

申报编号：2021-206484

# 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：利用膜片钳探究植物干旱应答虚拟仿  
真实验

专业类代码：0710

负责人：张伟

联系电话：13518626644

申报学校：山东大学

填表日期：2021-07-05

推荐单位：山东大学

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	利用膜片钳探究植物干旱应答虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是●否
实验所属课程 (可填多个)	植物生物学、植物学		
性质	○独立实验课 ●课程实验		
实验对应专业	生物科学		
实验类型	○基础练习型 ○综合设计型 ●研究探索型 ○其他		
虚拟仿真必要性	<input type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input type="checkbox"/> 不可逆操作 <input checked="" type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	●中文 ○中文+外文字幕(语种) ○外文(语种)		
实验已开设期次	共 3 次: 1. 2019-09-01 ~ 2019-12-31、160 人 2. 2020-03-01 ~ 2020-07-31、126 人 3. 2020-09-01 ~ 2020-12-31、140 人		
有效链接网址	(要求填写标准 URL 格式的实验入口网页, 不允许仅为文件下载链接) <a href="http://www.vs.sdu.edu.cn/virexp/swjs">http://www.vs.sdu.edu.cn/virexp/swjs</a>		

## 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	张伟	1973-09-10	山东大学	教学副院长	教授	13518626644	weizhang@sdu.edu.cn	全面策划执行、项目负责人、在线教学服务

								人员
2	于晓琳	1988-09-11	山东大学	实验教学中心秘书	实验师	13455269135	yuxiaolin@sdu.edu.cn	项目实施、在线教学服务人员
3	沈建霖	1989-08-25	山东大学	实验教师	实验师	15098925061	shenjianlin129@sdu.edu.cn	实验设计、在线教学服务人员
4	赵晶	1963-08-14	山东大学	生命科学学院省级生物学实验教学实验示范中心副主	研究员 (Z)	13356658510	zhaojing@sdu.edu.cn	框架设计、在线教学服务人员

5	陈冬花	1976-09-20	山东大学	实验教师	工程师	13455125261	donghua7103@sdu.edu.cn	框架设计、在线教学服务人员
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	魏凤华	1985-09-29	山东大学	资实处科长	实验师	技术指导、技术支持人员		
2	林浴霜	1976-01-25	山东大学	学院教指委秘书	副教授	项目辅助、在线教学服务人员		
3	孟振农	1962-09-23	山东大学	实验教师	副教授	实验设计、在线教学服务人员		
4	王美	1978-02-28	山东大学	植物学党支部书记	副教授	实验改进、在线教学		

						服务人员
5	杜海舰	1988-01-07	山东大学	实验教学中心秘书	实验师	项目实施、在线教学服务人员
6	吴启绿	1995-10-07	北京润尼尔网络科技有限公司	软件开发	技术开发工程师	场景建模、技术支持人员

团队总人数：11 人 其中高校人员数量：10 人 企业人员数量：1 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）

张伟，博士生导师，齐鲁学者特聘教授，山东大学杰出中青年专家，教育部新世纪人才，山东省自然科学杰出青年，山东大学青年教学能手。现任生命科学学院教学院长，九三学社山东大学青岛校区副主委。

教学研究情况：

1、承担的教学课程：多年来讲授核心主干课《植物生物学》、《植物生物学实验》、《植物学》等。

2、主持的教学项目：

(1) 山东大学教学改革重点项目“四结合”基础学科创新型人才培养体系的探索—以植物学为例”；

(2) 山东大学“生命创新实训基地建设”双一流实验室建设项目；

(3) 山东大学实验室管理研究重大项目“基础学科创新型人才培养体系建设与示范”。

3、教学方面奖励：

多次获得实验室工作先进个人、教育拓展优秀个人、山东大学优秀教师等称号。

---

学术研究情况：

1、承担的研究课题：主持包括国家科技重大专项、国家自然科学基金、教育部新世纪人才、山东省自然科学基金、山东大学杰出青年基金、齐鲁青年学者学科建设项目等 10 多项科研项目。

2、发表学术论文：在国际顶尖杂志 Plant Cell, Plant Physiology, Plos Pathogens 等发表学术论文 40 余篇。

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。

第二批国家级一流本科课程推荐

### 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）

#### （1）实验的必要性及实用性

本虚拟仿真项目是解决植物生物学课程教学和实验内容方面的必要环节。植物与环境之间的物质、能量和信息交流，对于植物正常生长发育至关重要。随着植物生理学和植物细胞生物学等学科发展，要求植物生物学课程和实验内容作出调整。前期，山东大学生命科学院植物生物学等课程，进行了教学和实验内容的更新，增添了以植物蒸腾作用和分子调控分子机制方面的内容，以提高本科生在植物细胞细胞转导方面的知识和实验技能。这部分内容，同学们兴趣很大、积极性很高，特别是对于利用膜片钳技术兴趣尤其高。**膜片钳电生理技术可以直观检测细胞跨膜离子转运，因此成为了研究保卫细胞气孔运动参与植物抗旱机理的重要手段。**通过利用膜片钳技术，可以测定在外界刺激下，保卫细胞膜上离子通道电流的变化，最终体现出对气孔开度大小的调控并影响植物蒸腾作用以及抗旱能力。但是，在实际实验教学环节却存在的一系列问题：

① 实验持续的周期长。拟南芥从种子播种、幼苗移栽再到植株发育过程耗时长达一个月以上，且全程需要每天进行浇水、照看等工作，学生需要轮流在上课时间之外完成实验内容，实现难度很大。

② 用于实验的材料选择窗口期短，实验操作难以多次重复。实验需要选择四周左右，大小适宜的拟南芥莲座叶片，最佳时期持续时间较短，存在较强时效性。并且，气孔运动实验中叶片下表皮水压片的制作和膜片钳实验，操作步骤较多，操作过程较为复杂，这使得指导教师不易重复演示，学生实际操作与重复练习也变得异常困难，增加了实验教学的难度。

③ 实验材料的培育空间难以保证。气孔运动实验需要使用大量拟南芥莲座叶片，植物材料需占用较多的实验室温室空间，且难以充足保证。

④ 实验教学成本较高，仪器操作培训周期长。在气孔运动实验和保卫细胞提取过程中，分别需要使用植物激素脱落酸试剂和细胞酶解液，而脱落酸试剂和酶解液价格昂贵。此外，膜片钳实验需要的一系列电生理实验仪器设备，较为精密且价格较高。教学不同于科研，学生人数众多，如果为保证教学质量，就需要较多台套数，这会耗资巨大，建设难度很高。并且，膜片钳等仪器操作达到熟练程度，即便是对于研究生而言，也至少需要培训三个月以上。因此，在前期本实验模块部分，只能让学生进行气孔运动测定实验，而对于保卫细胞膜片钳实验，只能通过仪器示范性讲解，只有选择植物细胞信号转导方向进行科创和毕业设计的极少数同学，能够进入课题组进行细致学习和实验。

因此，对本课程模块建立虚拟仿真实验项目，将有效解决植物生物学线下

实验操作中遇到的诸多困难。通过“利用膜片钳探究植物干旱应答虚拟仿真实验”有效解决了植物拟南芥培育周期长、用于实验的材料选择窗口期短、培养过程中不确定因素过多、仪器设备昂贵精密、仪器操作培训时间周期长、经济成本高等问题，克服了膜片钳仪器平台操作使用的限制，既能为学生传授重要的植物生物学学科前沿知识和研究手段，拓展本科实验教学的深度与广度，提高同学们的学科思维和创新的能力，又能为科学研究提供帮助与支持。同时该实验项目还可以在全国范围内进行共享应用，填补了此项实验项目在本科教学实验中的空白，惠及多个高校院所，尤其是中西部高校，可以在线下无条件实现的情况下学习重要且前沿的知识与技术，在全国范围内都极具推广应用价值。

本项目是基于植物生物学、植物生理学、细胞生物学、电生理学等重要科学研究领域中必不可少的研究对象（模式植物拟南芥）和实验研究手段（气孔运动与膜片钳技术）开展，具有极强的科学和实用价值，在本科实验教学中具有极大的必要性、经典性和可扩展性。

此外，受当前新型冠状病毒引起的肺炎疫情的影响，虚拟仿真项目这种新型的线上教学模式，更显示出其必要性和优越性。能够让学生不受外界条件限制，随时随地开展实验学习，并及时巩固学习效果。

### **(2) 教学设计的合理性**

本虚拟仿真项目以拟南芥为研究对象，合理地设计了膜片钳技术研究植物干旱响应机制的四部分实验模块，化繁为简，一步步引导学生学习蒸腾作用中拟南芥气孔运动的作用；保卫细胞膜离子通道电流的观察、记录和分析；以及脱落酸 (ABA) 调控保卫细胞跨膜离子转运，进而增强学生对拟南芥抗旱机制等重要专业知识内容的掌握，并可以让学生在较少的学时内完成整个漫长、复杂的实验操作过程。

### **(3) 实验系统的先进性**

膜片钳技术是生物学研究领域的先进实验技术，其最早应用于生理学、神经生物学等科学研究中，包含物理、化学、生物、医学等多种学科知识，该技术能够进行细胞水平的生物电记录，通过膜片钳技术记录检测的多种电生理指标，对于临床的医学诊断有重要意义。本项目所涉及的植物细胞跨膜离子转运与信号转导的相关内容，是膜片钳技术在植物科学研究领域的最新应用，代表了学科发展前沿已经从传统植物生物学，向植物细胞生物学、植物生理学和植物分子生物学等延伸，是目前理科学科教学内容革新的要求。但目前国际范围内，仅有少数课题组可以开展膜片钳电生理相关的研究工作。如何引导本科生尽快接触学科前沿知识和相关的实验技能，是目前本科生教学的短板。

本虚拟仿真项目为植物类乃至生物科学类学科前沿相关实验教学提供了新的教学途径和思路。

① 通过虚实结合，打破课堂知识学习和操作实践之间的壁垒；

② 实现了学科基础知识和前沿分子机制的结合，项目融合了一系列干旱胁迫应答机制研究的科研成果，具备较强先进性，体现了科研反哺教学，促进了科研与教学的有机融合，拓宽了本科实验教学的深度和广度；

③ 结合线上学习和线下实验操作检测成效，切实保证实验课程既定目标。

除此之外，当前新型冠状病毒(2019-nCoV)引起的肺炎疫情尚未完全消除，本虚拟仿真项目这种新型线上教学模式，可以降低外部因素干扰，保证学生及时开展实验技术学习，学生可以随时通过线上反复练习，巩固学习效果。同时，针对2019-nCoV病毒的学术研究也是当今科研领域的研究热点，膜片钳技术作为多学科交叉的先进研究技术，本身具有共同性、相通性，学生通过学习本项目实验内容，掌握膜片钳技术后，将有助于向医学等其他学科研究的扩展，实现先进技术的广泛应用。

### 3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

围绕国家对一流课程“两性一度”的建设要求，按照植物生物学学科前沿发展态势和创新型人才培养的目标，本项目将较为前沿的科研内容与技术引入到本科教学当中，使学生可以较早地接触细胞层面的知识和技术，增加创新性实验项目，更新传统教学内容，拓展学生的知识面。本项目已在山东大学植物生物学实验（必修课）实现教学应用。

通过本项目实验学习，应达到如下目标：

(1) 学习拟南芥的形态结构特征及其作为模式植物的原因，掌握播种和培育拟南芥的条件及过程；

(2) 认识气孔运动对植物蒸腾作用的调控，掌握气孔运动测定方法；

(3) 学习利用酶解法提取保卫细胞原生质体的方法；

(4) 认识保卫细胞离子通道对气孔运动调控的作用，学习膜片钳仪器的构成、实验原理及使用流程，掌握保卫细胞膜上慢速阴离子通道电流的记录方法；

(5) 认识生命现象在微观细胞水平与宏观整体水平的一致性，分析离子通道活性与植物抗旱能力的相互作用；

(6) 通过虚拟实验学习，可以完成气孔运动测定等线下操作、数据分析和膜片钳仪器的原理和操作流程；

(7) 培养大学生的科研思维，提高学生的科研素养，让毕业后立志于从事生物科学研究的学生打下理论和实践基础。

### 3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：64 学时

(2) 该实验所占课时：4 学时

### 3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

本虚拟仿真实验，将通过四个模块进行，分别为：①、植物拟南芥种子的播种与幼苗的培育；②、拟南芥的气孔运动实验；③、植物叶片保卫细胞的提取；④、植物保卫细胞阴离子通道电流的测定。通过三维建模和交互式程序设计给学生以沉浸式体验，高度模拟真实实验操作，使复杂的实验操作具体化，易于掌握。这四部分模块总共涵盖 11 个知识点。

#### ① 植物拟南芥种子的播种与幼苗的培育模块。

实验原理：

拟南芥是目前植物学、植物生理学、植物分子生物学等科学前沿最重要的模式植物，也是本科教学实验中理想的植物实验材料。拟南芥的优点是植株小、生长周期短、种子多；拟南芥的形态特征分明，是自花受粉植物，基因高度纯合，用理化因素处理突变率很高，容易获得各种代谢功能的缺陷型；此外，拟南芥繁殖快、易于在实验室培养、是适于实验操作的研究对象。所以，拟南芥是进行植物生物学研究的好材料，是“植物中的果蝇”。

#### ② 拟南芥的气孔运动实验模块。

实验原理：

植物气孔由一对保卫细胞围绕而成，其开闭控制植物水分散失，进而影响植物蒸腾作用及干旱胁迫响应。植物激素脱落酸 (ABA) 是重要的气孔运动调控因子，可以促进气孔关闭，并抑制气孔开放过程，减少水分散失，提高植物抗旱能力。因此，气孔运动实验分为研究 ABA 抑制气孔开放作用的 Opening 实验和研究 ABA 促进气孔关闭作用的 Closure 实验。

#### ③ 植物叶片保卫细胞原生质体的提取模块。

实验原理：

气孔是由一对保卫细胞围绕而成，保卫细胞膜上的离子通道活性与气孔运动息息相关。因此，提取拟南芥表皮保卫细胞是后续利用膜片钳电生理技术，研究保卫细胞膜上离子通道活性的必要前提。

#### ④ 植物保卫细胞阴离子通道电流的测定模块。

实验原理：

干旱诱导植物产生 ABA，激活保卫细胞膜上的阴离子通道，引起阴离子外流，造成细胞失水收缩，气孔关闭。膜片钳技术是一种利用微电极与细胞膜之间形成紧密接触的方式，采用电流钳或电压钳技术对生物膜上离子通道的电活

动进行记录的微电极技术。因此，利用膜片钳技术，记录保卫细胞膜上阴离子通道电流的大小，可以阐释植物对于干旱应答能力差异的具体机制。

知识点：共 11 个

1. 拟南芥种子的播种。
2. 拟南芥幼苗的移植。
3. 拟南芥莲座叶片的处理。
4. 叶片下表皮的撕取和表皮水压片的制作。
5. 气孔图像的获取、开度测量及数据分析。
6. 拟南芥叶片表皮的收集与破碎。
7. 表皮的酶解过程。
8. 保卫细胞的离心与收集。
9. 膜片钳玻璃电极的制备。
10. 阴离子通道记录前的准备。
11. 保卫细胞阴离子通道电流的记录。

(2) 核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述，限 500 字以内）

核心要素的仿真度：

- ① 无菌操作技术是拟南芥种子播种的关键，如操作不当，将会导致培养基染菌，直接影响后续实验模块的进行。本虚拟仿真项目高度还原了超净工作台的构造、使用以及拟南芥种子播种所需的培养基等各种无菌实验材料，并且完整演示了在超净工作台中进行种子播种实验的无菌操作过程。
- ② 气孔运动测定的关键，在于成功撕取拟南芥叶片下表皮并制作水压片。制作好的表皮水压片，需使用倒置光学显微镜进行气孔图像的随机获取。本虚拟仿真项目通过建模和仿真设计，精确的展示了下表皮的撕取、水压片的制作和气孔图像的获取与分析过程等实验操作细节。
- ③ 保卫细胞原生质体的酶解提取过程中，酶解时间和震荡强度是影响原生质体状态的关键。本虚拟仿真项目通过建模和仿真设计，精确的展示出这部分实验的操作重点和细节，让学生能够有直观的认识，便于理解和掌握。
- ④ 在显微镜视野下，要寻找状态良好的、膜边缘齐整的保卫细胞原生质体，最终实现对阴离子通道电流的记录。本虚拟仿真项目通过仿真设计，还原出状态良好的保卫细胞原生质体及阴离子电流，并高度模拟了膜片钳仪器和软件的一系列操作过程。等实验操作细节。

### 3-5 实验教学过程与实验方法

#### 第 1 部分：实验教学过程

##### (1) 基础理论学习。

实验课开始前，要求学生对本实验项目相关背景知识进行预习。基于“虚实结合教学方法”，教师在课堂上对学生进行相关理论的讲解，让学生初步掌握相关理论知识。然后，教师指导学生使用本虚拟仿真实验软件，在线上进一步的学习相关实验意义与原理，了解该实验所包括的具体操作模块（图1）。



图1 虚拟仿真开放式实验教室

## （2）虚拟仿真实验操作。

该实验教学项目所属实验课程为《植物生物学实验》，共计4个实验学时。其中，实验操作模块学习共计3学时，实验课后考核占1学时。通过三维仿真技术，虚拟利用膜片钳技术探究植物干旱应答的实验环境及操作情景，学生可在整个实验室场景和情景中进行交互式操作。

**实验流程为：**登陆系统 → 实验意义目的模块 → 实验目的 → 实验意义 → 实验内容 → 实验操作模块 → 植物拟南芥的播种与培育 → 拟南芥的气孔运动实验 → 植物叶片保卫细胞的提取 → 植物保卫细胞阴离子通道电流的测定 → 实验结束 → 课后考核模式 → 退出系统。（实验项目具体操作流程请见图2）

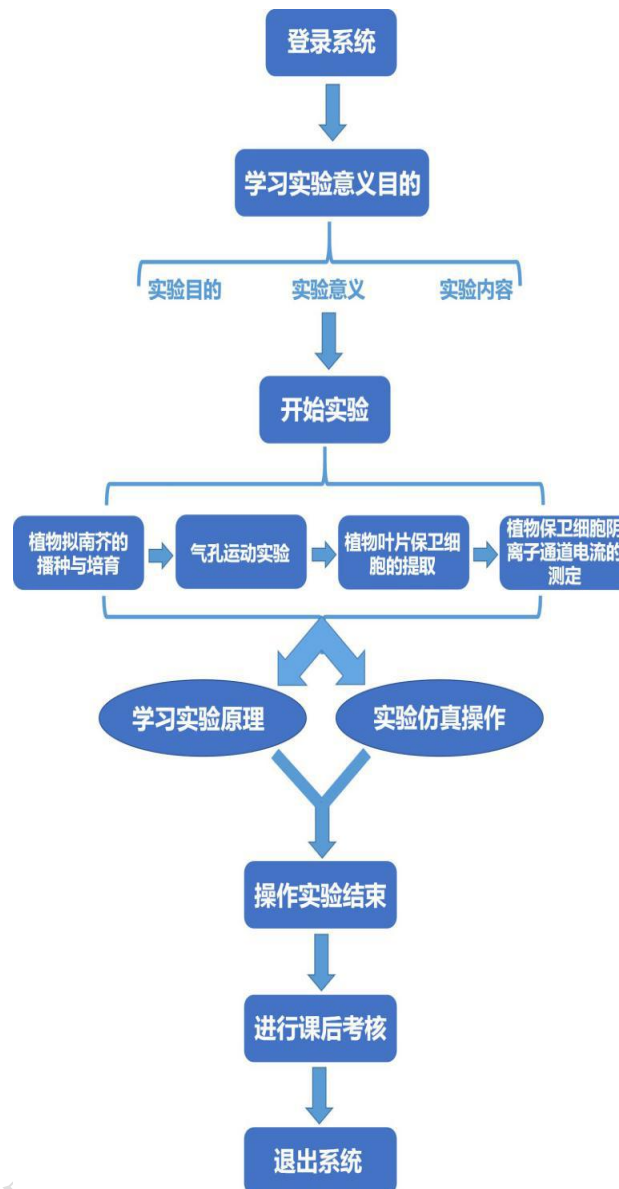


图 2 实验教学过程流程图

在仿真教学平台上，本虚拟仿真实验教学软件一共分为：实验意义目的、实验模式和考核模式 3 个系统部分（图 3）。

图 3 虚拟仿真实验教学的三个系统

**各系统部分的功能如下：**

① 实验意义目的：实验意义目的模式选择之后，将对本项目实验研究的意义和目的进行分别介绍，指导学生充分了解实验背景知识。

② 实验模式：选择实验模式之后，会分为四部分操作模块。在文字和高亮等提示帮助下，人机交互，一步一步引导学生学习并完成整个实验操作。

③ 考核模式：每个实验模块学习结束后，学生将进行实验基础知识的考核，考核结束后系统自动给出分数。

教师进一步利用本虚拟仿真实验软件的实验操作模式，通过“化繁为简与问题启发相结合教学法”，将探究植物干旱胁迫应答机制作为科学问题出发点，化繁为简，使用四部分实验模块（图 4）。在每部分模块中，学生与项目互动，每一步操作有文字和高亮提示，引导学生一步步从每个科学问题出发，找到并学习解决科学问题的实验方法，最终理解影响植物抗旱能力的机制原因（图 5）。

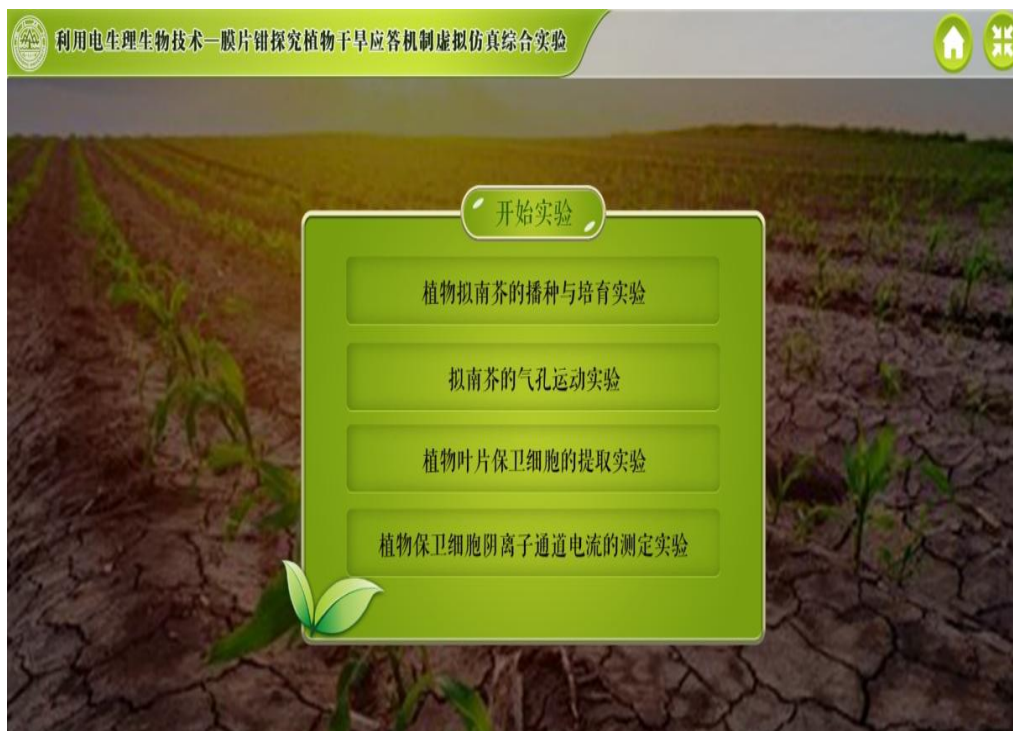


图 4 四部分实验模块的操作学习



图 5 学生在课堂上使用虚拟仿真实验软件

在具体实验模块学习中，教师将结合“探索式教学法”，让学生选择不同的参与植物干旱胁迫响应的功能基因突变体，利用野生型和所选择的突变体株系，进行 ABA 处理条件下的气孔运动实验，通过对气孔拍照，并使用专业生物软件（图 6）对气孔开度进行测量与统计。引导学生学会探究并分析突变体气孔

运动相较于野生型，表现出过敏感还是弱敏感表型。

### (3) 进行实验考核模式。

在每部分模块中设置的多个练习题（图7），既是对每部分科学问题进行的进一步概括与考核，也让学生能够进一步学会思考如何用实验去验证提出的科学问题，得到相应的实验结论，激发学生不断研究、探索，使学习成为积极主动的过程。教师将通过考核模式，检测教学效果，并根据学生普遍存在的问题，进行知识点的巩固和强化。



图6 学生使用专业生物软件测量气孔开度大小



图 7 学生完成实验操作学习后，进行考核

## 第 2 部分：实验方法

本项目分为四部分实验模块，所包含的实验方法如下：

### (1) 植物拟南芥的播种与培育方法。

在无菌超净工作台中，通过无菌操作方法，将拟南芥种子播种到无菌培养基上。经过温室环境生长，成为幼苗后，再将幼苗移植于装有营养土的花盆中，继续培育。

### (2) 气孔运动实验方法。

植物水分散失的快慢，主要是由于叶片气孔开度的变化。因此，通过测定叶片上气孔开度大小，能够反映植物对干旱耐受能力的差异。本项目采用了植物激素脱落酸（ABA）抑制气孔开放作用的 Opening 实验和脱落酸促进气孔关闭作用的 Closure 实验方法，并融合了水压片的制作和气孔开度统计方法，训练学生的动手和结果分析能力。

### (3) 植物叶片保卫细胞的提取方法。

气孔由一对保卫细胞构成，保卫细胞膜上离子通道活性与气孔开度变化相关。因此，提取保卫细胞，是后续利用膜片钳技术，研究保卫细胞膜上离子通道活性的必要前提。本项目使用两步酶解法，通过酶解液的酶解作用，最终游离出保卫细胞原生质体。

### (4) 植物保卫细胞阴离子通道电流的测定方法。

干旱条件下，保卫细胞合成大量脱落酸，激活细胞膜上的阴离子通道，引起阴离子外流，导致气孔关闭。因此，本项目利用膜片钳电生理系统，使用显微操作方法，记录保卫细胞膜上阴离子通道电流大小，阐释植物抗旱能力差异的具体机制。

**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）

(1) 学生交互性操作步骤，共 14 步

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	学会超净工作台的灭菌操作	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，5 分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 5	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告

2	掌握种子的灭菌及脱水处理	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，5分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 5	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
3	掌握种子的播种	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，5分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 5	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
4	学会种子的春化与培育	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，5分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 5	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
5	掌握幼苗的移植与培养过程	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，5分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 5	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
6	掌握拟南芥叶片的繁育方法	1	实际操作时长 ≤ 合理用时，6分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 6	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
7	学会叶片的处理方法	1	实际操作时长 ≤ 合理用时，6分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 6	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告

8	掌握下表皮的撕取与水压片的制作	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，7分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 7	7	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
9	学会气孔图像的获取和统计	1	实际操作时长 ≤ 合理用时，6分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 6	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
10	学会叶片表皮的收集与破碎操作	4	实际操作时长 ≤ 合理用时，10分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 10	10	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
11	掌握保卫细胞的酶解与收集	4	实际操作时长 ≤ 合理用时，10分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 10	10	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
12	掌握膜片钳玻璃电极的制备方法	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，10分；实际操作时长 > 合理用时，得分 = (合理用时 / 实际用时) * 10	10	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
13	学习膜片钳实验操作前的准备过程	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，10分；实际操作时长 > 合理	10	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩

			用时，得分= (合理用时/ 实际用时) *10		<input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
14	掌握原生质体的寻找和阴离子通道电流的记录	2	实际操作时长 ≤ 合理用时，10分；实际操作时长 > 合理用时，得分= (合理用时/ 实际用时) *10	10	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告

### (2) 交互性步骤详细说明

步骤①：学生点击进入植物拟南芥的播种与培育模块。首先进行超净工作台的灭菌：拟南芥种子的播种需要在无菌条件下进行操作，因此在使用超净工作台前，点击75%乙醇瓶，喷洒并擦拭工作台的台面，之后点击紫外灭菌灯按钮，进行灭菌15-20分钟。灭菌结束后，可以打开超净工作台开始种子的播种实验（图8）。

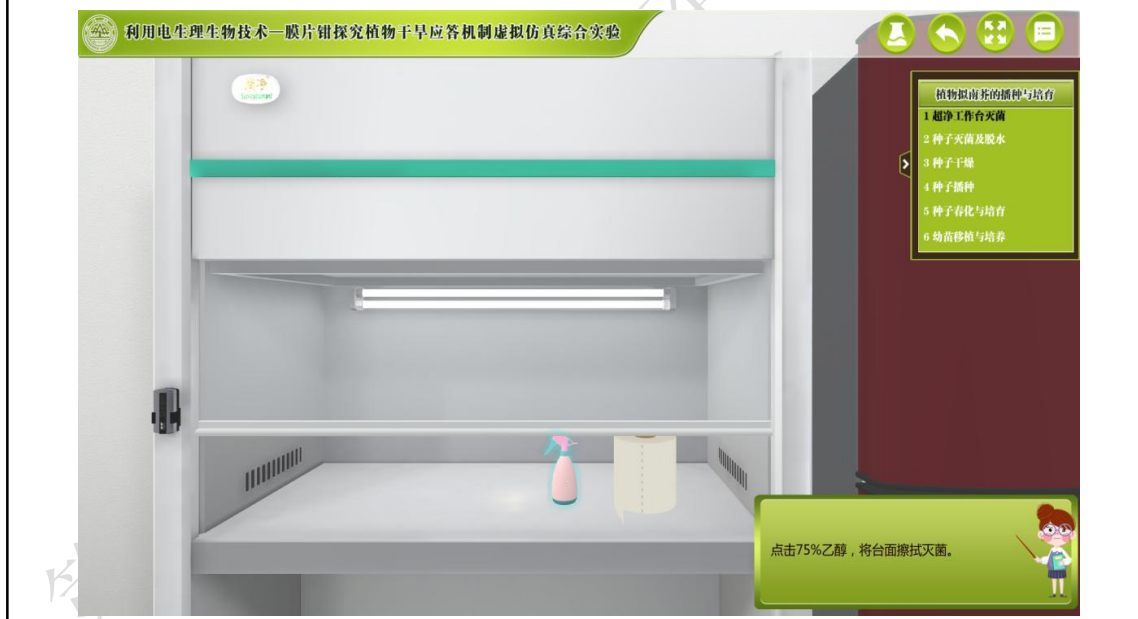




图 8 超净工作台的灭菌操作

步骤②：拟南芥种子的灭菌及脱水处理。首先点击拟南芥种子，置于 1.5 ml 离心管中，在超净工作台内先用 75% 乙醇表面消毒 3 分钟左右，再点击移液器弃去乙醇。之后加入 95% 乙醇，冲洗约 1 分钟（图 9）。





图 9 拟南芥种子的灭菌及脱水处理主要操作过程

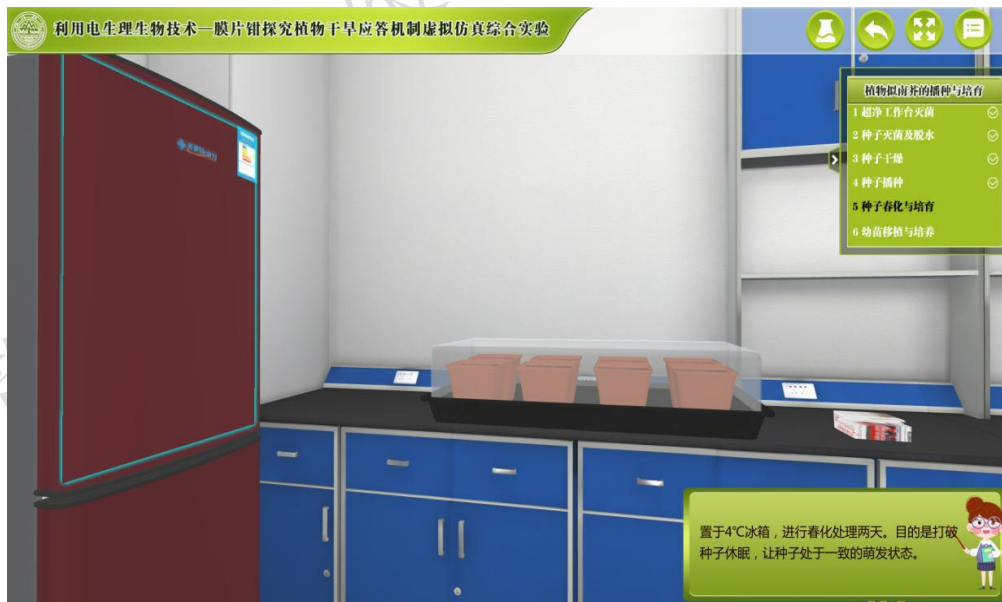
步骤③：拟南芥种子的播种。拟南芥种子干燥后，点击超净台上的无菌牙签，蘸取种子，依次播种到固体 1/2 MS 培养基上（图 10）。





图 10 拟南芥种子的播种操作过程

步骤④：种子的春化与培育过程。点击冰箱，将刚播种后的培养基遮光后，置于4℃冰箱，进行春化处理两天。春化处理结束后，点击温室培养架，将培养基转移到植物生长温室（长日照条件，光照16小时，22℃；黑暗8小时，18℃）中进行继续培养（图11）。



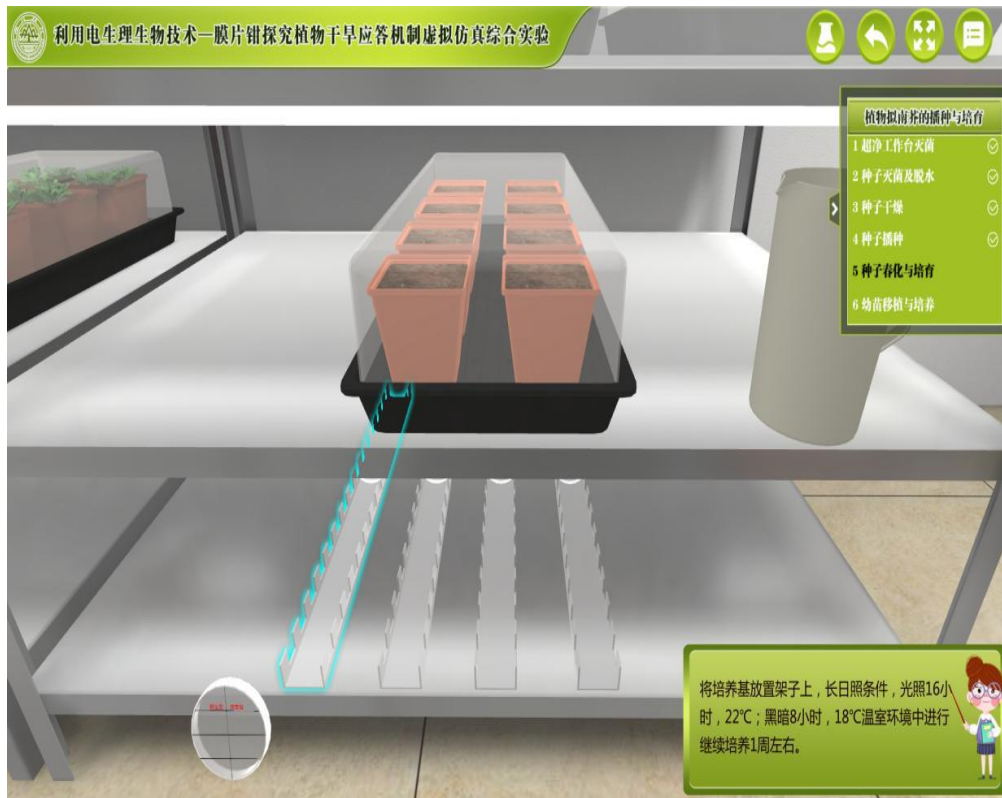


图 11 种子的春化与培育过程

步骤⑤：幼苗的移植与培养。生长一周左右的拟南芥幼苗，移植到装有营养土的花盆中。首先点击竹签，在营养土中戳出四个洞，然后点击尖镊子夹住拟南芥幼苗下胚轴的部位，移到洞中。幼苗移植完后，重新放回温室，进行培养（图 12）。该实验模块学习结束。





图 12 幼苗的移植与培养主要操作过程

步骤⑥：学生回到实验操作主界面，点击进入拟南芥的气孔运动实验模块。拟南芥叶片的孵育：点击 Opening 缓冲液或者 Closure 缓冲液，加入六孔板中。拖拽左侧的剪刀，剪取莲座叶片，拖拽左侧的镊子，将叶片下表皮接触缓冲液。Opening 实验中，在温室条件下，用铝箔纸包住六孔板，避光处理 2.5 小时；Closure 实验中，于温室环境下，光照孵育 2.5 小时（图 13）。

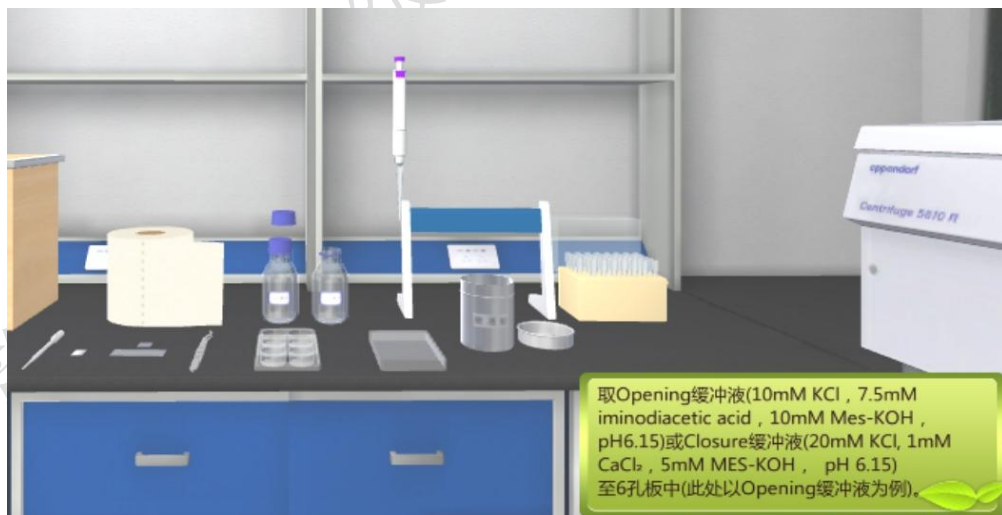




图 13 拟南芥叶片的孵育实验操作

步骤⑦：拟南芥叶片的处理与孵育。拖拽左侧的植物激素 ABA 和移液器，将 ABA 加入孵育叶片的缓冲液中，进行处理。之后，在温室中继续孵育（图 14）。



图 14 拟南芥叶片的处理与孵育主要操作过程

步骤 ⑧：拟南芥叶片下表皮的撕取与水压片的制作。2.5 小时后，点击胶头滴管，在载玻片上滴一滴缓冲液。点击弯镊子，夹取叶片，下表皮朝上置于缓冲液上，用镊子撕取下表皮，除去多余叶肉，用吸水纸吸取多余水分，盖上盖玻片，用吸水纸轻轻按压，除去多余水分，完成水压片的制作（图 15）。



第



图 15 拟南芥叶片下表皮的撕取与水压片的制作主要操作步骤 ⑨：拟南芥叶片气孔图像的获取和统计。点击桌面上制作好的水压片，置于光学显微镜下，在显微镜 400 倍放大倍数下拍照。之后，点击生物统计软件 Image J 分别统计气孔内径的宽和长，并计算出宽/长比率（图 16）。本实验模块结束。





图 16 拟南芥叶片气孔的拍照与统计操作过程

步骤 ⑩：学生点击回到实验操作主界面，点击进行植物叶片保卫细胞的提取模块。拟南芥叶片表皮的收集与破碎：点击镊子，撕取拟南芥叶片下表皮，并将表皮条放在搅拌器里打碎 20 秒左右（图 17）。

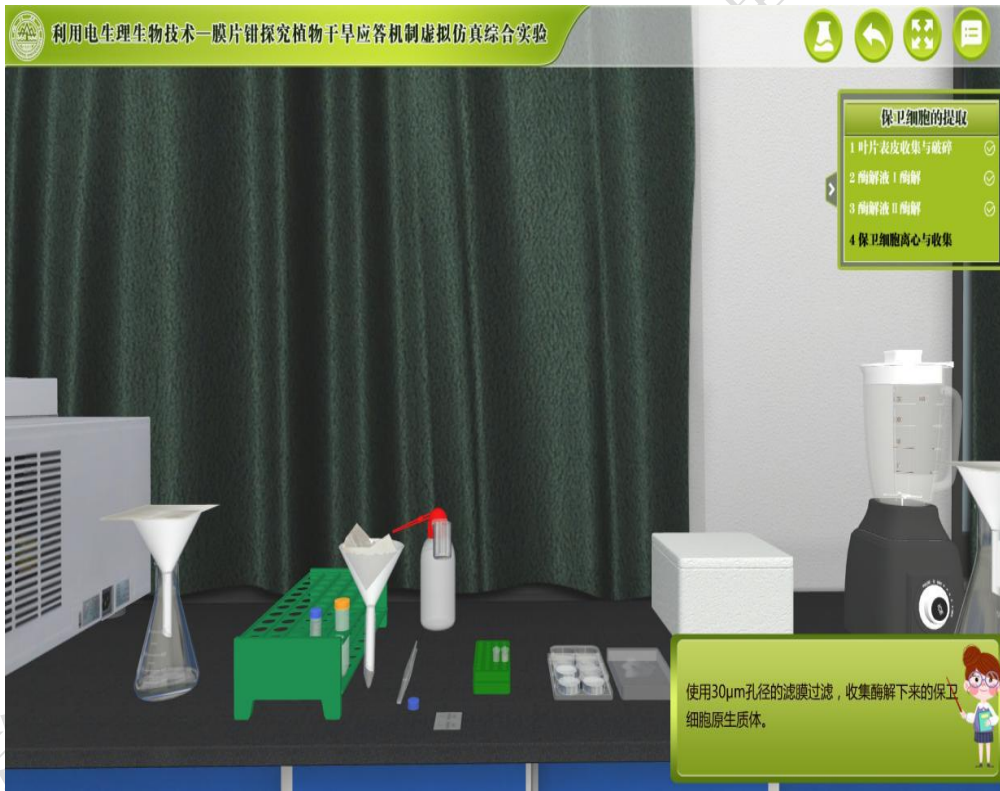
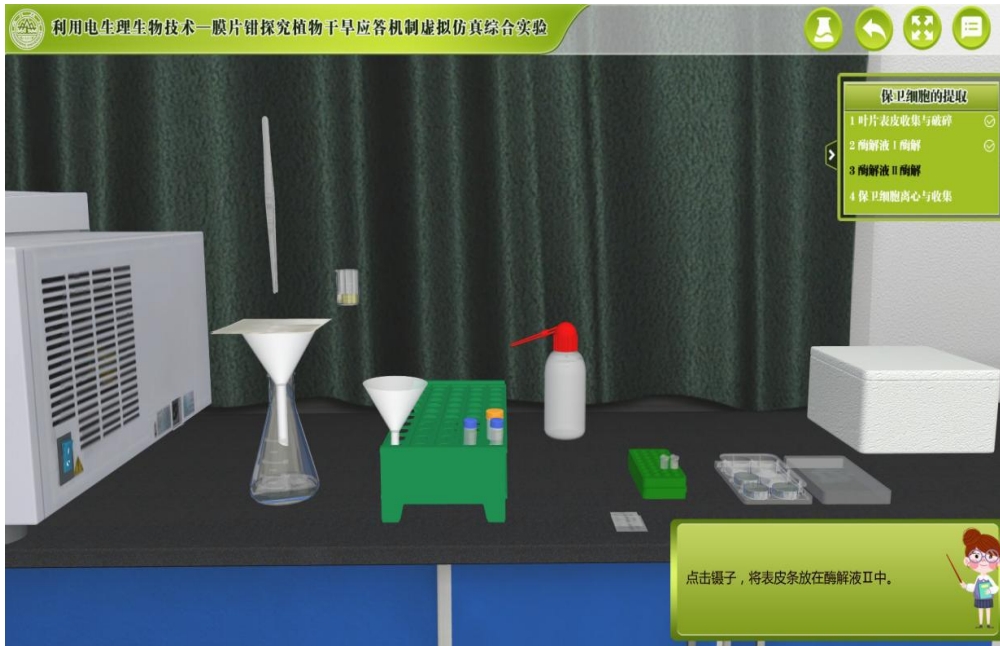


图 17 拟南芥叶片表皮的收集与破碎操作过程

步骤 ⑪：拟南芥保卫细胞的酶解与收集。分别点击镊子，收集破碎后的表皮条，点击装有酶解液 I 的小烧杯，将表皮条放在酶解液里。之后，点击水浴摇床开关，将小烧杯置于水浴摇床上，进行第一步酶解过程。酶解 30 分钟之后，点击小烧杯，从水浴摇床中取出，点击镊子，将表皮条转移到酶解液 II 中继续酶解。酶解结束后，点击离心管，将酶解液转移至离心管中。随后，点击离心机，进行离心与收集，并置于冰上备用（图 18）。本模块实验结束。



第二十九



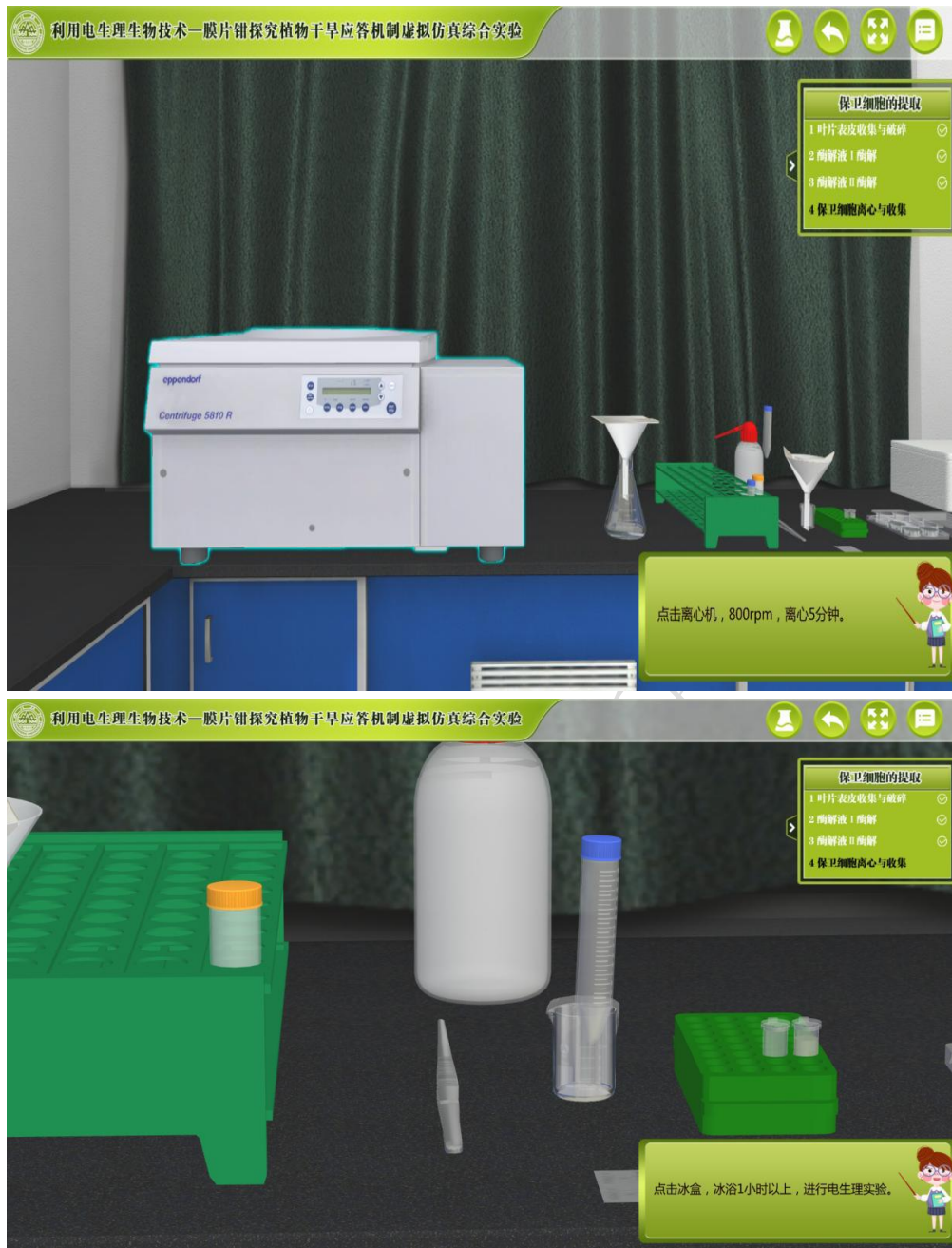


图 18 拟南芥保卫细胞的酶解与收集过程

步骤 ⑫：学生点击回到实验操作主界面，点击进入植物保卫细胞阴离子通道电流的测定模块。膜片钳玻璃电极的制备：点击电极拉制器，将未经加工的玻璃电极拉制成两根具有尖端的玻璃电极。再点击抛光仪，对玻璃微电极的尖端进行进一步抛光处理，使玻璃电极尖端进一步圆润，并变成用于细胞吸附操作的粗度。制作好的玻璃微电极放置在橡皮泥条上，用于后续实验（图 19）。

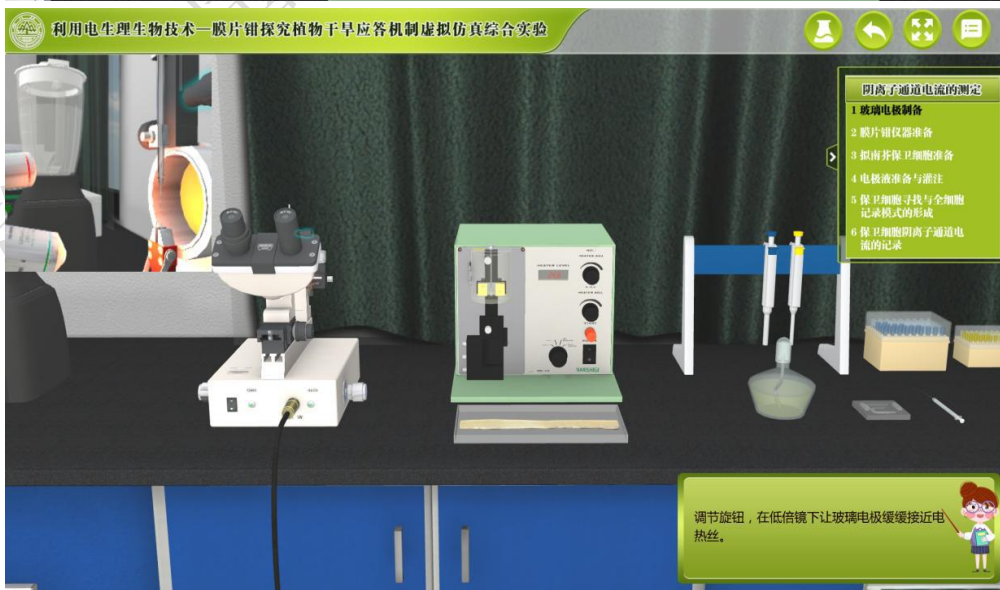
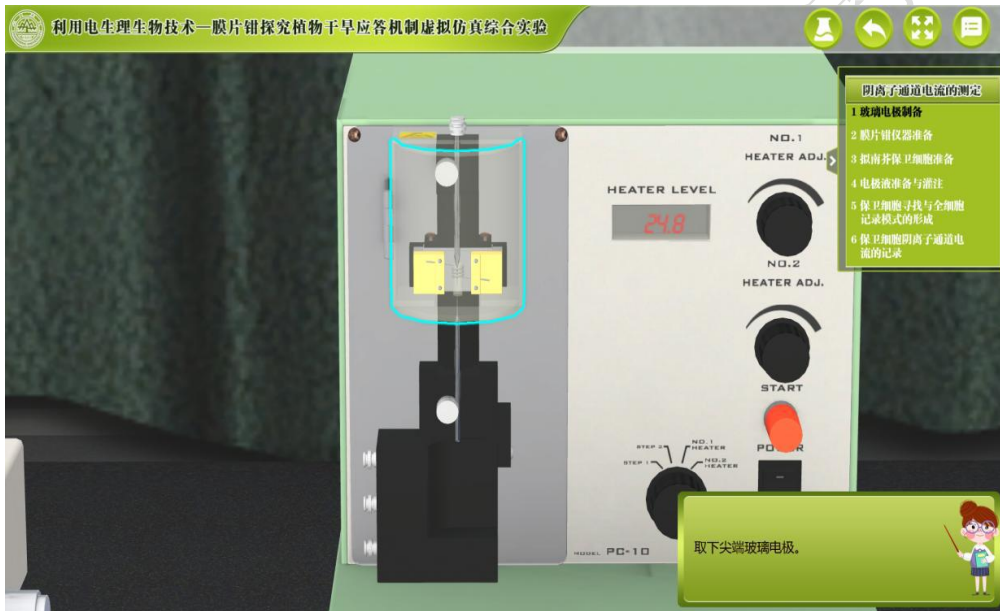


图 19 膜片钳玻璃电极的制备过程

步骤 ⑬：膜片钳实验操作的前期准备。点击显微操作器调至合适量程，同时点击 Bath Solution 溶液加入细胞池中，之后加入一定量提取的保卫细胞溶液，放置于显微镜工作台。依次点击电脑、信号放大器和数模转化器和膜片钳操作软件，打开膜片钳记录离子通道电流所需的仪器和软件（图 20）。



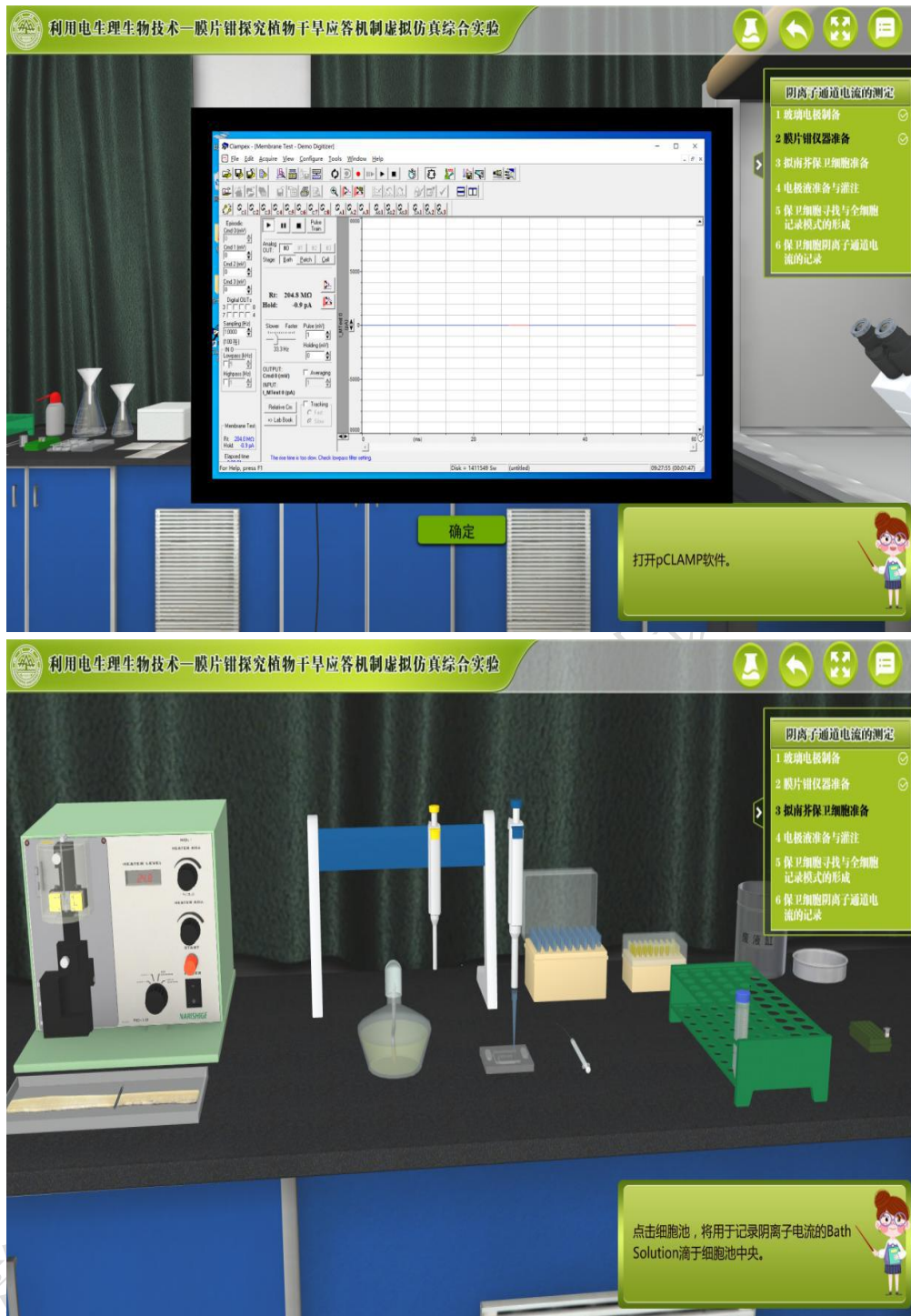
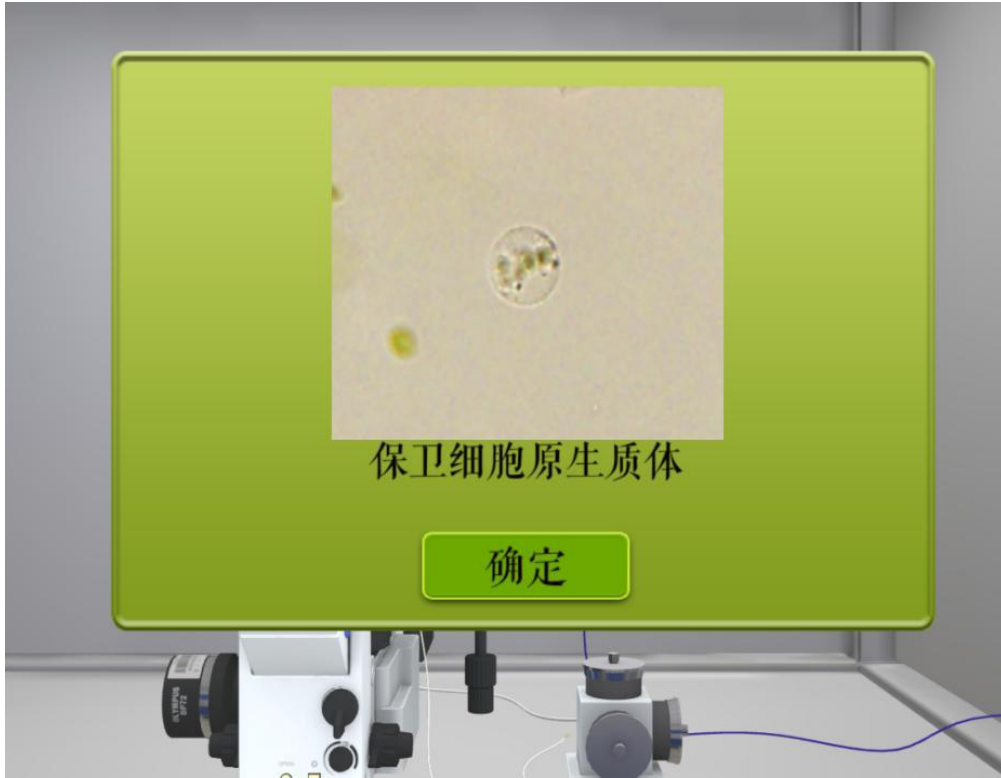


图 20 膜片钳实验操作的前期准备过程

步骤 ⑭：保卫细胞原生质体的寻找和阴离子通道电流的记录。点击显微镜，寻找状态合适的用于阴离子通道记录的保卫细胞原生质体（图 21）。点击显微操作器，使玻璃微电极靠近并吸附到保卫细胞，利用负压的方式，使玻璃电极与保卫细胞质膜之间形成高阻封接，进而形成全细胞记录模式。点击膜片钳软件的记录按钮，记录阴离子通道电流（图 22）。之后，分别关闭仪器和软件。本模块实验操作结束。



第二批国家级一流本科

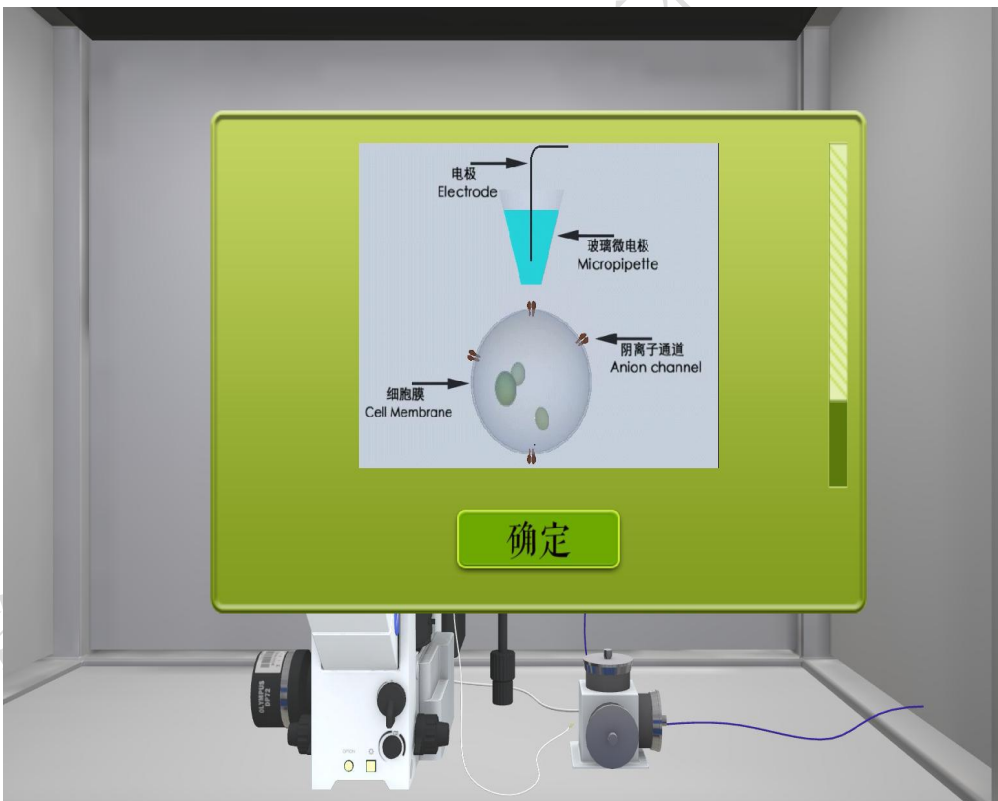


图 21 保卫细胞原生质体的寻找和电极吸附



图 22 阴离子通道电流的记录过程

### 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）

(1) 掌握模式植物拟南芥的播种及培育方法，学会无菌操作技术，这是植物培育是否成功的关键前提，若灭菌过程正确，则种子不会染菌。如果对超净工作台的灭菌过程操作正确，如图 23，要用 75% 乙醇喷洒工作台表面。使用无

菌牙签将拟南芥种子播种到培养基上（图 24）。

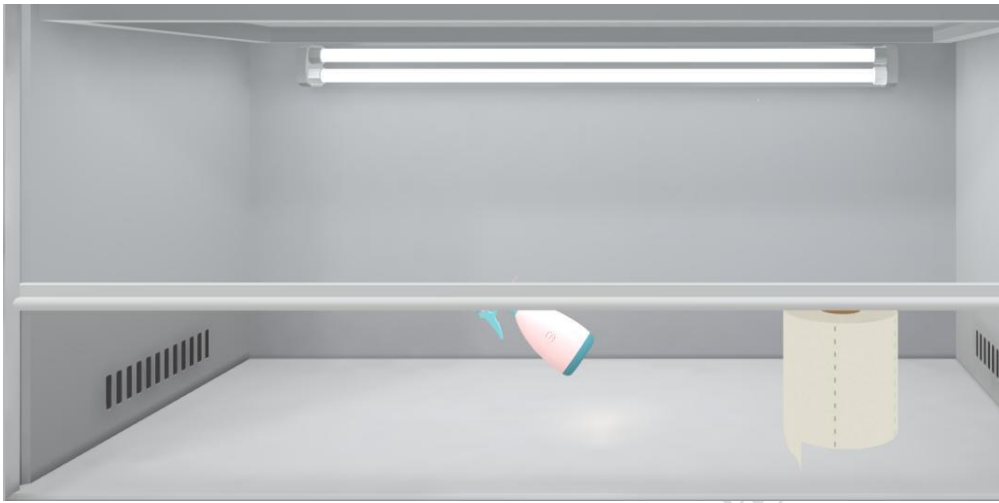


图 23 使用 75%乙醇对超净工作台的灭菌



图 24 用无菌牙签播种拟南芥种子

(2) 通过学习气孔运动实验，掌握下表皮的撕取与水压片的制作等操作技术，理解气孔在植物干旱应答中的作用。如果正确使用弯镊子，则能够成功撕取拟南芥叶片下表皮（图 25），并制作好水压片。

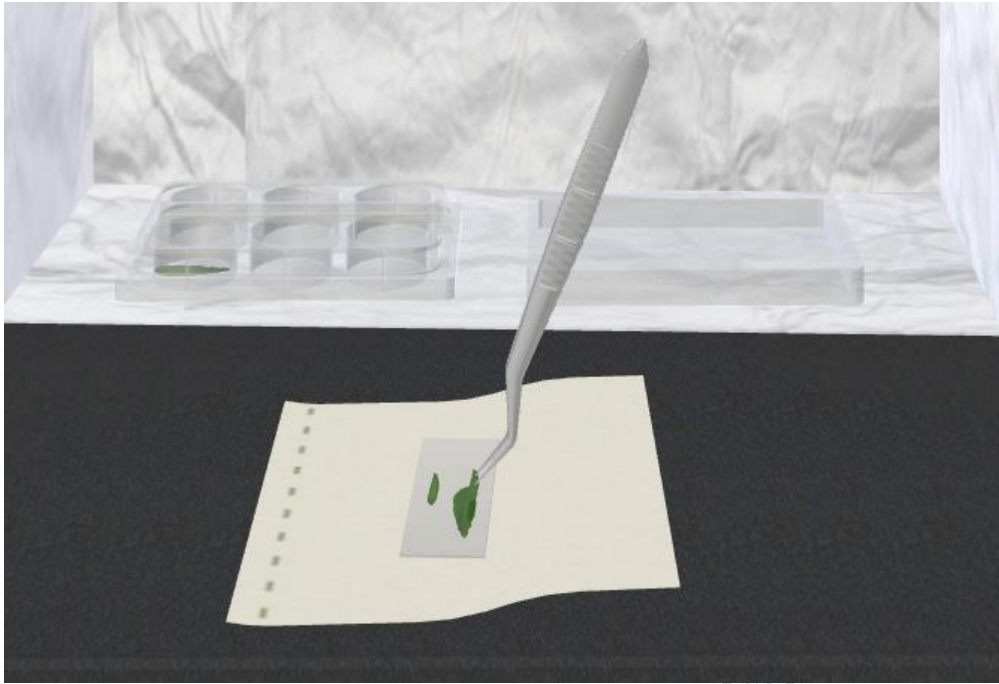


图 25 使用弯镊子撕取叶片下表皮

(3) 学习提取保卫细胞原生质体的方法，了解酶解法酶解保卫细胞的原理。如果正确使用酶解液I和II对拟南芥下表皮进行酶解（图 26），并注意细胞酶解状态观察，则能够成功提取保卫细胞（图 27）。



图 26 使用酶解液酶解拟南芥表皮



图 27 酶解成功的保卫细胞原生质体

(4) 学习膜片钳实验技术，深入了解保卫细胞膜上离子通道活性及离子跨膜转运的重要意义，从而理解植物干旱胁迫响应的机制。如果正确操控电极拉制器（图 28）和抛光仪（图 29），就会制作出符合要求的玻璃电极，对后续保卫细胞膜上电流的成功记录至关重要。

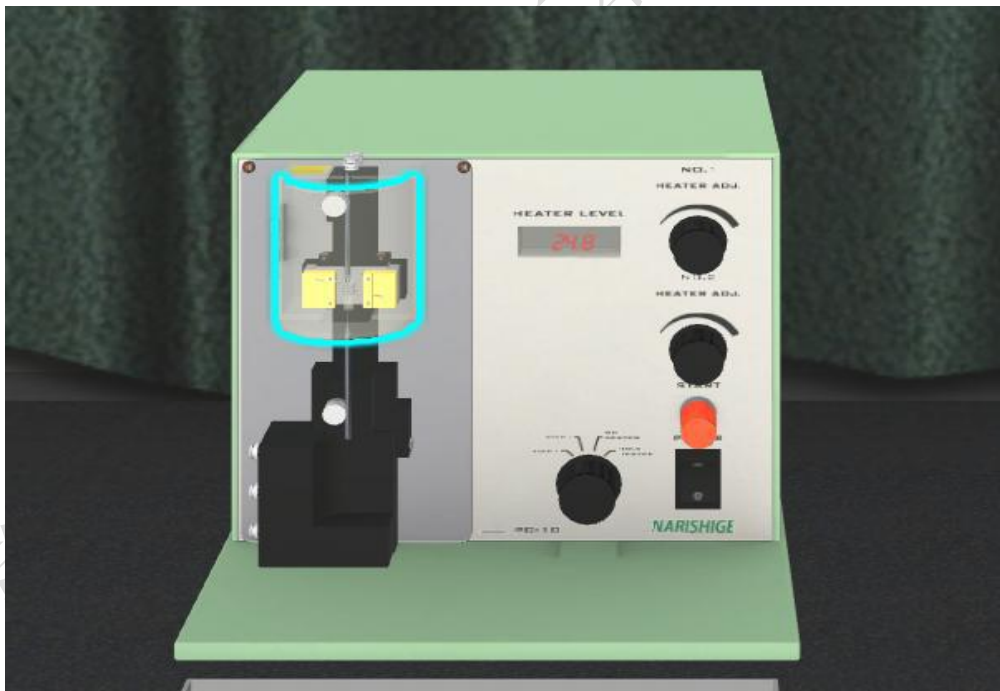


图 28 使用电极拉制器对玻璃电极进行初加工



图 29 使用抛光仪制作符合要求的玻璃电极

### 3-8 面向学生要求

#### (1) 专业与年级要求

生物科学专业，本科一年级、二年级学生； 生物技术专业，本科二年级学生； 生态学专业，本科二年级学生； 生物工程专业，本科二年级学生； 园林专业，本科二年级学生。

#### (2) 基本知识和能力要求

学生应在学习本课程前，对《植物学》、《植物生理学》、《细胞生物学》、《电生理学》等相关生物专业知识有所了解。

### 3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019年9月1日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 908 人，外校 758 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：4，具体专业：生物科学、生物技术、生物工程、生态学，

教学周期：3，学习人数：426

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2019年10月1日

(6) 已服务过的社会学习者人数：1263 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，限 800 字以内）

(1) 很好地解决了科研内容向实验教学引入的困难

本虚拟仿真实验将复杂科研内容引入实验教学，通过三维仿真技术，真实再现了实验室环境，高度还原了超净工作台的构造，温室环境，显微镜以及膜片钳仪器等一系列实验设备的细节。实现了对四部分探究植物干旱应答实验模块的建模仿真。重点展示出气孔运动实验中下表皮的撕取和水压片的制作，提取保卫细胞原生质体的操作过程和对膜片钳仪器的使用方法。让学生对所有实验操作细节有清楚直观的认识，并且能够有效掌握各项实验技术。

(2) 很好地完成了引导学生从理论课程学习向科研思维转变的教学方法创新

本项目主要采用三种教学方式：① 虚实结合教学法；② 化繁为简与问题启发相结合教学法；③ 探索式教学法。

通过线上虚拟仿真实验操作，将有助于学生线下学习效果的巩固和科研实验技能的强化训练，做到知识点的加深和查漏补缺，真正发挥出本虚拟仿真项目的优势，做到以虚补实、以虚促实。同时，将一个复杂的科学问题细化成四个实验部分，并采用以问题为导向的启发式教学、即时人机互动的研讨

式教学，既有验证性实验、又有开放性研究课题的探究式学习方法，教学方式方法灵活多样、新颖有趣，逐步锻炼学生的科研思维能力。

(3) 很好地解决了传统实验教学仅提供实验报告的方式，实现评价体系创新

本项目的评价体系包括虚拟仿真操作实验、线下实际实验操作、实验报告三部分，进行总成绩的综合评定。软件根据预设的实验步骤和标准，以及课后的考核习题进行评定；指导教师根据虚拟仿真课程项目测试结果及实验报告，结合线下实际气孔运动以及原生质体游离等实验操作，综合进行本实验模块相关内容成绩评定。将虚拟仿真实验与传统实验有机结合，切实做到“虚实结合，构建完整实验教学内容体系”，探索了多元化、可持续性的评价体系。同时加强对学生创新能力和科研能力的培养，从而促进科研人才培养质量的提高。

## 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) 测试卷考试系统其他

(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) 10名提供在线教学服务的团队成员；1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)

1) 基于公有云服务器部署的系统，5 M-10 M 带宽 2) 基于局域网服务器部署的系统，10 M-50 M 带宽

(2) 说明能够支持的同时在线人数(需提供在线排队提示服务)

1000

**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

Windows 7 及以上

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

无

(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）

无

**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

无

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无

### 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

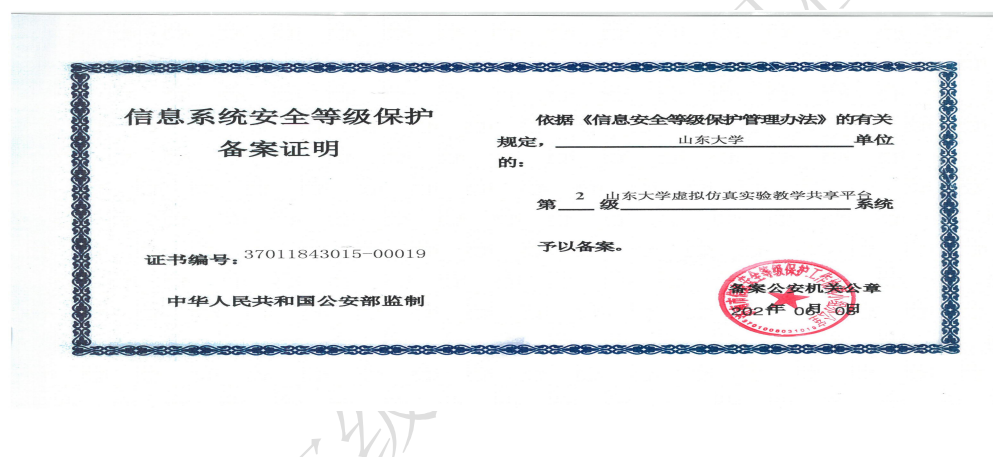
如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

### 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：

37011843015-00019

(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>利用膜片钳探究植物干旱应答虚拟仿真实验教学项目的开放运行依托于开放式虚拟仿真实验教学管理平台的支撑，二者通过数据接口无缝对接，保证用户能够随时随地的通过浏览器访问该项目，并通过平台提供的面向用户的智能指导、自动批改服务功能，尽可能帮助用户实现自主的实验，加强实验项目的开放服务能力，提升开放服务效果。</p> <p>开放式虚拟仿真实验教学管理平台以计算机仿真技术、多媒体技术和网络技术为依托，采用面向服务的软件架构开发，集实物</p>

仿真、创新设计、智能指导、虚拟实验结果自动批改和教学管理于一体，是具有良好的自主性、交互性和可扩展性的虚拟实验教学平台。

如架构图所示，支撑项目运行的平台及项目运行的架构共分为五层，每一层都为其上层提供服务，直到完成具体虚拟实验教学环境的构建。下面将按照从下至上的顺序分别阐述各层的具体功能。

### (1) 数据层

利用膜片钳探究植物干旱应答虚拟仿真实验教学项目涉及到多种类型虚拟实验组件及数据，这里分别设置虚拟实验的基础元件库、实验课程库、典型实验库、标准答案库、规则库、实验数据、用户信息等来实现对相应数据的存放和管理。

### (2) 支撑层

支撑层是虚拟仿真实验教学与开放共享平台的核心框架，是实验项目正常开放运行的基础，负责整个基础系统的运行、维护和管理。支撑平台包括以下几个功能子系统：安全管理、服务容器、数据管理、资源管理与监控、域管理、域间信息服务等。

### (3) 通用服务层

通用服务层即开放式虚拟仿真实验教学管理平台，提供虚拟实验教学环境的一些通用支持组件，以使用户能够快速在虚拟实验环境完成虚拟仿真实验。通用服务包括：实验教务管理、实验教学管理、理论知识学习、实验资源管理、智能指导、互动交流、实验结果自动批改、实验报告管理、教学效果评、项目开放与共等，同时提供相应集成

接口工具，以便该平台能够方便集成第三方的虚拟实验软件进入统一管理。

#### (4) 仿真层

仿真层主要针对该项目进行相应的器材建模、实验场景构建、虚拟仪器开发、提供通用的仿真器，最后为上层提供实验结果数据的格式化输出。

#### (5) 应用层

基于底层的的服务，最终利用膜片钳探究植物干旱应答虚拟仿真实验教学项目与开放共享。该框架的应用层具有良好的扩展性，实验教师可根据教学需要，利用服务层提供的各种工具和仿真层提供的相应的器材模型，设计各种典型实验实例，最后面向学校开展实验教学应用。



实验 教学	开发技术	<input type="checkbox"/> VR <input type="checkbox"/> AR <input type="checkbox"/> MR <input type="checkbox"/> 3D 仿真 <input type="checkbox"/> 二维动画 <input checked="" type="checkbox"/> HTML5 <input checked="" type="checkbox"/> 其他
----------	------	---

开发工具	<input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input checked="" type="checkbox"/> 3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/> Maya <input type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> AdobeFlash <input type="checkbox"/> UnrealDevelopment Kit <input type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input checked="" type="checkbox"/> 其他
运行环境	<b>服务器</b> CPU 6 核、内存 32 GB、磁盘 100 GB、 显存 0 GB、GPU 型号 无 <b>操作系统</b> <input checked="" type="checkbox"/> Windows Server <input type="checkbox"/> Linux <input type="checkbox"/> 其他 具体版本： <b>数据库</b> <input checked="" type="checkbox"/> Mysql <input type="checkbox"/> SQL Server <input type="checkbox"/> Oracle <input type="checkbox"/> 其他 <b>备注说明</b> （需要其他硬件设备或服务器数量 多于 1 台时请说明） <b>是否支持云渲染：</b> ● 是 ○ 否
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）	<b>单场景模型面数：</b> 900000 个； <b>贴图分辨率：</b> 1024px * 1024px； <b>每帧渲染次数：</b> 450calls； <b>动作反馈时间：</b> 1ms； <b>显示刷新率：</b> 高于 30FPS； <b>分辨率：</b> 1920ppi * 1080ppi 其他：

## 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	对本项目进行推广应用，针对学习者的反馈意见，不断优化虚拟仿真软件，改进和完善实验内容
第二年	增加虚拟仿真实验课程，建立电生理膜片钳专业实验教学体系，满足学生对专业性实验技术的学习需求；
第三年	拓展项目应用领域，促进和农、林、环境等其他专业课程的融合，带动相关领域的教学资源优化

第四年	建设并更新开放式虚拟仿真管理平台，打造校级虚拟仿真实验教学中心。同时将本项目实现对全社会的免费开放和推广
第五年	结合国家及学校的创新型人才培养体系，力争建设学科交叉的综合实验教学平台，为本科教学和研究生科研服务，培养具有较强创新、科研及分析能力的拔尖生物学人才

其他描述：

为保障本实验课程的持续建设和应用推广，在前期投入的基础上，计划再投入经费 250 万元（50 万元/年），经费来源主要包括：1、山东大学生命科学学院学科建设经费、2、“四结合”基础学科创新型人才培养体系的探索-以植物学为例”教学改革项目重点项目；3、山东大学生命科学学院实验教学中心建设经费。

① 满足课程需求：计划增加 3-4 门虚拟仿真实验课程，并建立电生理膜片钳专业实验教学体系，帮助学生理解膜片钳技术在生物研究领域的不同应用和学习电生理实验课程相关理论。

② 拓展项目应用领域：通过与其他高校及生物学、林学、农学等研究单位合作，将膜片钳技术在植物干旱胁迫应答研究中的应用和相关实验研究内容，从模式植物拟南芥拓展到经济作物玉米和重要蔬菜白菜中，让本虚拟仿真项目所进行的实验研究更有实际意义和应用价值。

③ 增强虚拟仿真平台对优质资源的共享能力和稳定性，满足更大范围更多人群类型的访问需求。根据本校虚拟仿真实际教学情况，建立校级开放式虚拟仿真教学中心。

④ 开发多种实验学习方式：移动学习作为一种非正式学习方式，是传统教学方式的一种重要补充，本项目将在今后五年内开发线上手机客户端 APP 或者微信小程序等应用，使学习资源更加多样化，更能被高效利用，实现学生随时随地的学习，并结合大数据和人工智能，争取做到构建实时线上互动，支持学生按图索骥式学习，从而实现因材施教的教学目的。

⑤ 本项目将充分结合“四结合”基础学科创新型人才培养体系，通过在植物学课程中的应用与完善，为国家培养更多具有自主学习能力和科研创新能力的复合型拔尖人才。

## (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	3	600	1	200
第二年	4	700	2	300
第三年	5	800	3	400

第四年	6	900	4	500
第五年	7	1000	5	600

其他描述：

### ① 面向高校的教学推广应用计划：

a. 加强学科交流和资源共享：利用膜片钳探究植物干旱应答虚拟仿真实验项目适用于众多高校，且涉及生命科学学院、农学院和环境学院等多个学院，应用广泛。目前本项目已与北京大学、南开大学、河南大学、吉林大学、南京农业大学、中国海洋大学等十所国内著名高校签订了共享协议。与不同学校之间进行虚拟实验资源项目建设思路、经验和成果的资源共享与交流。项目将进一步面向其它高校推广应用，尤其是中西部高校，在全国范围内实现辐射应用。

b. 跨学科交叉，丰富虚拟仿真实验教学内容：通过与其他学科的交叉，综合多媒体、人工智能、人机交互、虚拟现实等数字智能化技术手段，进一步丰富虚拟仿真实验内容，优化探究植物逆境胁迫应答相关实验教学内容，开展本科生科技创新研究项目，促进和提升学生的专业实践能力。

### ② 面向社会的推广应用计划：

今后五年中，本项目将面向中学生，纳入“英才计划”学生培养课程，同时为植物科普展览等相关单位、活动提供科普展示，具体服务计划如下：

a. 利用每年暑假夏令营、科学营、奥赛等活动，对中学生进行科普展示。

b. 本项目将向相关单位提供科普服务和科普展示，通过对拟南芥的种植培育、气孔运动实验以及膜片钳相关实验过程的展示与学习，聚焦农业生产与生态保护，弘扬保护环境意识。

c. 建设实体虚拟仿真实验中心的智慧教室，与继续教育学院合作，面向社会继续教育学员推广此项目，为社会人员间的学习、沟通与交流提供平台，后续将借助山东大学（青岛校区）平台，为生物类人才培养以及社会服务做出贡献。

## 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	利用电生理生物技术—膜片钳探究植物干旱应答机制
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
<p>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，可自行增加著作人填写栏进行填报。</p>	
著作权人	著作权人类型
山东大学	<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
软件著作权登记号	2020SR1246328
<p>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。</p>	
受理流水号	06644188

## 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）：

年 月 日

## 11. 附件材料清单

### 1. 课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）

（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

### 2. 课程内容学术性评价意见（必须提供）

〔由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于3名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。〕

### 3. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）

[取消确认](#)

第一批国家级