

第二批国家级一流本科课程申报书
(虚拟仿真实验教学课程)

课 程 名 称:	药用菌物灵芝发酵生产虚拟仿真实验
专 业 类 代 码:	0830
负 责 人:	潘扬
联 系 电 话:	13605192035 (手机)
申 报 学 校:	南京中医药大学
填 表 日 期:	2021 年 5 月 30 日
推 荐 单 位:	江苏省教育厅

中华人民共和国教育部制
二〇二一年四月

填报说明

1. 专业类代码指《普通高等学校本科专业目录(2020)》中的专业类代码(四位数字)。
2. 文中○为单选; □可多选。
3. 团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。
4. 文本中的中外文名词第一次出现时,要写清全称和缩写,再次出现时可以使用缩写。
5. 具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查,国家级评审以网络提交的电子版为准。
6. 涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

1. 基本情况

实验名称	药用菌物灵芝发酵生产虚拟仿真实验	是否曾被推荐	<input type="radio"/> 是 <input checked="" type="radio"/> 否
实验所属课程 (可填多个)	《生物制药综合实验》		
性质	<input checked="" type="radio"/> 独立实验课 <input type="radio"/> 课程实验		
实验对应专业	生物制药		
实验类型	<input type="radio"/> 基础练习型 <input checked="" type="radio"/> 综合设计型 <input type="radio"/> 研究探索型 <input type="radio"/> 其他		
虚拟仿真必要性	<input checked="" type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input checked="" type="checkbox"/> 不可逆操作 <input checked="" type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	<input checked="" type="radio"/> 中文 <input type="radio"/> 中文+外文字幕(语种) <input type="radio"/> 外文(语种)		
实验已开设期次	共 2 次: 1. 时间、人数: 2019 年 3 月~2019 年 5 月, 161 人 2. 时间、人数: 2020 年 3 月~2020 年 5 月, 213 人		
有效链接网址	http://xf-lzfjsc.njucm.edu.cn/		

2. 教学服务团队情况

2-1 团队主要成员(含负责人, 总人数限 5 人以内)								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	潘扬	1964.1	南京中医药大学	药学院系主任	研究员	13605192035	ypan@njucm.edu.cn	总体负责/在线教学服务
2	刘春美	1972.4		无	副教授	15951809733	liuchunmei2004@163.com	框架构建/在线教学服务
3	祖强	1975.1		教务处副处长	副研究员	13770669298	534342347@qq.com	仿真平台/在线教学服务

4	曹鹏	1979.3	药学院院长	研究员	13813945542	cao_peng@njucm.edu.cn	统筹协调/在线教学服务
5	高锦飏	1983.8	教务处科长	助理研究员	13813980776	gjb@njucm.edu.cn	MR建设/在线教学服务
2-2 团队其他成员							
序号	姓名	出生年月	单位		职务	职称	承担任务
1	潘自皓	1981.8	南京中医药大学		教师	助理研究员	课程监管/在线教学服务
2	袁天杰	1985.4	南京中医药大学		教师	讲师	素材准备/在线教学服务
3	吴沁航	1981.11	南京中医药大学		教师	讲师	实验设计/在线教学服务
4	张芳	1973.11	南京中医药大学		教师	副教授	实验设计/在线教学服务
5	王卓	1984.8	南京中医药大学		教师	实验师	实验设计/在线教学服务
6	王歆竹	1987.9	南京中医药大学		教师	讲师	素材准备/在线教学服务
7	郑馨语	1992.3	南京恒点信息技术有限公司		策划部主管	/	在线服务保障/技术支持
8	邢书恒	1995.5	南京恒点信息技术有限公司		工程师	/	运营技术保障/技术支持
9	赵健	1992.10	南京恒点信息技术有限公司		U3D研发工程师	/	技术开发/技术支持
10	孙郑	1999.4	南京恒点信息技术有限公司		课程策划	/	服务支持/技术支持
11	李静	1991.9	南京恒点信息技术有限公司		UI设计师	/	效果设计/技术支持

12	朱军	1977.9	南京恒点信息技术有限公司	U3D 场景美 术师	/	Unity3D 场景设计/ 技术支持
13	张婉婷	1995.10	南京中医药大学	无	研究 生	素材准备/ 在线教学 服务
14	徐威轩	1998.5	南京中医药大学	无	研究 生	素材准备/ 在线教学 服务

团队总人数：19 人 其中高校人员数量：13 人 企业人员数量：6 人。

2-3 团队主要成员教学情况（限 500 字以内）

（近 5 年来承担该实验教学任务情况，以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况）

2.3.1 团队成员承担该实验教学任务情况

从 2013 年起，团队开设《生物制药专业综合实验》这门课程，受众主要为本校生物制药专业本科生，至今共 9 届学生，共计 843 人。《生物制药专业综合实验》为独立实验课程，目前共有 90 学时。

从 2019 年起，针对药用菌物大规模发酵罐生产不便于在学校开展实验教学的实际困难，增加了人机交互的“药用菌物灵芝发酵生产虚拟仿真实验”内容，将其有机地嵌入“实验 V 药用菌物发酵罐生产”章节中，占用 3 课时，并免费开放全部教学资源。本实验运用大量的三维立体图片、动画以及视频等素材，让实验更加形象地展现出来，网络的吸引力往往比枯燥的理论知识更讨学生喜欢，激发学生对实验的兴趣，同时也培养了学生动手、动脑能力和创新性思维能力。这样的设计使得教师教得轻松，学生学得愉悦，教学效果十分喜人。

2.3.2 负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况

从事生物制药专业教学 12 年，现担任《生物制药专业综合实验》、《生物制药专业导论》和《药用真菌学》等专业课程，并指导毕业生实习、论文（设计）写作等实践教学。

（1）近三年讲授本课程情况：

《生物制药专业综合实验》，专业课，6 周，每周 15 学时（单元课），3 届，

学生共计 350 人。

(2) 近五年来讲授的其他主要课程：

①《生物制药专业导论》，专业课，6 周，每周 3 学时，5 届，学生共计 586 人；

②《药用真菌学》，专业基础课，12 周，每周 3 学时，1 届，学生共计 158 人。

(3) 近五年来承担的实践性教学任务：

《毕业生实习》，5 届，学生共计 69 人。

(4) 主持和参与的教学研究课题：

①2016 年江苏省高校中外合作办学高水平示范性建设工程专业——生物制药（国际合作）专业，省教育厅，2016~2020 年，通过考核；

②江苏省高校一流本科专业建设点——生物制药（国际合作）专业，省教育厅，2019~2022 年；

③江苏省大学生创业训练项目（省级重点），江苏省教育厅，改良天然植物防晒剂（陈思敏），2020~2022 年；

④江苏省大学生创业训练项目（省级重点），江苏省教育厅，甲基莲心碱诱导肺腺癌细胞的凋亡机制研究（丁一，王家辉），2020~2022 年；

⑤江苏省大学生创新项目（省级重点），省教育厅，端粒酶对 EF1 α -mTERT 转基因小鼠衰老的影响（钟文），2017~2019 年。

(5) 发表的教学研究论文：

①袁天杰，**潘扬***。高校中外合作办学的实践和启示——以南京中医药大学生物制药专业为例 [J]。教育教学论坛，2021，(9)：100-102；

②袁天杰，吴薛明，吴沁航，**潘扬***。生物制药专业微生物学虚拟仿真实验教学改革探索 [J]。当代教育实践与教学研究，2021，244-245；

③吴沁航，刘春美，张芳，吴薛明，潘自皓，**潘扬***。以学生为中心的生物制药工艺学教学改革 [J]。中国中医药现代远程教育，2017，15(22)：4-5；

④曹婧，吴启南，吴沁航，张芳，吴薛明，**潘扬***。国际化教学理念在生物药物分析课程教学中的应用 [J]。药学教育，2017，33(3)：46-49；

⑤姜和，蔡家利，朱建伟（主编），**潘扬**（编委）。生物技术制药（双语教材·国家双语教学示范课程配套教材）[M]，科学出版社，2016 年 12 月第 1 版；

⑥陈若芸（主编），康洁（副主编），潘扬（编委）. 中国食用药用真菌化学，上海科学技术文献出版社，2016年4月第1版；

⑦刘学湘，潘扬，刘春美，张芳，吴薛明. 生物制药综合实验开放性教学模式的探索 [J]. 成都中医药大学学报（教育科学版），2016，18(1)：42-43，48；

⑧吴沁航，潘扬，刘学湘，吴薛明，曹婧. 形成性评价在生物药物分析教学中的应用 [J]. 中国中医药现代远程教育，2015，13(19)：101-103。

注：必要的技术支持人员可作为团队主要成员；“承担任务”中除填写任务分工内容外，请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

3. 实验描述

3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

3.1.1 必要性及实用性

生物医药是**国家七大战略新兴产业之一**，生物反应器工程是与基因工程、细胞工程、发酵工程和酶工程等相提并论的现代生物工程之一，它是衡量一个国家生物工程水平的**重要标志**。药用菌物在中国有悠久应用历史，对药用真菌的开发利用已从早期的使用子实体配伍入药发展到**工业深层发酵**。传统的灵芝的人工栽培技术其过程**耗时费力、产品质量不可控**，因此采用先进的现代发酵工程技术生产灵芝成为主流。然而，灵芝发酵生产相关的实验教学面临着种种问题：

（1）发酵罐在操作过程中必然会用到高温（121℃以上）、高压（0.1 MPa 以上）等极限条件，其积聚的大量能量容易造成超限操作发生的**突然爆炸**，后果十分严重，具有超强的**危险性**；

（2）灵芝发酵**设备价格高、投料成本高、维护费用高**，很少有院校会投入大量资金建设实验室，极大的限制了实体实验引入专业教学。即便学校购进了发酵罐，学生在实验过程也会由于**仪器设备数量少、生产条件复杂和实验周期长**等原因不能全面的了解生产过程。这就很大地限制了学生对灵芝发酵生产的相关知识的掌握和技能的培养；

(3) 生物反应机理比较复杂，发酵罐的实际操作专业性强，**发酵周期长**，发酵过程中任何配置参数的失误往往导致**前功尽弃**，学生无法进行后续的实验操作，存在过程**不可逆、不可重复**等缺点；

(4) 灵芝发酵生产不可避免地造成废水、废菌渣等的产生，下游处理困难，对环境造成一定的**污染**。

针对上述问题，本项目依托南京中医药大学“**双一流**”建设学科、国家重点学科、江苏省优势学科中药学，国家级一流本科专业药学，省级一流本科专业建设点生物制药（中外合作办学），以及中药学类国家实验教学示范中心、**中药学类国家虚拟仿真实验教学中心**，以相关科研和教学成果为基础，为《生物制药综合实验》课程自主研发了药用菌物灵芝发酵生产虚拟仿真实验。

《生物制药综合实验》是生物制药专业（工学）核心主干课程，其中发酵罐生产是课程大纲要求的教学内容和核心知识点。我们设置的相对应内容是“药用菌物灵芝发酵生产”，**既保证了专业实践教学内容的正常实施，也赋予了实验内容一定的中医药特色**。该课程环节工程实践性强，对实践教学要求高，只有通过学生亲身参与实验，才能让学生真正了解到作为生物反应器的巨型发酵罐——灵芝发酵生产的核心设备，这也是生物制药专业学生必须掌握的关键设备之一。

本实验项目让学生身临其境地**感受巨型发酵罐的巧妙设计和生产过程，触发学生对守正创新精神的理解**，本着把每一道工序完成得尽善尽美的要求和对发酵技术精益求精的追求，对名贵中药灵芝生产进行严格的设计、操作和测试要求，虚拟发酵生产出优质的灵芝产品。

3.1.2 教学设计的合理性

(1) 实验教学目标

本项目坚持“**以学生为中心**”的教学理念，从学生的需求出发，在“**原理准确、内容紧凑、时长合理、难度适宜**”的指导原则下，通过理论讲解、内容分析、实践操作的协同实施，采用个性化、智能化、泛在化的教学模式，增强学生创新能力、实践能力、分析能力。

(2) 实验教学内容

本项目以药学、中药学、制药工程、生物制药（中外合作办学）等专业教学

实验信息化需求为导向，以我校已建立完善的项目实验教学内容为基础。围绕培养液的配制、在线灭菌、接种、发酵过程控制等关键步骤，让学生系统掌握生物发酵技术单元的操作要点，直接与实际生产应用相关联，提升实践能力。本项目内置丰富的学习模式：演示模式下可通过视频学习发酵罐的工作原理和操作规范；练习模式下查看发酵各环节操作界面及使用场景；考核模式下进行习题考核及操作考核。

(3) 实验教学方法

本项目通过内嵌 VR、AR 相关的虚拟场景和互动互演，重点实行基于问题和案例的互动式、研讨式教学，倡导自主式、合作式、探究式学习。项目内置理论讲解、案例分析、流程演练、人机互演、远程讨论等多种实践教学方式，同时支持智能讨论、智能考勤、智能录播等套件接入。通过创新多样的教学方式方法的协同使用，搭建基于互联网+的实践教学创新平台。

(4) 开放运行模式

针对我校南京校区、泰州校区同步运行管理的现状，并考虑药学、中药学、制药工程、生物制药（中外合作办学）等不同专业、不同层次学生接入项目的实际需求，将采用双平台搭建模式。学生可通过南京中医药大学校园网虚拟仿真建设平台接入，或在校外通过在线私有实验空间服务器模式的账号登录接入。双平台数据同步，支持平板端、PC 端等多平台的互动，共同搭建具有开放性、扩展性、兼容性的项目运行平台。

(5) 实验评价体系

本项目以智能 AI 技术为依托，对项目内置的自动考核功能、学生使用习惯、教师考核、学生互评等多维度考核内容进行大数据分析，同时根据课前、课内、课后、考核等多阶段数据分析结果，为学生建立实时实训报告。学生可在线实时反馈项目使用效果，持续改进教学评价机制。

3.1.3 实验系统的先进性

此虚拟仿真系统采用 C#开发语言，基于 Unity 开发引擎发布的 WebGL 版本的应用，主要采用 WebSocket 协议实现与服务器的通信和数据传输，3DMAX 和 Maya 实现 3D 图形可视化。系统运行平台:Windows8/Windows10，火狐浏览器、

谷歌浏览器(64位)。用户使用轻量化,无需下载安装应用,直接打开网页即可运行该虚拟仿真系统。运用此系统开展《药用菌物灵芝发酵生产虚拟仿真实验》教学,有利于调动学生**参与实验教学的积极性和主动性**,使学生在自主交互的虚拟环境中高效地完成实验,并从整体上加深学生对灵芝生物反应过程的认识,大大提升工科学生**实践能力和增强创新能力**,同时必将进一步提高相关课程的实践教学水平。

该教学过程紧跟空间结构日新月异的发展趋势,实现将**生物制药前沿科研成果反哺实验实践教学,将社会责任、职业道德、工程伦理等思政要素植入教学项目**,将正确的价值追求、理想信念和家国情怀有效地传递给本专业学生,真正将**立德树人**融入教学全过程、各环节。

3-2 实验教学目标 (实验后应该达到的知识、能力水平)

3.2.1 知识目标

- (1) 了解药用菌物灵芝的药效、生长特性及在中医药中的运用。
- (2) 熟悉发酵罐各部件名称及功能。
- (3) 掌握发酵罐离位高压蒸汽灭菌的方法。
- (4) 掌握发酵罐无菌接种技术。
- (5) 了解发酵罐不同电极及电极标定。
- (6) 熟悉发酵终点的判定和发酵品的质量的检验方法。

3.2.2 技能目标

(1) 掌握与生物工程制药相关的生物反应器操作基本原理;熟练掌握高压蒸汽灭菌、无菌操作等实验技能。

(2) 学会正确、科学地观察实验现象、记录实验结果、分析实验数据,掌握实验报告的正确书写方法。

(3) 培养学生资料查阅、数据处理、实验操作、综合分析等方面的复合应用能力。

3.2.3 素质目标

(1) 激发学生将**前沿科技与中医药传统文化**有机融合的思维，**立德树人**融入教育教学全过程、各环节，给本专业学生传递了**正确的价值追求、坚定的理想信念和不可或缺的家国情怀**。

(2) 拥有一定的科学研究意识，具备**科学严谨**的工作态度和**实事求是**的工作作风。

(3) 具备岗位就业或继续深造所需的基本生物制药综合知识和技能。

(4) 拥有较强的自主学习意识和独立思考能力,为以后走向工作岗位或科研岗位打下坚实的基础。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：90 学时。

(2) 该实验所占课时：3 学时。

《生物制药专业综合实验》课程教学内容及学时分配表

总学时 90 理论教学 0 学时 实践教学 86 学时 自主性学习 4 学时

序号	章节	教学内容/实践项目名称	学时数	授课方式
1	实验前	综合培训	6	线下
2	实验 I	斜面培养基制备	4	线下
3	实验 II	斜面试种与培养	8	线下
4	实验 III	液体培养基配制	4	线下
5	实验 IV	摇瓶（种子）培养	8	线下
6	实验 V	发酵罐生产（大规模生产虚拟仿真）	11+3	线下+线上
7	实验 VI	药用菌多糖提取与纯化	12	线下
8	实验 VII	药用菌多糖颗粒的制备	5	线下
9	实验 VIII	硫酸苯酚法测定多糖中总糖含量	6	线下
10	实验 IX	二硝基水杨酸比色法测定多糖中还原糖含量	7	线下
11	实验 X	灵芝多糖体外抗氧化作用	5	线下

12	实验XI	灵芝多糖最大耐受量测定（虚拟仿真软件脚本的设计）	11	线下
合计			90	线下+线上

3-4 实验原理

3.4.1 实验原理

(1) 虚拟仿真实验原理

虚拟仿真（Virtual Reality, VR），又称为仿真（Simulation）技术或模拟技术，是用一个系统模仿另一个真实系统的技术。虚拟仿真实际上是一种创建和体验虚拟世界的计算机系统。此种虚拟世界由计算机生成，它可以是现实世界的再现，亦可以是想像中的世界，用户可借助视觉、听觉及触觉等多种传感通道与虚拟世界进行自然互动。通过仿真方式，它为用户创造一个实时反映实体对象变化与交互的三维虚拟世界，并提供一个三维界面来观测并交互虚拟世界，让用户直接参与并探索仿真对象在所处环境中的作用与变化，从而产生沉浸感。VR技术是计算机技术、计算机图形学、计算机视觉、视觉生理学、视觉心理学、仿真技术、微电子技术、多媒体技术、信息技术、立体显示技术、传感与测量技术、软件工程、语音识别与合成技术、人机接口技术、网络技术及人工智能技术等多种高新技术的融合结晶，其逼真性和实时交互性为系统仿真技术提供有力的支撑。

虚拟仿真实验是根据实验教学的基本要求，在计算机系统中通过采用虚拟仿真技术模拟真实实验的环境，以人机交互的方式，使学生像在真实的实验环境中一样通过运用各种虚拟机械设备对实验对象进行虚拟操作，从而完成各项预定的实验项目。虚拟仿真的实验内容不受场地、对象以及药品试剂的制约，随着虚拟实验的开展，其在药用菌物灵芝发酵生产实验教学中的优势也能得到充分体现。



图 3-4-1 虚拟仿真实验平台

(2) 药用菌液体深层发酵原理

现代研究已证明药用菌人工培养的菌丝体主要含有**多糖类**成分，具有多方面的治疗或调节功能。**液体发酵**是现代生物技术之一，它是指在生化反应器中，模仿自然界将食药用菌在生育过程中所必需的糖类、有机和无机含有氮素的化合物、无机盐等一些微量元素以及其它营养物质溶解在水中作为培养基，灭菌后接入菌种，通入无菌空气并加以搅拌，提供药用菌的菌体呼吸代谢所需要的氧气，并控制适宜的外界条件，进行菌丝大量培养繁殖的过程。制备适合的液体培养基就可以提供药用菌发育的营养物质，有利于药用菌的快速生长繁殖。**通过该虚拟仿真实验，学生可对药用菌的液体发酵培养有确切的认知。**

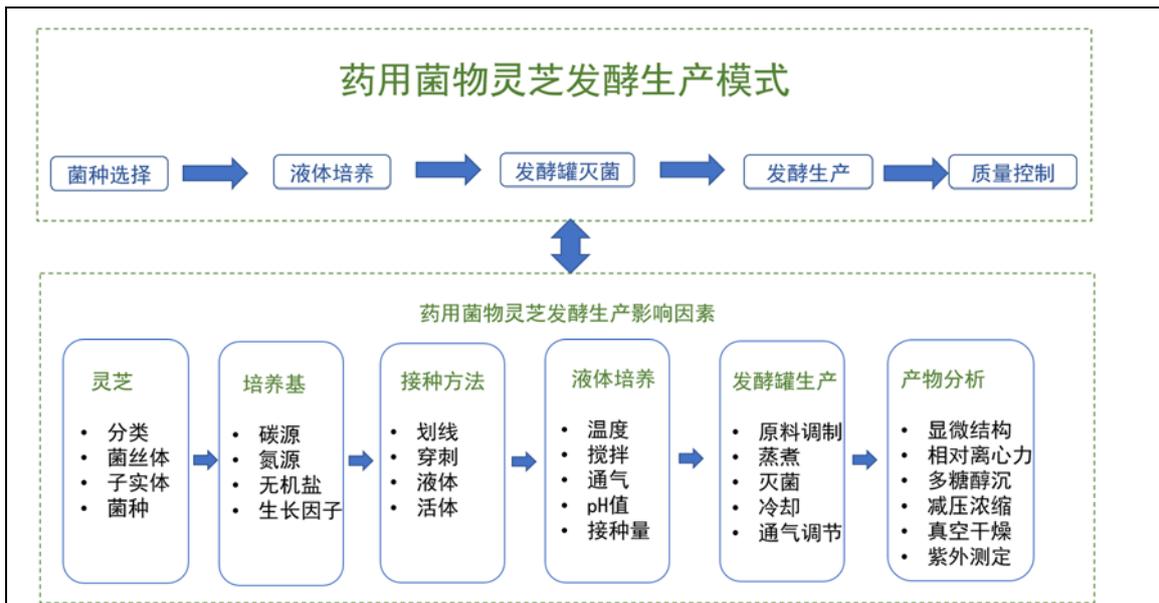


图 3-4-2 液体深层发酵原理

摇瓶培养一般用于菌种培养条件的筛选及优化阶段；也可用于中试生产，旨在验证发酵生产的培养条件，其工作量大、时间长、操作复杂。而发酵罐培养是摇瓶培养的工业化、大规模生产。微生物培养工艺流程如下：

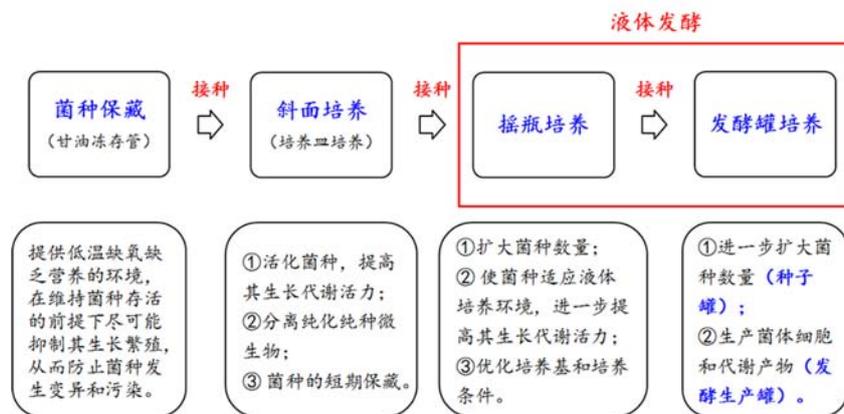


图 3-4-3 微生物培养发酵工艺

机械搅拌通风发酵罐具备良好的传质和传热性能，结构严密，采用搅拌浆分散打碎泡沫，增加气液间接触面积，提高气液间的传质速率，加快溶氧速度；发酵液充分混合均匀，使液体中的固形物料保持悬浮状态，培养基流动与混合效果好，促进物料进行发酵反应。可实现在位高温灭菌，保障物料不受杂菌污染。在保持生物反应要求前提下，降低耗能，有可行的管路比例和仪表控制，适用于灭

菌操作和自动化控制。药用菌物发酵罐生产条件的选择：

(1) **温度**：培养温度对药用菌细胞生长及二次代谢产物生成有重要影响。通常，药用菌细胞培养温度采用约 **28℃**。

(2) **搅拌**：在发酵罐生产中，通常搅拌的转速取 **100 r/min**。

(3) **pH 值**：在培养过程中，通常 pH 作为一个重要参数被控制在一定范围内。药用菌细胞培养的适宜 **pH 值一般为 6.5 左右**。

(4) **通气**：通气是细胞液体深层培养重要的物理化学因子。好气培养系统的通气与混合及搅拌是相互关联的，**通气量与培养液的比例 (V/V) 一般为 1: 1**。

表 3-4-1 灭菌温度与时间的关系

温度 (°C) / 压力 (MPa)	时间 (min)
115/0.069	30
121/0.103	20
126/0.138	15

发酵罐的基本结构如下图所示：

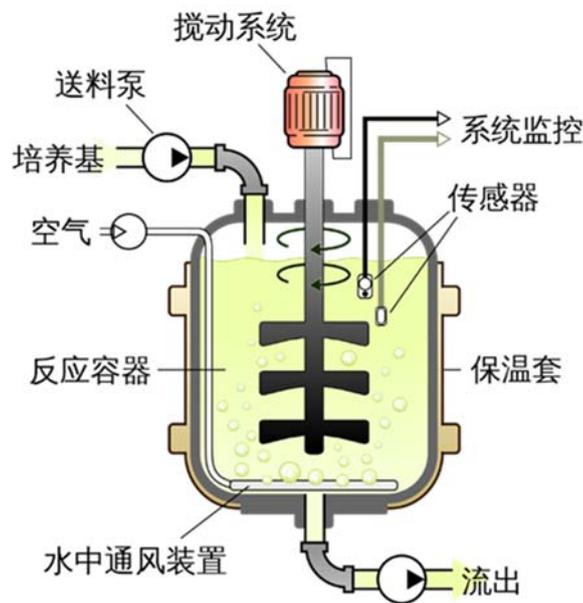


图 3-4-4 发酵罐的结构

(3) 药用菌物发酵罐生产虚拟仿真实验原理

该虚拟仿真实验构建了 1: 1 仿真的工厂大规模发酵生产，可让学生直观学习，生物反应器发酵生产过程。学生在虚拟仿真构建的实验室内，可逐步进行以上操作，从而掌握相关核心知识点。

采用真实实验数据，依据 Minitab 进行回归分析，该虚拟仿真实验相关参数理论图形及公式见下：

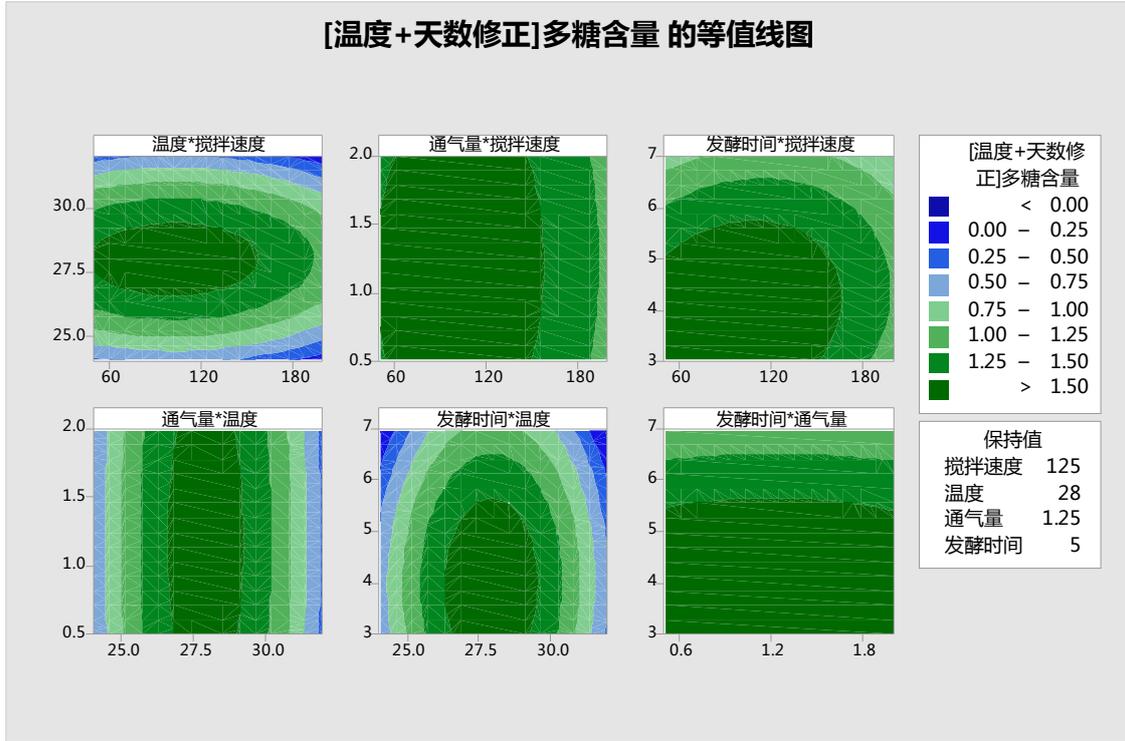


图 3-4-5 [温度+天数修正]多糖含量等值线图

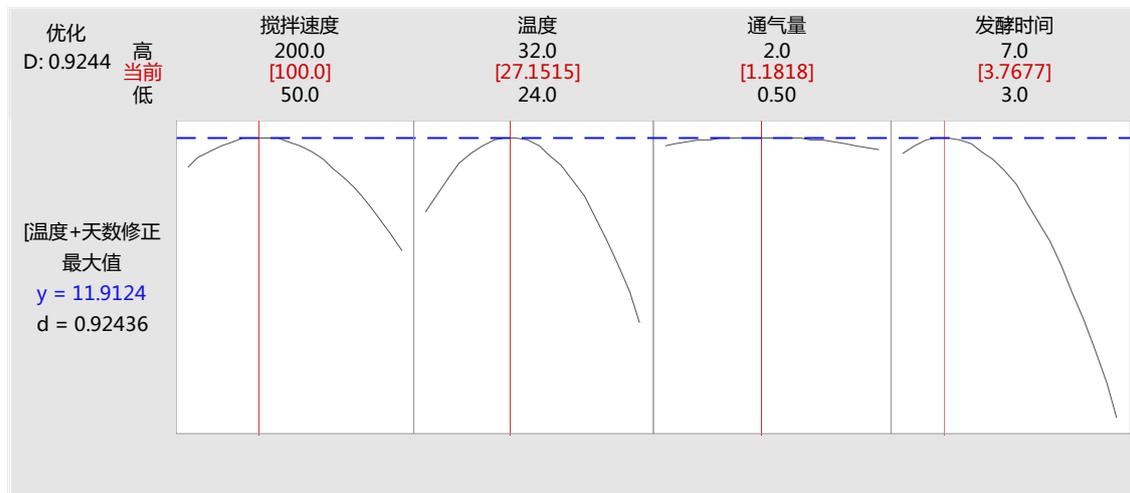


图 3-4-6 [温度+天数修正]菌丝含量最值求解

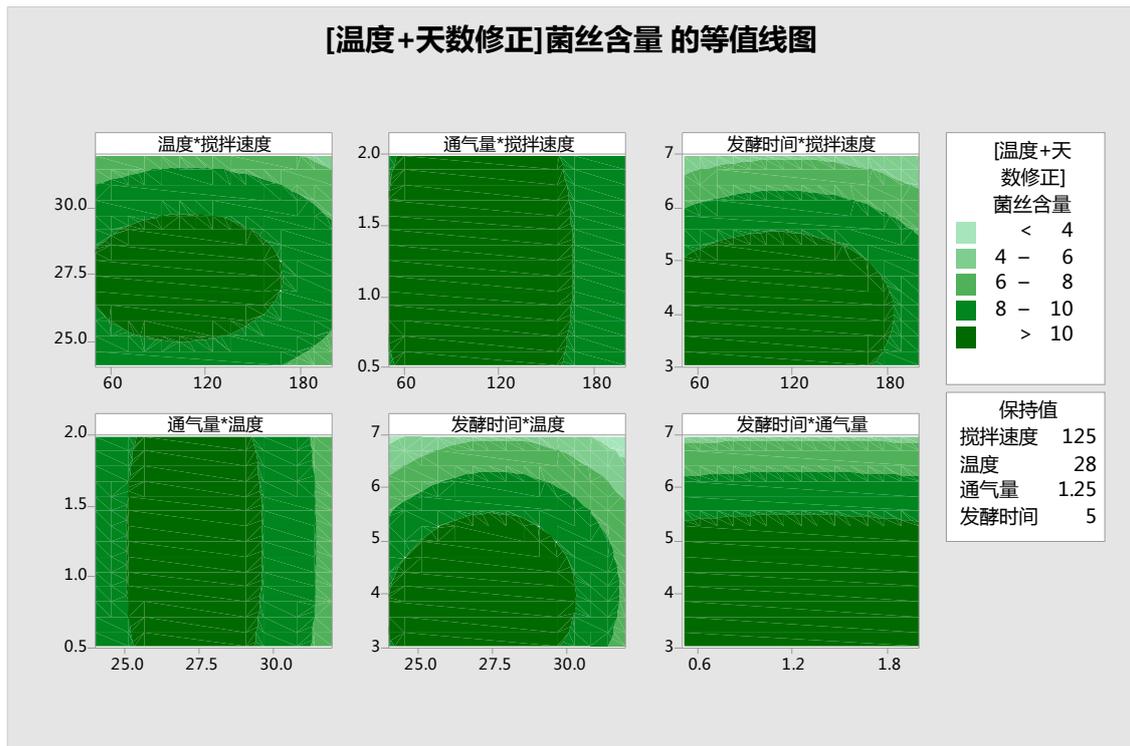


图 3-4-7 [温度+天数修正]菌丝含量等值线图

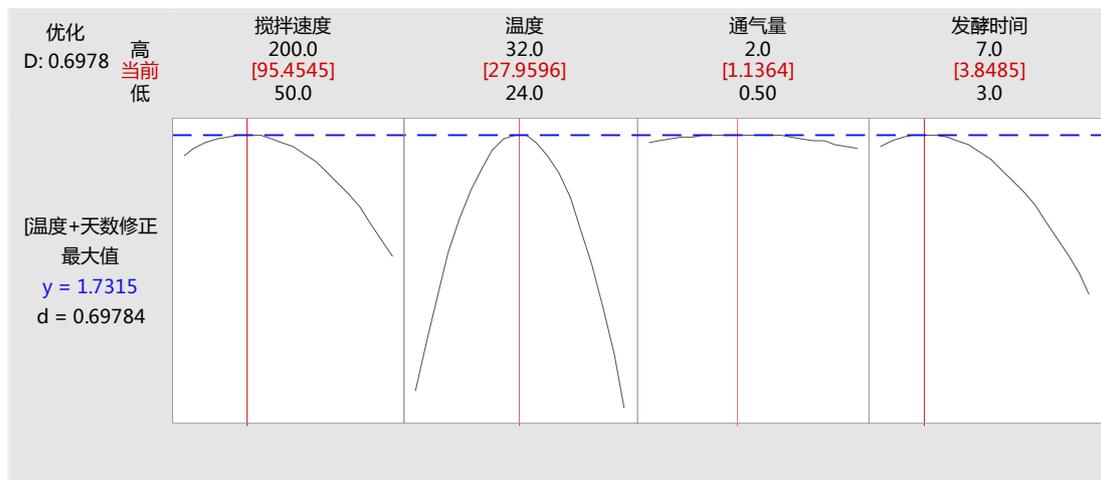


图 3-4-8 [温度+天数修正]多糖含量最值求解

(1) 糊精单因素考察的方程式如下:

$$\text{多糖含量} = -0.4515b^2 + 1.796b - 0.123$$

$$\text{菌丝体含量} = -2.48b^2 + 9.485b + 2.917$$

单位: (g/L)。

(2) 酵母膏单因素考察的方程式如下:

$$\text{多糖含量} = -43.27c^2 + 13.77c + 0.565$$

$$\text{菌丝体含量} = -174.6c^2 + 65c + 5.937$$

单位: (g/L)。

(3) 麸皮单因素考察的方程式如下:

$$\text{多糖含量} = -0.1137a^2 + 0.868a + 0.0036$$

$$\text{菌丝体含量} = -0.6369a^2 + 5.005a + 2.154$$

单位: (g/L)。

(4) 磷酸二氢钾因素考察的方程式如下:

$$\text{多糖含量} = -22.5d^2 + 6.92d + 1.128$$

$$\text{菌丝体含量} = -98.3d^2 + 30.17d + 9.671$$

单位: (g/L)。

(5) 四种培养基对菌丝体生物量的影响满足方程:

$$\begin{aligned} \text{菌丝体} = & -0.6369a^2 + 5.005a - 2.48b^2 + 9.485b - 174.6c^2 + 65c - 98.3d^2 \\ & + 30.17d - 15.28 \end{aligned}$$

四种培养基对多糖含量的影响满足方程:

$$\begin{aligned} \text{多糖含量} = & -0.1137a^2 + 0.868a - 0.4515b^2 + 1.796b - 43.27c^2 + 13.77c \\ & - 22.5d^2 + 6.92d - 3.41 \end{aligned}$$

其中, 单位: (g/L); a: 麸皮添加量(%), $1 \leq a \leq 6$; b: 糊精添加量(%), $1 \leq b \leq 3$; c: 酵母膏添加量, $0.1 \leq c \leq 0.3$; d: 磷酸二氢钾, $0.1 \leq d \leq 0.3$ 。

通气量、发酵温度、搅拌速度、发酵天数、接种量对菌丝体的影响满足方程:

$$\begin{aligned} \text{菌丝含量} = & -0.000258a^2 + 0.000395ab + 0.00009ac + 0.002531ad + 0.0316a \\ & - 0.1734b^2 + 0.0023bc + 0.0637bd + 9.121b - 0.409c^2 \\ & + 0.0165cd + 0.84c - 0.6008d^2 + 2.52d - 118.6 \end{aligned}$$

通气量、发酵温度、搅拌速度、发酵天数、接种量对多糖含量的影响满足方

程：

$$\begin{aligned} \text{多糖含量} = & -0.000046a^2 + 0.000027ab + 0.00009ac + 0.000673ad + 0.00533a \\ & - 0.06972b^2 + 0.0004bc + 0.00186bd + 3.885b - 0.081c^2 \\ & + 0.0044cd + 0.15c - 0.0677d^2 + 0.4d - 53.64 \end{aligned}$$

其中，单位：（g/L）；a：搅拌速度；b：温度；c：每小时通气量与培养液容积之比（0.5 - 1.5:1）；d：衡量培养天数和接种量的参数， $d = \left(-\frac{7}{900x^2} + \frac{97}{900x}\right) y$ ，x 为接种量，y 为发酵天数。

3.4.2 核心要素的仿真度

(1) **互动感受场景**：本实验仿真了[江苏安惠生物科技有限公司](#)工业化生产规模进行灵芝发酵的场景，实验在操控室、仓库、发酵车间和实验室四个场景中进行，学生可自由在虚拟仿真的场所移动，调整视角进行观察与学习。

(2) **面向真实实验的原始结构模型及操作环境**：操控室中可以设定发酵罐参数，如通气量、发酵温度、搅拌速度、发酵天数和接种量等；仓库场景用于选择培养基配方，如糊精、酵母膏、麸皮和磷酸二氢钾等；发酵车间用于观察实验流程中发酵罐体运作情况，如空消、实消、接种、搅拌、出料、清洗等的水、气管路运作，以及观察罐体内液体变化，如实消时产生的气泡、发酵时产物颜色变化；实验室场景主要用于发酵产物质量评定，包括菌丝体与多糖含量测定方法及显微观察。

(3) **基于真实实验数据的数值仿真过程**：实验核心算法的对象主要是培养基配方（糊精、酵母膏、麸皮和磷酸二氢钾）与发酵罐参数（通气量、发酵温度、搅拌速度、发酵天数和接种量），考察指标是菌丝体和含糖量。首先进行培养基配方的单因素考察，系统将所填参数导入公式，得到各培养基成分对菌丝体和含糖量单一的影响，导出趋势线，根据单因素考察结果，填写培养基配方综合参数，得到只考虑培养基配方的结果；然后进行发酵罐参数的填写，得到只考虑发酵罐参数的结果；最后根据前面实验填写培养基配方与发酵罐参数的综合参数，得到最终的菌丝体和含糖量。操作成绩部分中设定参数后得到菌丝体与含糖量值由真实实验数据拟合公式得来，公式具有理论最大值，学生实验所得数据

与理论最大值相比，即得到分数。

整个仿真实验共有 14 个知识点：

- (1) 灵芝种类和生长过程；
- (2) 发酵罐各部件位置及功能；
- (3) 空消压力和温度要求；
- (4) 高压蒸汽灭菌的方法；
- (5) 灵芝的斜面试种与斜面培养；
- (6) 发酵罐不同电极及电极标定；
- (7) 糊精、酵母膏、麸皮、磷酸二氢钾单因素对菌丝体与多糖含量的影响；
- (8) 培养基配方综合配方对菌丝体与多糖含量的影响；
- (9) 消泡剂的原理和用量；
- (10) 发酵罐参数（通气量、发酵温度、搅拌速度、发酵天数和接种量）对菌丝体与多糖含量的影响；
- (11) 培养基配方与发酵罐参数对菌丝体与多糖含量的综合影响；
- (12) 菌丝体显微结构；
- (13) 菌丝体含量测定；
- (14) 多糖含量测定。

3-5 实验教学过程与实验方法

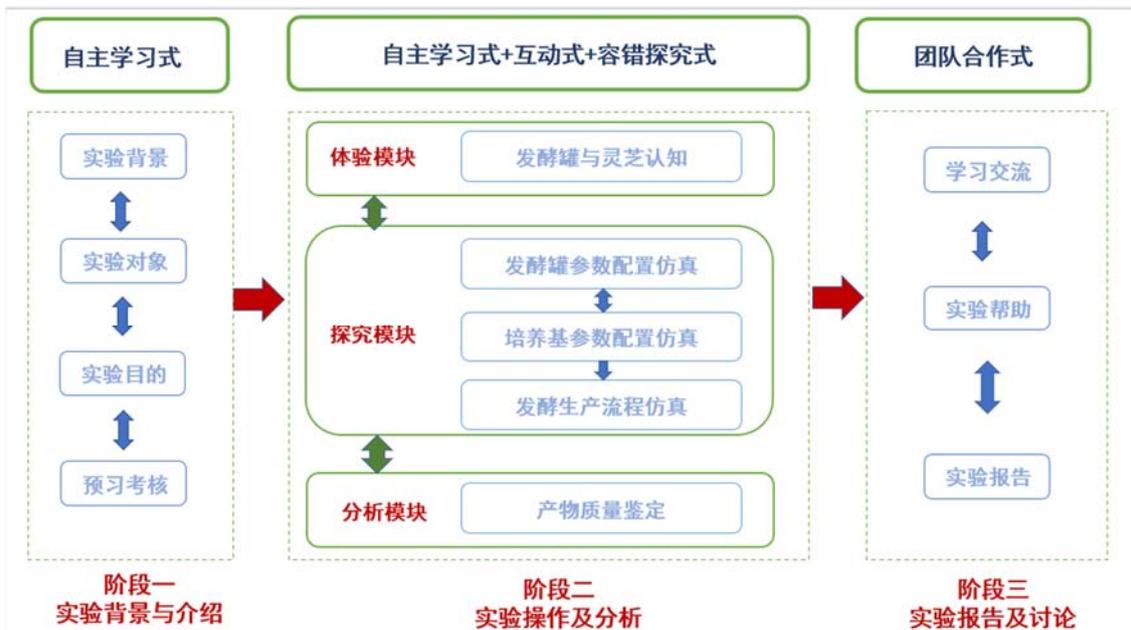


图 3-5-1 实验架构及教学过程实施图

本虚拟仿真实验项目总体采用“三阶段一三层次”的设计思路，让学生在虚拟实验环境中学习药用菌物灵芝发酵生产，掌握大型生物反应器相关知识，并了解灵芝多糖提取与纯化及多糖的含量测定。为实现教学目标，让学生充分掌握相关知识，采用自主式学习、互动式、容错探究式和团队合作式等多种教学方法实现上述功能，体现了以学生为中心的实验教学理念。

3.5.1 教学过程

(1) 自主式学习教学法

- 1) **使用目的：**学生以网络学习为主，可以通过手机 APP 或电脑使用该仿真软件，自主选择学习内容、学习时间和学习地点，学生可以根据实验内容选择实验材料、实验试剂及仪器，充分发挥学生的学习自主性，变被动学习为主动学习。将实验教学的平台、内容、资源等开放给学生，充分发挥学生的学习主体作用，培养学生的综合素质。
- 2) **实施过程：**由教师开设虚拟仿真实验，实行实验室开放（实验中心率先完成开放实验室管理系统），形成教师示教、师生互动的带教虚拟仿真实验。学生使用校园卡登录实验中心开放式实验教学网站，首先进行实验室安全须知和测试，通过测试后进入个人实验系统，预约上课时间、选择实验项目、熟悉发酵罐的构造及发酵流程，实验预约成功后可自主完成实验。
- 3) **实施效果：**本项目设计由易到难，知识水平逐层提升，符合学生自主学习的学习规律。同时，学生可以根据自己的知识水平自主选择符合自身知识层次的实验，充分发挥了学生的自主性。通过生物反应器还原及放大结构特征，对操作及分析进行交互引导，虚实结合，明显提高了学生发酵操作及发酵条件自主设计能力。

(2) 容错探究式教学法

- 1) **使用目的：**打破固化的教学模式，引导学生自主、开放性提出灵芝发酵生产中的配置方法及条件，同时让学生探究合理参数。让学生在问题中思考，使学生在解决问题的过程中内化知识内容。
- 2) **实施过程：**发酵过程和液体培养基配置过程中，如果配置参数不合理，本项

目不会中断学生实验，在发酵过程结束后会显示此次发酵过程的产量，并设为备选方案。学生通过查阅知识角相关资料，自主探究合理的配置参数，并返回操控室调整，重新在控制台选择参数。通过不断反复的验证实验，学生可选取最合理的配置参数。问题设计的情景来源于生产实践，与实际应用相联系，体验自主操作设计 3D 虚拟模块，每个问题的操作都会有相应的结果，学生可根据结果判断思路是否正确，激发学生的求知欲。

- 3) 实施效果：本教学方法允许学生对同一发酵生产过程进行反复多次设计，进而不断优化设计方案，达到培养基与发酵参数的最优设计，让学生掌握合理的设计方法，体现了本项目的创造性、挑战性和高阶性。学生在反复思考问题的过程中，会启发学生思考，将自身已有的知识转化到应用上，解决实际问题。

(3) 团队合作式教学方法

- 1) 使用目的：在灵芝的发酵过程中，影响发酵产物及产量的因素有很多，因此不同的设计方法对结果密切相关。采用交互式团队合作式教学方法可以提高教学效率，加强学生的团队合作意识。
- 2) 实施过程：在进行实验前，将学生分为若干个团队，每一个团队分别对培养基成分、补料的控制和发酵时间等进行设计。在进行实验时，团队成员及各团队之间对设计内容进行交叉验证，提出最优发酵方案。在实验设计过程中可与实验教师在线交流，教师通过查看学生的设计流程在线回答学生的问题实现互动。
- 3) 实施效果：通过培养液的配制、在线灭菌、接种、发酵过程控制虚拟训练，尤其通过大量结果预测、数据反馈及自主分析验证的交互式团队教学方法，以虚补实，拓展了学生自主实践能力。

通过上述的虚拟仿真教学方法可以激发学生的学习兴趣，提高并带动实验教学效果，同时通过操作要点和细节的反复认知，如药用菌物的特性、培养液选择、培养条件确定、样品分析、报告等环节，使学生对生物发酵技术的应用能力得到进一步提高。

3.5.2 实验方法

本项目综合采用**观察法、控制变量法、类比法、比较法、自主设计**等实验方法，使学生全面掌握灵芝发酵大生产的过程，理解发酵罐参数与培养基配置对灵芝多糖的影响规律。

观察法主要应用在发酵罐与灵芝认知环节，让学生**具备足够的知识储备、扩展学生的视野、培养学生卓越工程师意识**。在发酵罐认知子环节中，学生可细致观察仿真生物反应器中的电机与搅拌系统、发酵罐体、冷却水、培养液、搅拌桨、传感器、系统温控、罐底通气装置及出料口，熟悉各部件位置及功能。在灵芝认知子环节，通过灵芝的视频、图片及三维模型，学生可深入了解灵芝性状和生长过程，并通过交互式考核巩固基础知识。

控制变量法主要用于**液体培养基的配置实验**，可以让学生详细了解某个参数对液体培养基的影响，培养学生科研素质，同时该方法也是团队合作教学方法实现的保障。学生在进行液体培养基配置时，**应先固定全部参数，然后在保持其他参数不变的情况下改变某一个参数（如麸皮单因素考察等）**，研究完成该参数的影响后保持该参数不变，考察其他参数；或者在团队合作学习时，不同小组研究不同参数的影响，每个小组除需要研究的参数外，保持其他参数一致，小组内不同学生选择不同的研究参数，从而实现液体培养基的优化设计。

类比法主要用于**摇瓶培养和发酵罐培养**，让学生将实验室小型发酵和工业大型发酵生产知识点结合在一起，促进学生对知识点的理解。学生通过**类比两者的异同，可以全面掌握灵芝发酵生产模式下的流程**，加深学生对相关知识点的了解。

比较法主要用于**发酵生产方案**，将同一流程的相关知识点呈链式展示给学生。若全套配置方案得到的产物含量偏低，可重新开始方案设计，并将**新旧方案进行对比**。让学生可以系统的掌握发酵相关知识点，符合学生的学习认知规律。

自主设计法主要用于**发酵罐参数调控实验与液体培养基配置实验**，提高学生学习的主动性和积极性，同时有助于培养学生的创新意识。由于灵芝发酵生产过程中涉及步骤复杂，学生很难一次性熟悉所有参数，**为此学生可以先自主设计培养基的单因素配置，再完成培养基的综合配置，掌握相关知识后再配置发酵罐参数进行发酵生产，最终得到满足发酵生产目标的设计方案**。

3-6 步骤要求（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

3.6.1 学生交互性操作步骤

共 18 个步骤：（表 3-6-1）

表 3-6-1 交互性操作步骤

序号	步骤目标要求	步骤合理用时	目标达成度赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	发酵罐各部件的认知	10 min	完成 9 个部件的组装，每个 0.5 分	4.5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
2	掌握灵芝种类和生长过程	5 min	通过视频和图文学习，掌握灵芝种类和生长过程，完成一个知识点 1 分	2	
3	预习考核	6 min	每题 0.2 分	2	
4	探索空消压力要求	5 min	填入数值的范围在 $0.11 \leq \text{数值} < 0.13$ 给 1 分； $0.13 \leq \text{数值} < 0.15$ 给 2 分； $0.15 < \text{数值} \leq 0.17$ 给 1 分； $0.16 \leq \text{数值} < 0.2$ 给 0.5 分	2	
5	麸皮单因素考察	7 min	填入数值的范围在 $1 \leq \text{数值} < 2$ 给 5 分； $2 \leq \text{数值} < 3.5$ 给 8 分； $3.5 \leq \text{数值} < 5$ 给 5 分， $5 \leq \text{数值} < 6$ 给 4 分	9	
6	酵母膏单因素考察	7 min	填入数值的范围在 $0.1 \leq \text{数值} < 0.19$ 给 5 分； $0.19 \leq \text{数值} < 0.25$ 给 8 分； $0.25 \leq \text{数值} < 0.3$ 给 5 分	9	

7	糊精单因素考察	7 min	填入数值的范围在 $1 \leq \text{数值} < 1.5$ 给 5 分; $1.5 \leq \text{数值} < 2$ 给 8 分; $2 \leq \text{数值} < 2.5$ 给 5 分; $2.5 \leq \text{数值} < 3$ 给 4 分	9
8	磷酸二氢钾单因素考察	7 min	填入数值的范围在 $0.1 \leq \text{数值} < 0.19$ 给 5 分; $0.19 \leq \text{数值} < 0.25$ 给 8 分; $0.25 \leq \text{数值} < 0.3$ 给 5 分	9
9	培养基配方综合考察	10 min	菌丝体含量得分 = 测得菌丝体含量 / 11.99 (菌丝体含量理论最大值) * 5 多糖含量得分 = 测得多糖含量 / 1.67 (多糖含量理论最大值) * 5	10
10	明确消泡剂用量	3 min	填入数值的范围在 $0.4 \leq \text{数值} < 0.8$ 给 1 分; $0.8 \leq \text{数值} < 1.5$ 给 3 分; $1.5 \leq \text{数值} < 2.5$ 给 1 分	3
11	探究通气量	3 min	填入数值的范围在 $0.5 \leq \text{数值} < 0.8$ 给 3 分; $0.8 \leq \text{数值} < 1.2$ 给 6 分; $1.2 \leq \text{数值} < 1.5$ 给 3 分	6
12	探究发酵温度	3 min	填入数值的范围在 $26 \leq \text{数值} < 27.5$ 给 3 分; $27.5 \leq \text{数值} < 28.5$ 给 6 分; $28.5 \leq \text{数值} < 30$ 给 3 分	6
13	探究搅拌速度	3 min	填入数值的范围在 $75 \leq \text{数值} < 95$	6

			给 3 分； $95 \leq$ 数值 <105 给 6 分； $105 \leq$ 数值 <125 给 3 分	
14	探究发酵天数	3 min	填入数值的范围在 $2 \leq$ 数值 <3 给 3 分； $3 \leq$ 数值 <3.5 给 6 分； $3.5 \leq$ 数值 <5 给 3 分	6
15	探究接种量	3 min	填入数值的范围在 $5 \leq$ 数值 <8 给 3 分； $8 \leq$ 数值 <12 给 6 分； $12 \leq$ 数值 <20 给 3 分	6
16	根据发酵罐参数得到的菌丝体和多糖含量	3 min	菌丝体含量得分 = 测得菌丝体含量 (菌丝体含量理论最大值) / 11.99×2.5 多糖含量得分 = 测得多糖含量 (多糖含量理论最大值) / 1.67×2.5	5
17	掌握显微镜观察菌丝体	5 min	每学习掌握一个给 0.5 分，一共 4 个	2
18	发酵产物质量检验	10 min	菌丝体含量得分 = 测得菌丝体含量 (菌丝体含量理论最大值) / 11.99×1.75 多糖含量得分 = 测得多糖含量 (多糖含量理论最大值) / 1.67×1.75	3.5

3.6.2 交互性步骤详细说明

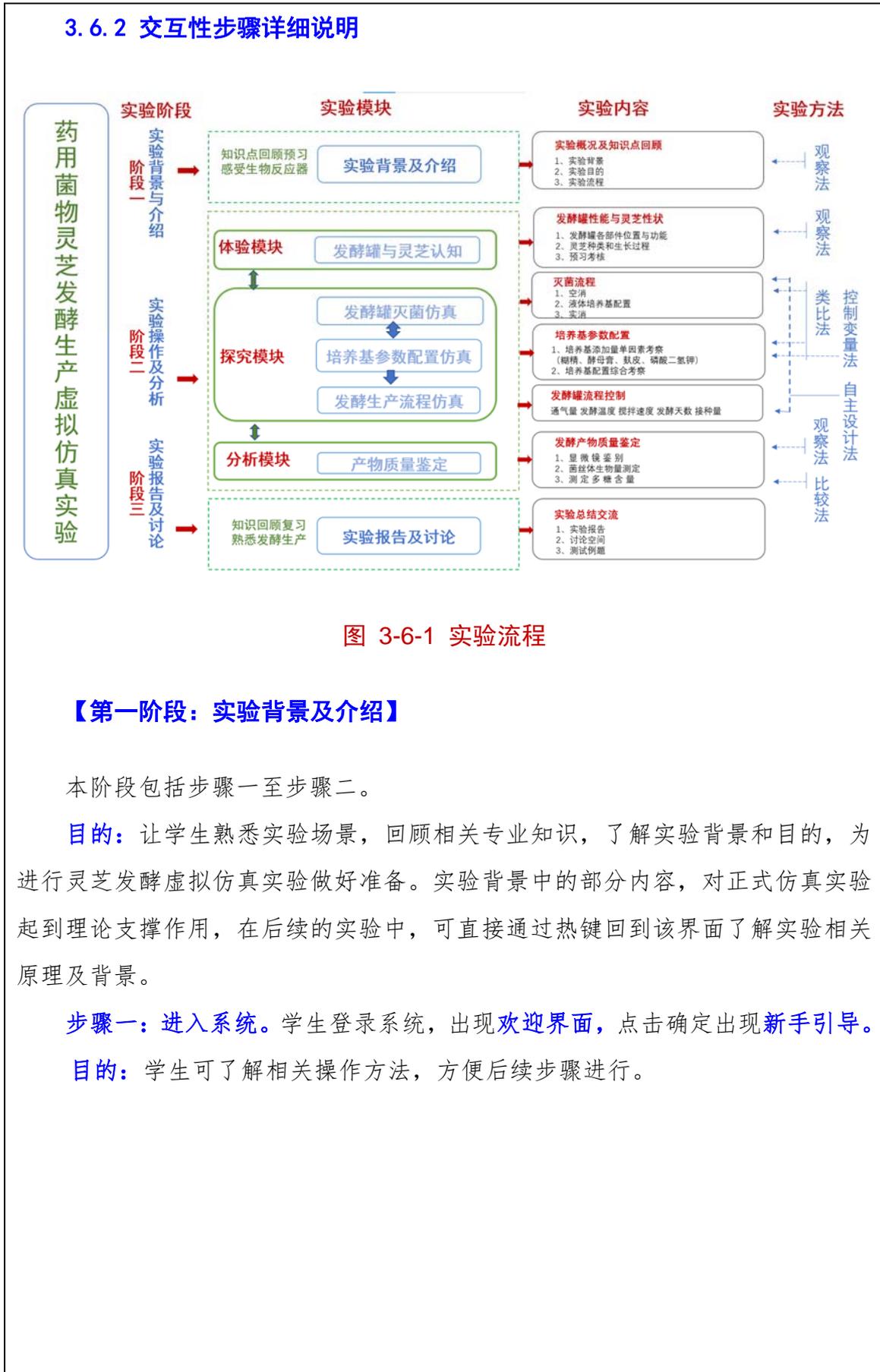


图 3-6-1 实验流程

【第一阶段：实验背景及介绍】

本阶段包括步骤一至步骤二。

目的：让学生熟悉实验场景，回顾相关专业知识，了解实验背景和目的，为进行灵芝发酵虚拟仿真实验做好准备。实验背景中的部分内容，对正式仿真实验起到理论支撑作用，在后续的实验中，可直接通过热键回到该界面了解实验相关原理及背景。

步骤一：进入系统。学生登录系统，出现**欢迎界面**，点击确定出现**新手引导**。

目的：学生可了解相关操作方法，方便后续步骤进行。



图 3-6-2 欢迎界面



图 3-6-3 新手引导界面

步骤二：药用菌灵芝发酵生产虚拟仿真实验背景介绍。点击“实验简介”，可查看**实验背景、实验目的及实验流程**。

目的：旨在回顾《生物制药综合实验》相关理论及背景，了解实验目的，熟悉实验流程。

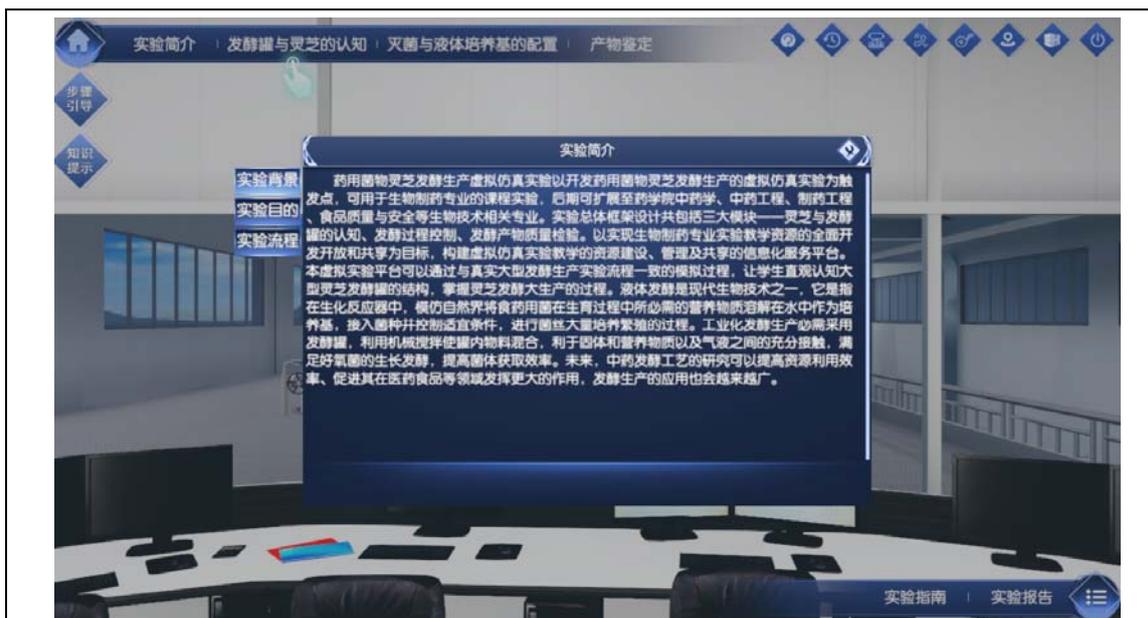


图 3-6-4 实验简介界面

【第二阶段：实验操作及分析】

本阶段包括步骤三至步骤二十。

目的：让学生通过“认识-探究-分析”递进式实验，了解发酵罐及灵芝相关知识，针对关键步骤进行单因素-多因素实验设计，深入理解灵芝发酵原理。操作成绩部分中设定参数后得到菌丝体与多糖含量值由真实实验数据拟合公式得来，公式具有理论最大值，学生实验所得数据与理论最大值相比，即得到分数。

步骤三：发酵罐各部件的认知。在实验开始前对大型发酵罐罐体部件进行学习，点击各个按钮查看各部件所在位置与功能。

目的：掌握发酵罐工作原理，领悟大型发酵罐的部件功能及所在为位置，并分析与实验室的小型发酵罐的异同。

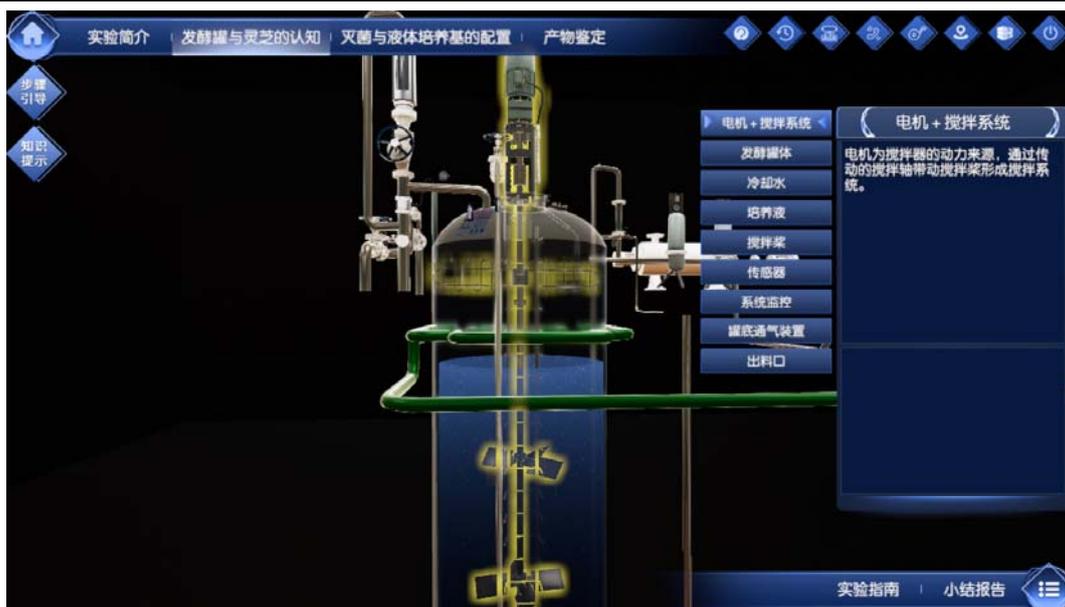


图 3-6-5 发酵罐认知界面

步骤四：灵芝种类和生长过程。对本实验的对象灵芝生长过程与品种进行学习，点击按钮观看灵芝生长过程与品种介绍。

目的：学生通过对灵芝生长过程、品种等知识的学习，掌握灵芝的药用价值，感受药资源可持续发展理念。



图 3-6-6 灵芝认知界面

步骤五：预习考核。点击右下角实验考核进行预习效果的考察。

目的：对上述学习情况进行考察，并深入了解药用菌物发酵原理及意义。



图 3-6-7 预习考核界面

步骤六：空消。

原理：在投料前，空气管路、种子罐、发酵罐必须用蒸汽进行灭菌，消除所有死角的杂菌、芽孢，保证系统处于无菌状态。

目的：通过空消压力的探索，让学生认识到**生产安全的重要性**。

效果：在实验开始前点击提示按钮**设置蒸汽压力**并开始空消，若输入值不在正常范围内则会出现提示。开始空消后出现**空消细节及相应压力、温度变化曲线**。



图 3-6-8 空消压力探索界面

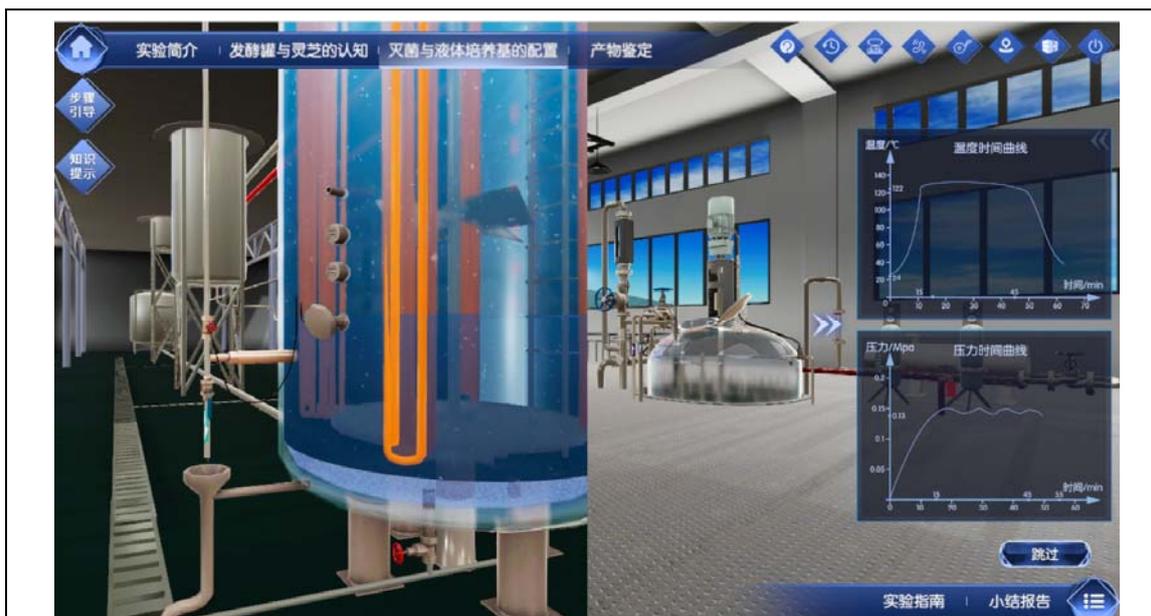


图 3-6-9 空消过程界面

步骤七：麸皮添加量单因素考察。设计麸皮单因素考察实验，填入 5 个想要考察的麸皮添加量。

原理：麸皮为培养基中**维生素**的重要来源，一般含量在 1-6%之间。

目的：通过考察液体培养基中麸皮单因素对实验的影响，让**学生掌握麸皮添加量与实验结果之间的关系，寻求最佳添加量。**

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后，可查看**相关曲线图**。

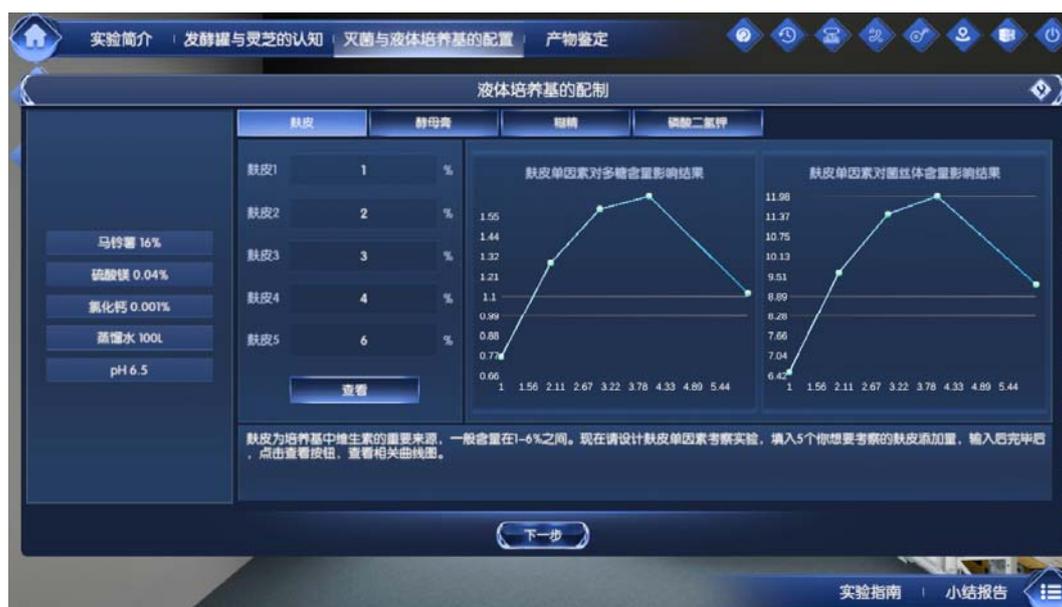


图 3-6-10 麸皮单因素考察界面

步骤八：酵母膏添加量单因素考察。设计酵母膏单因素考察实验，填入 5 个想要考察的酵母膏添加量。

原理：酵母膏为培养基中重要的**氮源**，一般含量在 0.1-0.3%之间。

目的：通过考察液体培养基中麸皮单因素对实验的影响，让**学生掌握酵母膏添加量与实验结果之间的关系，寻求最佳添加量。**

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后，可查看**相关曲线图**。



图 3-6-11 酵母膏单因素考察界面

步骤九：糊精添加量单因素考察。设计糊精单因素考察实验，填入 5 个想要考察的酵母膏添加量。

原理：糊精为培养基中重要的**碳源**，一般含量在 1-3%之间。

目的：通过考察液体培养基中麸皮单因素对实验的影响，让**学生掌握糊精添加量与实验结果之间的关系，寻求最佳添加量。**

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后，可查看**相关曲线图**。



图 3-6-12 糊精单因素考察界面

步骤十：磷酸二氢钾添加量单因素考察。设计磷酸二氢钾单因素考察实验，填入 5 个想要考察的酵母膏添加量。

原理：磷酸二氢钾为培养基中重要的无机盐来源，一般含量在 0.1-0.3%之间。

目的：通过考察液体培养基中麸皮单因素对实验的影响，让学生掌握磷酸二氢钾添加量与实验结果之间的关系，寻求最佳添加量。

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后，可查看相关曲线图。



图 3-6-13 磷酸二氢钾单因素考察界面

步骤十一：培养基综合考察。根据单因素考察结果，设计培养基综合考察实验。分别填入合适的培养基添加量。

原理：培养基是灵芝发酵的关键，灵芝是木腐性菌物应选择针对植物性菌物的培养基。充足且合理的碳源、氮源、维生素和无机盐配比可以让发酵生产事半功倍。

目的：以单因素考察为基础，进行培养基配方的**综合考察**。让学生对**灵芝发酵的关键环节**有更全面的理解，对**发酵原理及参数之间的相互关系**有更深刻的学习。



图 3-6-14 培养基综合考察

步骤十二：添加消泡剂。根据提示点击消泡剂添加阀，设置消泡剂添加量并开始实消。

原理：实消时要向培养液中加入消泡剂，以避免发酵时泡沫过多，产生“溢罐”现象，引起**投料损失**。

目的：通过对消泡剂添加量的考察，让学生了解**发酵产生泡沫的原因**，意识到**消泡的重要性**，并掌握合适的消泡剂添加量。

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后出现实消动画，动画结束后出现**培养基综合考察结果**（菌丝体生物量及多糖含量）。



图 3-6-15 消泡剂考察界面

步骤十三：通气量考察。在操作面板填写通气量。

原理：通气量对灵芝菌丝体的生长和胞内多糖合成有一定的影响。大生产以 0.5~1.5: 1 为适宜通气量。

目的：通过对通气量的考察，使学生了解到发酵过程中需要通入空气的原因，熟悉通气量过大或过小的危害，掌握合适通气量范围。

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后点击下一步进入下一个发酵罐参数设定。



图 3-6-16 通气量考察界面

步骤十四：温度考察。在操作面板填写发酵温度。

原理：发酵过程中，温度是非常重要的技术参数，若不能控制到最佳温度，对发酵完成后的多糖含量以及菌丝体数量均有巨大的影响。26-30℃是最佳温度。

目的：通过对温度的考察，使学生了解发酵过程中温度控制的重要性，熟悉**温度对发酵产物形成**的影响，掌握合适温度范围。

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后点击下一步进入下一个发酵罐参数设定。

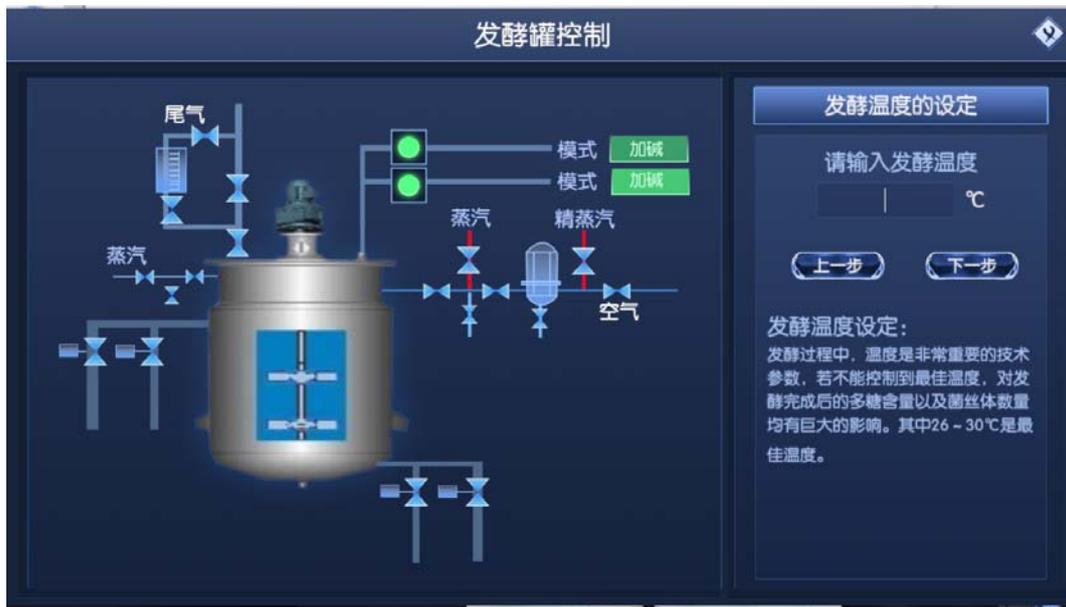


图 3-6-17 发酵温度考察界面

步骤十五：搅拌速度考察。在操作面板填写搅拌速度。

原理：搅拌可以使发酵物分散均匀，**使温度、氧气、pH分散均匀**。偏小导致溶氧量少，导致菌丝生长周期延长；转速过快，菌丝体生长形态不佳。一般大生产以 75-125 rpm 为好。

目的：通过对搅拌速度的考察，使学生了解发酵过程中搅拌速度的重要性，熟悉**搅拌对发酵液物质分散**的影响，掌握合适搅拌速度范围。

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后点击下一步进入下一个发酵罐参数设定。



图 3-6-18 搅拌速度考察界面

步骤十六：发酵天数考察。 在操作面板填写发酵天数。

原理： 足够的发酵天数可以使灵芝充分发酵，菌丝体数量增加，多糖含量增加。发酵天数过多，培养基营养不足，导致菌丝体和多糖含量下降；发酵天数过少，导致发酵不充分。一般大生产以发酵 2-5 天为好。

目的： 通过对发酵天数的考察，使学生了解发酵过程中发酵天数与发酵终点的关系，掌握合适的发酵天数范围。

效果： 若输入值不在正常范围内则会出现提示。输入完毕后点击下一步进入下一个发酵罐参数设定。



图 3-6-19 发酵天数考察界面

步骤十七：发接种量考察。在操作面板填写接种量。

原理：接种，按无菌操作技术要求将灵芝菌种**移接到发酵罐培养基质中**的过程。本步骤将灵芝菌种从种子罐直接**用无菌蠕动泵转移至发酵罐中**。一般在 5%到 20%左右（按培养基的体积计）。

目的：通过对接种量的考察，使学生了解发酵过程中**接种量与发酵天数的关系**，掌握合适的接种量范围。

效果：若输入值不在正常范围内则会出现提示。随后出现发酵过程、发酵结果及取样、出料、清洗按钮与动画。



图 3-6-20 接种量考察界面



图 3-6-21 发酵结束界面



图 3-6-22 发酵参数考察结果界面



图 3-6-23 出料界面

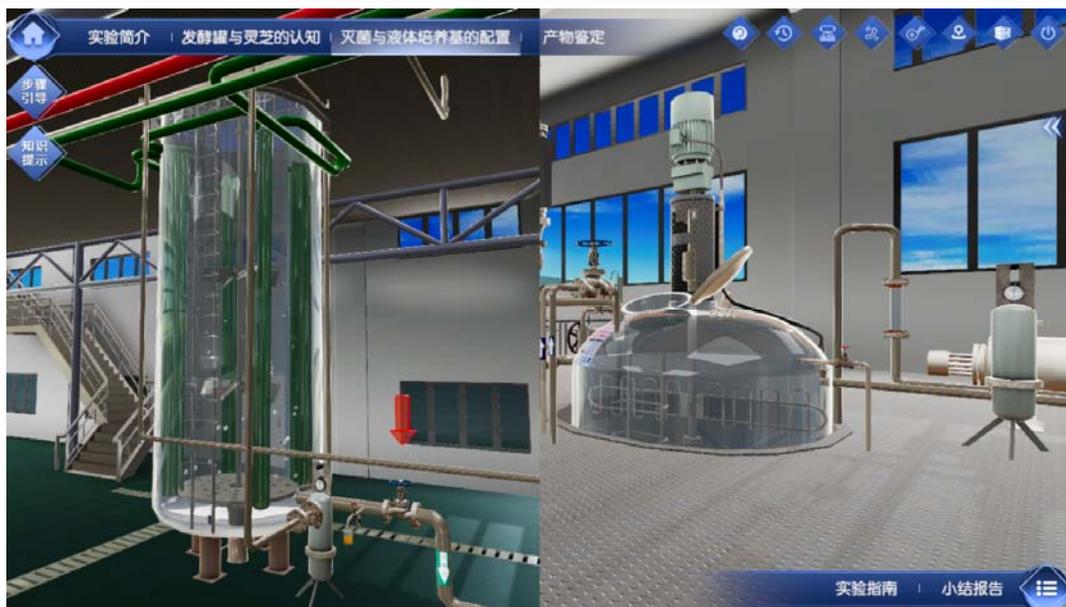


图 3-6-24 清洗界面

步骤十八：灵芝发酵完整参数设置。 分别根据培养基配方与发酵罐参数考察结果，填写**完整综合的参数设置**，并得到最终菌丝体和多糖含量。

原理：培养基配比和发酵罐参数是灵芝发酵生产的两大重要环节，缺一不可，故本步骤可以让学生**对上述学习内容进行总结分析归纳**，得到最佳的完整的灵芝发酵过程参数设置。

效果：填写合适的参数，若输入值不在正常范围内则会出现提示。可以**点击按钮返回查看单因素考察结果**。



图 3-6-25 培养基与发酵参数综合考察结果界面

步骤十九：菌丝体显微观察。出料后，在显微镜下观察菌丝体形态，点击**各菌丝体种类**，查看形态。

目的：通过对菌丝体形态的观察，掌握不同菌丝体形态的功能及名称。

效果：点击按钮，出现相应菌丝体形态，进行学习。



图 3-6-26 显微观察界面

步骤二十：菌丝体生物量及多糖含量检测。从简单原理出发，**模拟实验室**检验菌丝体生物量及多糖含量方法，对取样产物进行分析检测。

原理：离心、洗涤、烘干至恒重后称定菌丝体的生物量；**水提醇沉法**提取菌丝体中的多糖，并用**硫酸苯酚法**将多糖染色，用紫外-可见分光光度法检测多糖含量。

目的：通过对样品的检测分析，使学生了解检测原理，熟悉检测步骤。



图 3-6-27 实验室分析检测界面

【第三阶段：实验报告及讨论】

步骤二十一：提交实验报告。回到主界面，提交实验报告。

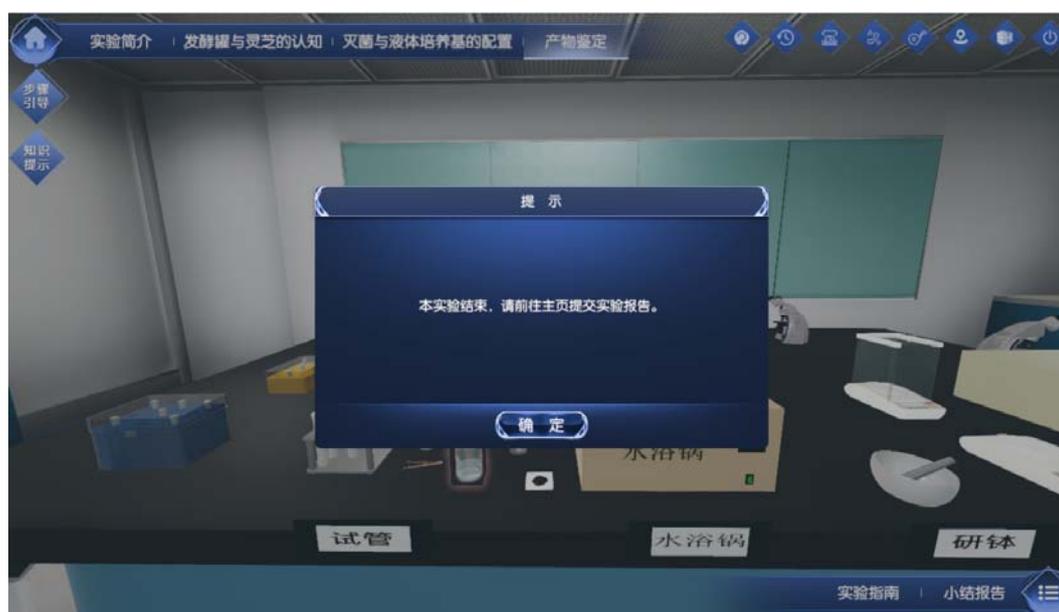


图 3-6-28 实验结束界面



图 3-6-29 实验报告界面

步骤二十二：学习与讨论。结束试验后可对实验进行评价，或提出问题，与同学、老师交流。在知视角中可浏览最新相关资讯，了解学科前沿与热点。

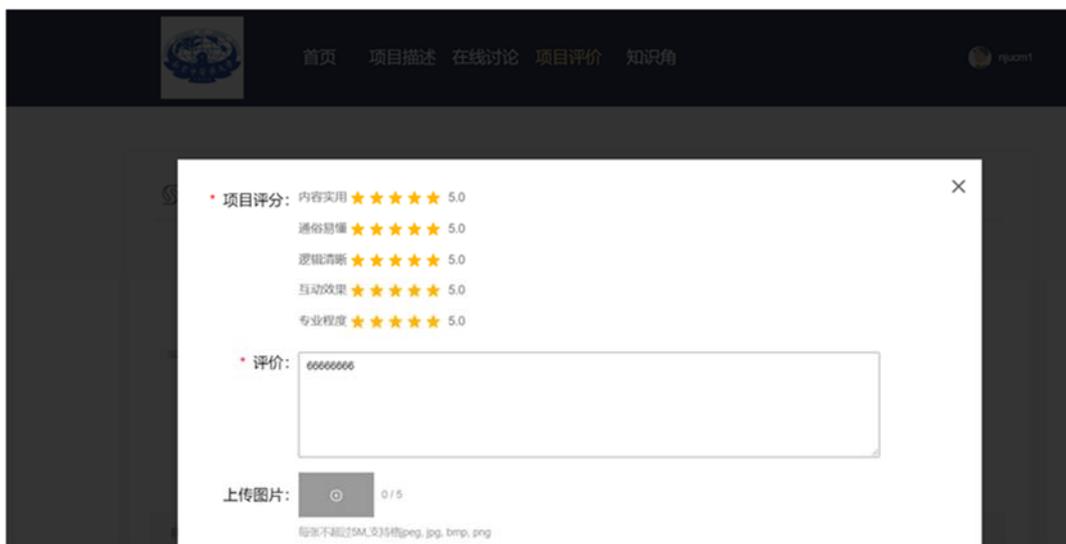


图 3-6-30 讨论界面

3-7 实验结果与结论（说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

本实验涉及培养基与发酵罐参数的各步骤结果与结论以菌丝体和多糖含量为指标，与所填参数相关。学生所填参数均要切合实际，若填入不切合实际的参数，系统将出现提示，告知学生正常范围。



图 3-7-1 空消压力超出合理范围提示界面

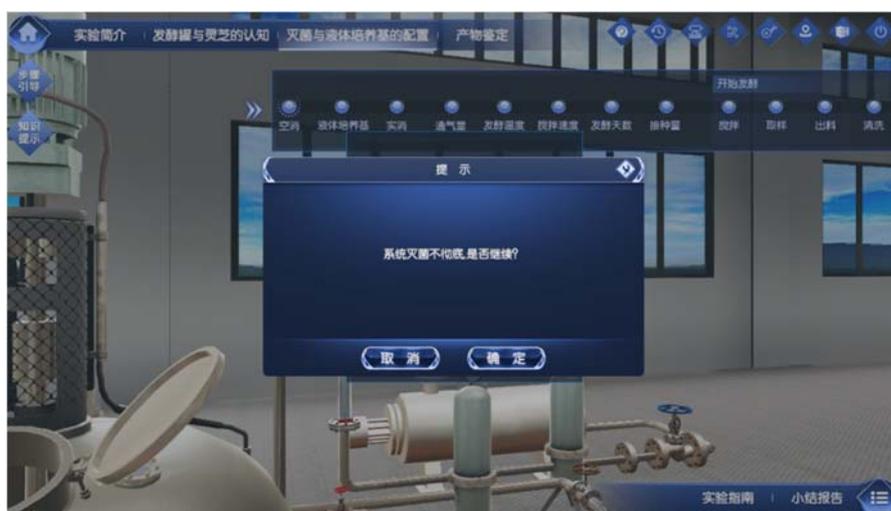


图 3-7-2 空消压力过低提示界面



图 3-7-3 空消压力过高提示界面

在符合实际的参数范围内，多糖含量与菌丝体含量均呈现类抛物线样趋势，在理论最佳条件下达到最高产量，并向两边减少。其他步骤结果以完成度或与理论最大值差距来评判，若不在合理范围内也将出现提示，告知合理范围。

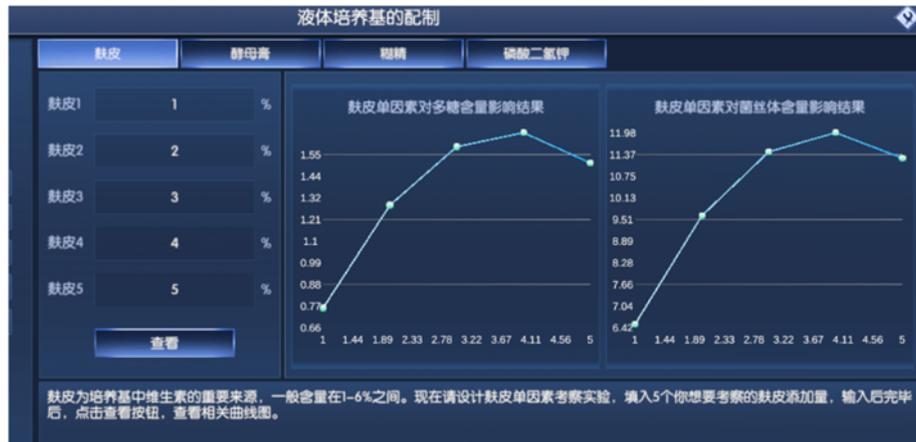


图 3-7-4 麸皮单因素考察曲线图



图 3-7-5 发酵温度超出合理范围提示界面

方案验证再次填写培养基配比与发酵的参数，此时填写数值应分别为之前考察的最优设置，若在合理范围内填写，则根据公式得出结果，若不在合理范围内，则出现相应提示。

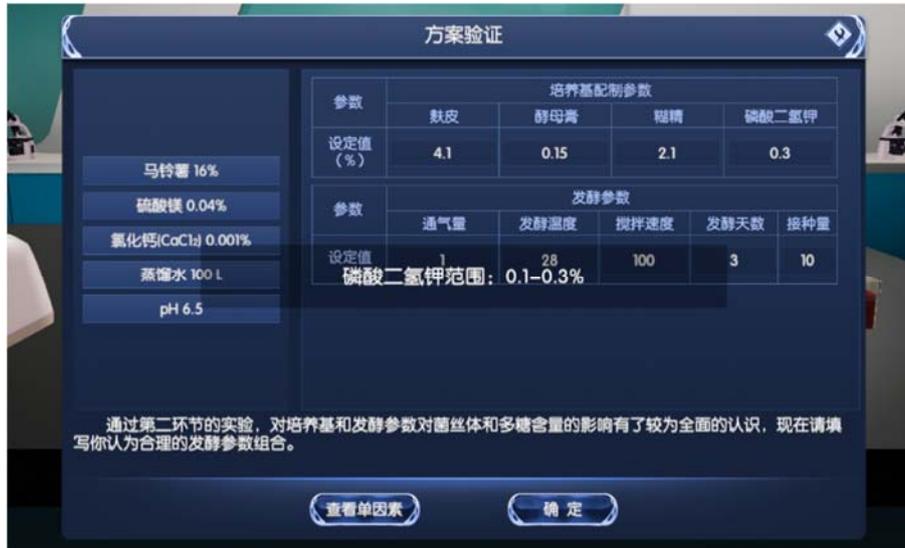


图 3-7-6 磷酸二氢钾超出合理范围提示界面

得到最终结果后，若菌丝体含量或者多糖含量过低，则可以重新设计方案，通过多次实验得到最佳方案，从而牢固学生对于灵芝发酵生产相关知识点的记忆。



图 3-7-7 方案设计结果界面

本项目的实验结果以实验报告的形式体现，具体考察项目如下：

××大学《药用菌物灵芝发酵生产虚拟仿真实验》报告

学号：_____姓名：_____实验日期：_____

一、实验目的

- 1、了解药用菌物灵芝的基本情况。
- 2、熟悉发酵罐的结构和功能。
- 3、熟悉液体发酵的生产操作流程及注意事项。
- 4、掌握液体发酵培养液配制、在线灭菌、无菌接种等基本技能。
- 5、掌握药用菌物发酵培养条件的自主设计原理、发酵终点判定方法。

二、实验步骤与过程

(要求：①详细记录本次实验流程，对操作步骤中的每个关键操作点进行总结和表述；②需要有相关实验步骤的截图辅助阐明实验步骤。)

- 1、
- 2、
- 3、

三、实验小结

- 1、
- 2、
- 3、

四、实验评分

考核内容	考核结果	考核评分
预习考核	完成操作步骤__步，重复__次 正确答题__项，重复__次	
发酵过程控制	完成操作步骤__步，重复__次发酵 麸皮(%)=____，通气量=____， 糊精(%)=____，发酵温度(℃)=____， 酵母膏(%)=____，搅拌参数(rpm)=____， 磷酸二氢钾(%)=____，发酵天数(天)=____， 接种量(%)=____， 菌丝镜检正确性：____， 正确答题__项，重复__次	
发酵产品质量评价	完成操作步骤__项，重复__次 生物量____g/L 多糖含量____g/L	
实验总分		

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

专业要求：生物制药专业，制药工程专业，中药制药专业。

年级要求：大学本科第二、第三学年。

其他：针对其他专业学生可选择操作发酵模块，自主设计部分不作为学习效果评价要求。

(2) 基本知识和能力要求

上述专业本科学生需掌握《微生物与免疫学》、《生物化学》、《发酵工程与酶工程》、《生物制药工艺学》和《生物药物分析》等课程理论和实验技能。

其他专业学生广泛性学习不作要求。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019年1月18日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校213人，外校161人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：1，具体专业：生物制药专业

教学周期：1次/学年，学习人数：120人/学年

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2020年1月18日

(6) 已服务过的社会学习者人数：203人

4. 实验教学特色

(该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色)

4.1 实验设计新颖

(1) 以学生为中心，构思“体验-探究-分析”三层次递进式实验模块

本实验项目注重对学生社会责任感、创新精神、实践能力、终身学习能力的综合培养，注重知识传授、能力培养、素质提高的协同实施。

瞄准**药用菌的液体培养、发酵罐与培养基配置、发酵生产灭菌与实消**等一系列核心问题，经过精心设计，凝练整合出适合大学生操作实践的若干子任务（实验模块），构建出“**三阶段-三层次**”的虚拟仿真实验项目，遵循从“简单到复杂”的认知规律，巧妙构思了“**体验-探究-分析**”三层次递进式的实验模块。按照学生知识、能力的训练要求由浅入深，循序渐进。首先通过发酵罐与灵芝的认知环节，为后续操作奠定基础；然后完成灭菌与液体培养基的配置实验环节，**该环节是本次虚拟仿真的核心环节，包括发酵罐使用的全套流程和投料的多因素设计**；最后完成产物鉴定环节该环节包括灵芝发酵液菌丝体的提取和多糖含量的测定。让学生掌握药用菌灵芝发酵生产方法，不仅为学生专业基本知识的掌握提供了有效工具，而且能够**支持学生进行变参数、新方案的设计优化，并通过虚拟仿真进行可视化表达**。通过改变参数，可以再现当设计不合理时多糖及菌丝体含量偏低的结果，对于学生创新能力的提升提供了很好的手段和工具。

②课程思政，立德树人融入教育教学全过程、各环节

结合大型发酵生产中出现的重大爆炸事故，在虚拟仿真中融入了因不合理的发酵罐设计导致生物反应器爆炸的实验知识点，通过理论与实验实践融合的教育教学活动，**成功地将社会责任、职业道德、工程伦理等德育要素植入实验教学项目**。

4.2 教学方法先进

针对发酵罐的实际操作专业性强，实体实验占地面积大，灵芝发酵设备价格高，具有超强的危险性等种种问题，项目在实验教学过程中，采用自主式学习、

互动式、容错探究式和团队合作式教学方法，体现了以学生为中心的实验教学理念，促使学生理论联系实际，提高学生的科研系统思维和优化工程方案的能力。学生通过自主式学习和互动式教学方法，**让学生亲身参与发酵罐生产设计实验**，改变传统教学中**“重理论讲授、轻过程分析”**的不足。采用团队合作式教学方法可以引导学生自主、开放性提出液体培养基设计的总体要求，并采用团队合作的方式对上述各种相关参数的改变，提高了学生的沟通能力和团队配合能力。采用容错探究式教学方法允许学生对发酵罐参数以及培养基配置方案根据指定目标进行反复多次设计，进而不断优化设计方案，达到最优设计的目的，最终培养学生探究性的思维方式和解决复杂问题的综合能力。

4.3 评价体系创新

本虚拟仿真项目采用多层次和多方式考核对学生实验效果进行评价，通过 18 个考核点的细化评价，全面考察学生的知识点与把控能力、设计能力，同时推动理论教学与实验设计互促优化。本项目以智能 AI 技术为依托，对**项目内置的自动考核功能、学生使用习惯、教师考核、学生互评等多维度考核内容进行大数据分析**，同时根据课前、课内、课后、考核等多阶段数据分析结果，为学生建立实时实训报告。学生可在线实时反馈项目使用效果，持续改进教学评价机制。

5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源: 教学指导书 教学视频 电子教材 课程教案

(申报系统上传) 课件(演示文稿) 其他

(2) 实验指导资源: 实验指导书 操作视频 知识点课件库 习题库

(申报系统上传) 试卷 考试系统 其他

(3) 在线教学支持方式: 热线电话 实验系统即时通讯工具 论坛

支持与服务群 其他

(4) 11 名提供在线教学服务的团队成员; 8 名提供在线技术支持的技术人员; 教学团队保证工作日期间提供 8 小时/日的在线服务

6. 实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求(需提供测试带宽服务)

带宽要求: 20 M 下行对等带宽。

经测试客户机, 带宽在 20 M 以上时, 能够有较快的加载速度和较好的交互体验。

本次测试基于主流配置计算机, 模拟学生在校内校外不同的使用环境, 最大限度地还原用户上网学习虚拟仿真实验的需求。

测试一: 物理连接链路测试。测试目的: 测试客户机和虚拟仿真实验项目网站的延迟和丢包情况; 测试方法: 客户机对本次虚拟仿真实验项目网站进行 PING 操作。

测试二: 网络质量测试。测试目的: 测试不同网络环境访问本虚拟仿真实验页面的加载情况。测试方法: 通过 IP 代理, 测试客户机在不同地域环境下打开虚拟仿真实验项目网页的速度。

测试结果:

当客户机带宽小于 20M 时，丢包情况严重、网络延时都很高，部分环境延时可以达到 20ms 以上，丢包率超过 5%；

当客户机带宽小于 20M 的时候，在不同 IP 对本虚拟仿真实验网页打开的测试中，网页打开速度较慢，特别是课件加载卡顿现象也常有发生，访问效果不理想。

基于以上测试结果，我们推荐客户机的带宽应大于 20M。

(2) 说明能够提供的并发响应数量（需提供在线排队提示服务）

本虚拟仿真项目的服务器最佳响应并发数为 300。

我们模拟用户访问虚拟仿真项目网站首页、用户登录和加载课件等操作。

经测试，当用户数量在 300 以下时，各项服务均能在 0.2 s 内做出响应，服务器负载处于较低水平，课件加载也很快。当用户数达到 2000，服务响应时间维持在 0.8 s 以内，但课件加载速度下降严重。当用户数达到 6000 时，服务响应时间超过 1 s，服务器负载也超过了 80%。

基于以上测试结果我们认为本虚拟仿真项目服务器的最佳响应并发数为 300。

6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

(1) 计算机操作系统和版本要求

计算机操作系统为 Windows7、Windows8、Windows10、Deepin15.7（国产 Linux 系统）。

(2) 其它计算终端操作系统和版本要求

无特定要求。

(3) 支持移动端：是 否

6-3 用户非操作系统软件配置要求（兼容至少 2 种及以上主流浏览器）

(1) 非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）

谷歌浏览器 IE 浏览器 360 浏览器 火狐浏览器 其他

(2) 需要特定插件 是 否

如勾选“是”，请填写：

插件名称：（插件全称）

插件容量：M

下载链接：

（3）其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）

学生需要在 Windows7、Windows8、Windows10 系统环境下，使用以下浏览器打开：

浏览器类型	支持 WebGL	不支持 WebGL
Mozilla Firefox 52 及以上版本	支持	
Google Chrome 57 及以上版本	支持	
Apple Safari 11 及以上版本	支持	
MS Edge 16 及以上版本	支持	
360 浏览器	基于（Chrome）内核，并且开启极速模式、智能开启硬件加速情况下支持存在右键划线问题，属于浏览器自身设置原因，关闭浏览器鼠标手势即可	基于（IE）内核，不支持

浏览器：Google Chrome

下载地址：http://dl.hdmoool.com/tools/chrome_x64.exe

6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

（1）计算机硬件配置要求

Web 端用户硬件要求——

处理器：Intel（R）Core（TM）i5

主频：2.4 GHz

内存：8 GB

显卡：NVIDIA GeForce GTX GT740 2G

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无特殊要求，满足能上网功能即可。

6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

(1) 计算机特殊外置硬件要求

无。

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求：●无 ○有

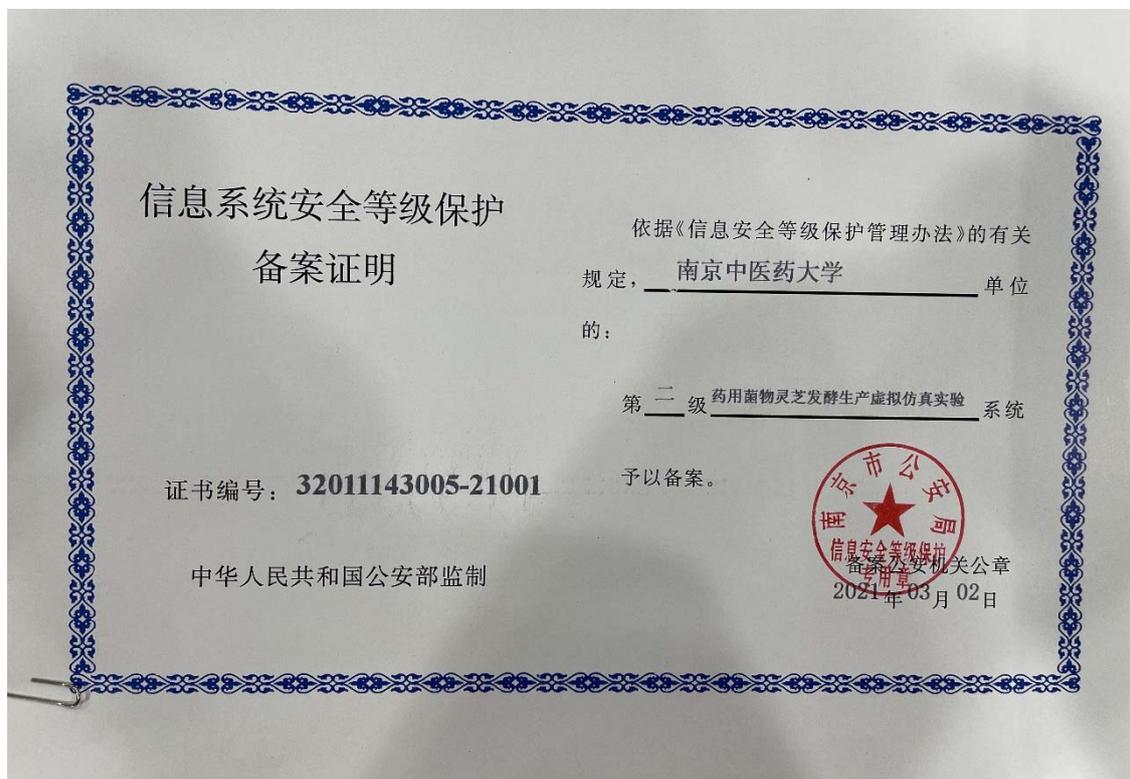
如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

无。

6-6 网络安全（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）

(1) 证书编号：32011143005-21001。

(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明



7. 实验教学技术架构及主要研发技术

指标	内容
系统架构图及简要说明	<p>本系统是基于B/S架构设计的虚拟仿真实验教学平台。系统采用轻量化的开发语言和模块化设计方案，部署简单、使用方便。系统支持分布式部署方案，可随使用情况动态扩充容量，基于容器化部署还可实现自动扩容，无需人为干预。</p> <p>系统包含实验实训、实验报告、实验指南、数据统计、考试系统、帮助中心、收费系统、安全中心、资源中心、协同服务、学问系统和知识角等功能模块。系统除支持虚拟仿真实验外还可上传视频和其它文档资料，支持系统化课程体系学习。系统可对学生实验、学习数据做详细记录并分析每个学生的学习情况和整体学生知识掌握情况，实验报告系统可对学生提交的实验报告进行自动批阅也可由教师人工批阅或学生相互阅评。</p> <p>系统用户可分为教师和学生两种角色。教师可发布实验资源、建设实验课程、设置课程共享信息、可查看发布课程的学习情况、可批阅学生实验报告和考试。学生可报名参与课程，可观看报名课程的视频操作课程的实验资源，可查看个人的学习情况，可评价学习课程、参与课程讨论，可参与实验报告互评等。</p>

实验 教学	<p>开发技术</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> VR <input type="checkbox"/> AR <input type="checkbox"/> MR <input checked="" type="checkbox"/> 3D 仿真 <input type="checkbox"/> 二维动画</p> <p><input type="checkbox"/> HTML5</p> <p><input type="checkbox"/> 其他</p>
	<p>开发工具</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input checked="" type="checkbox"/> 3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/> Maya</p> <p><input type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> Adobe Flash</p> <p><input type="checkbox"/> Unreal Development Kit <input type="checkbox"/> Animate CC</p> <p><input type="checkbox"/> Blender <input type="checkbox"/> Visual Studio</p> <p><input type="checkbox"/> 其他</p>

	运行环境	<p>服务器</p> <p>CPU <u>16</u> 核、内存 <u>32</u> GB、磁盘 <u>1000</u> GB、 显存 <u>16</u> GB、GPU 型号 <u>NVIDIA GRID K1</u></p> <p>操作系统</p> <p><input type="checkbox"/>Windows Server <input checked="" type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他</p> <p>具体版本: centos7</p> <p>数据库</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle</p> <p><input type="checkbox"/>其他</p> <p>备注说明 (需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明)</p> <p>是否支持云渲染: <input checked="" type="radio"/>是 <input type="radio"/>否</p>
	实验品质 (如: 单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等)	<p>单场景模型总面数: 40 万三角面</p> <p>贴图分辨率: 512*512</p> <p>每帧渲染次数: 30 fps</p> <p>动作反馈时间: 1/90 s</p> <p>显示刷新率: 60 HZ</p> <p>分辨率: 4 K</p>

8. 实验教学课程持续建设服务计划

(本实验教学课程今后5年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

(1) 课程持续建设

日期	描述
第一年	灵芝菌丝体胞内外多糖的纯化
第二年	灵芝多糖颗粒剂的制备
第三年	灵芝多糖颗粒剂的质量检查
第四年	灵芝多糖的抗氧化活性测定
第五年	灵芝多糖的动物耐受性等实验

其他描述：在今后5年时间里，不断整合学校和社会资源，利用快速发展的生物技术和信息技术，对本项目进行持续改进和服务，更新虚拟仿真实验教学数据和案例。在完善现有灵芝发酵生产虚拟仿真实验的基础上，进一步扩展灵芝菌丝体胞内外多糖的提取、分离和纯化，灵芝多糖颗粒剂的制备及质量检查，灵芝多糖的含量测定，灵芝多糖的抗氧化活性测定和动物耐受性等实验，丰富虚拟仿真实验内容，进一步优化实验操控实效，为培养学生全面掌握的灵芝产业化应用提供更好的虚拟仿真教学平台。

(2) 面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
第一年	4	500	1	500
第二年	6	1000	2	600
第三年	8	2000	4	800
第四年	10	4000	5	2000
第五年	12	8000	6	4000

其他描述：本项目依托于南京中医药大学中药学类**国家虚拟仿真实验教学中心**，打造一个特色鲜明、网络共享的中医药类专业虚拟仿真综合实验基地。本项目建成后，将在一些中医药兄弟院校进行推广使用，包括中国药科大学，上海中

医药大学，广州中医药大学等，并且有步骤有计划地向中西部地区的中医药大学进行推广，进一步扩大共享范围，力争每年能够增加 3-5 所共享中医药院校，并最终向综合性大学进行普遍推广，**使更多的中医药类相关学生受益。**

本项目在认定后 1 年内继续面向高校和社会免费开放，并提供在线教学服务；**1~3 年内免费开放服务内容不少于 70%；3 年后免费开放服务内容不少于 50%。**

生物反应器虚拟仿真实验可以作为生物制药、制药工程、生物农药和污水处理等领域基本技能的培训内容，因此加强与各实践实习基地，生物医药类企业的合作，共同开发和对接虚拟仿真培训。

与国内兄弟院校进行项目建设思路、经验和成果的资源共享，提高虚拟仿真项目的综合水平，从而进一步提升学生的专业实践能力。

9. 知识产权

软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	药用菌物灵芝发酵生产虚拟仿真实验
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作权人填写栏进行填报。	
著作权人	著作权人类型
南京中医药大学	<input checked="" type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
权利范围	全部权利
软件著作登记号	2020SR765096
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	

10. 诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人（签字）：



2021 年 5 月 28 日

11. 附件材料清单

11.1 课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）

（附后页）

11.2 课程内容学术性评价意见（必须提供）

（附后页）

11.3 校外评价意见（可选提供）

（附后页）

11.4 软件著作权证书（可选提供）

（附后页）