]. 上海教育科研, 2005, (6): 33-36.

(上接第40页)

3 课程实施的挑战及对策

(1) 本课程需要学生掌握高中一、二年级化学与生物学等知识, 具备一定的跨学科思维与实验操作能力。在课程开始前可以提供预习材料或自行文献检索, 通过小组讨论等形式帮助学生提前了解所需的基础知识。在小组内根据学生不同水平设计不同难度的实验任务, 确保每个学生都能参与。实验进行前简要讲解, 帮助学生理解关键原理。

(2) 学校实验室需具备基本化学与生物学实验设备与器材, 若不具备相关仪器, 可以设计使用更简易器材或实验方法, 确保实验顺利进行。也可以借助其他研究机构或大学实验室, 组织学生参观并完成相关数据测定。

(3) 跨学科实验耗时长, 规定课时内可能有小组无法完成预期实验。可以将实验分成多个阶段, 每阶段设定明确的目标, 延长学校实验室开放时间, 允许学生利用课余时间继续完成实验, 减轻课堂压力。

基于发酵法提高乙醇生产率的跨学科教学, 相关学科不仅包括化学和生物学, 还涉及数学、统计学、物理学和信息学等学科。从选题到答辩, 整个过程通过“做中学”实现综合素养的全面提升, 如利用档案袋的评价形式可引导学生完善个人的研究经历, 实现以评价促发展, 特别是注重过程性评价和形成性评价, 即使实验结果失败了, 但学生的素养也同样得到提升。

实践证明, 项目式研究的选修课学习形式对提高学生跨学科综合素养具有重要意义。

参考文献:

[1][3] 中华人民共和国教育部制定. 普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.

[2] 崔鹏, 王祖浩. 化学实验项目式学习的设计与实施——以“探究深、浅呼吸呼出气体中氧气含量的差异”为例[J]. 化学教学, 2022, (6): 28-33.

[4] 中华人民共和国教育部制定. 普通高中生物学课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.

[5] 许珂. 电子档案袋评价在STEM课程中的应用研究[D]. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 2022.

[6][7] 张鸽, 任敏, 汪越. 基于深度学习的有机合成化学课程思政教学设计——以“自由基反应及其应用”为例[J/OL]. 大学化学, 2024, 40(1): 91-98.

[8] 杜琪珍, 舒爱民. 茶儿茶素对不饱和脂肪酸单体的抗氧化活性[J]. 浙江农业大学学报, 1997, (S1): 57-59.

[9] 贺慧琳, 唐莉等. 重铬酸钾分光光度法测定平衡糟蛋中乙醇含量[J]. 食品与发酵科技, 2024, 60(4): 114-118.

[10] 程万琪, 侯奇亮等. 线粒体自噬基因对酿酒酵母抗氧化性能的影响[J]. 生物工程学报, 2023, 39(8): 3464-3480.

[11] 张穗生, 黄日波, 周兴等. 酿酒酵母乙醇耐受性机理研究进展[J]. 微生物学通报, 2009, 36(10): 1604-1608.