

2019 年度国家虚拟仿真实验教学项目申报表

学 校 名 称	扬州大学
实 验 教 学 项 目 名 称	被子植物营养器官建成虚拟仿真实验
所 属 课 程 名 称	植物学
所 属 专 业 代 码	植物科学与技术 090104
实验教学项目负责人姓名	张彪
实验教学项目负责人电话	0514-87979056
有 效 链 接 网 址	http://zwqgjc.yzu.edu.cn

教育部高等教育司 制

二〇一九年七月

填写说明和要求

1. 以 Word 文档格式，如实填写各项。
2. 表格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。
3. 所属专业代码，依据《普通高等学校本科专业目录（2012年）》填写 6 位代码。
4. 不宜大范围公开或部分群体不宜观看的内容，请特别说明。
5. 表格各栏目可根据内容进行调整

1. 实验教学项目教学服务团队情况

1-1 实验教学项目负责人情况					
姓名	张彪	性别	男	出生年月	1966年9月
学历	本科	学位	硕士	电话	0514-87979056
专业技术职务	正高级实验师	行政职务	国家级虚拟仿真实验教学示范中心副主任	手机	13952798099
院系	生物科学与技术学院		电子邮箱	zhangbiao@yzu.edu.cn	
地址	扬州市邗江区文汇东路48号扬州大学生物科学与技术学院			邮编	225009
<p>教学研究情况：主持的教学研究课题（含课题名称、来源、年限，不超过5项）；作为第一署名人在国内外公开发行的刊物上发表的教学研究论文（含题目、刊物名称、时间，不超过10项）；获得的教学表彰/奖励（不超过5项）。</p> <p>项目负责人自1998年开始致力于信息技术与实验教学的融合与应用研究，先后获江苏省教学成果一等奖2项、二等奖1项；获全国多媒体课件竞赛一等奖3项、二等奖2项；获高校生命科学类微课竞赛二等奖1项；先后主持国家级高等学校教学资源建设项目1项、江苏省级教研教改项目4项、质量工程项目1项；以骨干成员参加国家级质量工程项目3项、江苏省级质量工程项目3项。发表实验教学研究论文28篇，其中核心期刊12篇；主编出版数字化实验教材4部、纸质实验教材2部。自主研发、建成了内含4000余套数字化实验教学素材的《生物学实验课程（群）在线教学（学习）平台》，构建了基于网络条件下的实验教学运行模式。相关研究成果不仅在本校得到了应用，还被北京理工大学、新疆大学等引进应用。</p> <p>（1）主持的教学研究课题</p> <p>①生物学实验课程（群）在线实验教与学平台的构建及配套教学模式的研究。教育部新世纪教学研究所（高等学校教学资源建设项目），2009-2011。</p> <p>②生物学本科研究性实践教学体系构建及应用模式研究。江苏省高等教育教改研究立项课题（重点项目），2009-2011。</p> <p>③生物学本科一体化实践教学内容体系及运行模式的构建与应用。江苏省高等教育教改研究立项课题（一般项目），2015-2017。</p>					

④生物学实验教学示范中心建设模式的研究。江苏省高等教育教改研究立项课题（一般项目），2007-2009。

⑤基于网络条件下的《植物学》实验教学模式的创新与实践研究。江苏省高等教育教改研究立项课题（一般项目），2005-2007。

(2) 教学研究论文

①张彪，潘志明，魏万红，等. 植物物种鉴别实验虚拟仿真资源的构建与应用. 实验技术与管理，2018，35(9)：134-136.

②张彪，杜坤，丁海东，等. 植物物种鉴别实验“虚实结合”教学模式的构建. 实验室研究与探索，2018，37(11)：182-185.

③张彪，魏万红，董召娣，等. 基于“三维”空间下的“植物分类学实验”虚实结合教学体系构建. 实验技术与管理，2018，35(12)：187-190.

④张彪，周福才，杜坤，等. “互联网+”下的植物分类学实验教学改革. 高校生物学教学研究(电子版)，2016，6(3)：53-58.

⑤张彪，杜坤，梁建生，等. 生物学实验课程(群)在线考核平台设计. 实验科学与技术，2010，8(2)：157-160.

⑥张彪，杜坤，淮虎银，等. 基于网络条件下的植物学实验课程体系的设计与构建. 高等理科教育，2008，(2)：62-66.

⑦张彪，淮虎银，杜坤，等. 网络条件下的形成性实验教学考核体系的构建. 高等理科教育，2007，(4)：112-115.

⑧张彪，梁建生，魏万红，等. 基于网络条件下植物学立体化实验教材的体系. 实验室研究与探索，2007，26(7)：98-101.

⑨张彪，梁建生，魏万红，等. 植物学网上实验教学平台运行系统的构建. 实验室研究与探索，2006，25(12)：1557-1561.

⑩张彪，淮虎银，吴晓霞，等. 基于网络预约系统的实验教学. 实验室研究与探索，2004，23(1)：4-8.

(3) 获得的教学表彰/奖励

①生物学本科实验教学平台的创新与实践。江苏省教学成果一等奖，排名3/4，2005。

②生物类人才培养的研究性实践教学体系的构建与实践。江苏省教学成果一等奖，排名 3/10，2011。

③生物学虚拟仿真实实践教学体系的构建与探索。江苏省教学成果二等奖，排名 2/10，2017。

④植物形态解剖学实验在线教学平台。全国多媒体课件竞赛一等奖，排名 1/8，2010。

⑤ 植物分类学实验在线教学平台。全国多媒体课件竞赛一等奖，排名 1/8，2014

学术研究情况：近五年来承担的学术研究课题（含课题名称、来源、年限、本人所起作用，不超过 5 项）；在国内外公开发行人物上发表的学术论文（含题目、刊物名称、署名次序与时间，不超过 5 项）；获得的学术研究表彰/奖励（含奖项名称、授予单位、署名次序、时间，不超过 5 项）。

(1) 近五年来承担的学术研究课题

项目名称	年份	本人职责	项目来源
植物 C-型淀粉资源、晶态分布和功能特性研究	2016-2019	参加（排名 2/10）	国家自然科学基金项目
生物形态结构与功能虚拟仿真实验教学资源建设与应用（植物个体器官建成与发育虚拟仿真实验 3D）	2015-2017	主持	高等教育出版社有限公司
双子叶植物营养器官建成虚拟仿真实验（VR）	2018-2019	主持	扬州大学
植物花器官虚拟仿真实验	2019-2020	主持	扬州大学
江苏省虚拟仿真实验教学共享平台（生物）	2017-2019	参加（排名 2/52）、负责具体方案的制定与计划实施）	江苏省教育厅

(2) 发表的学术论文

① **Zhang, B., Guo, K., Lin, L.S., Wei, C.X.** Comparison of structural and functional properties of starches from the rhizome and bulbil of Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb.). *Molecules*, 2018. DOI: 10.3390/molecules 23020427

② **张彪**, 黄金林, 张惠芹, 等. 生物类虚拟仿真实验教学中心可持续发展模式研究. *实验技术与管理*, 2019, 36(5): 220-223.

③ **陈航**, 蔡灿辉, **张彪**, 韦存虚. 植物贮藏组织细胞形态学定量分析方法. 安徽

农业科学, 2015, 43(35): 1-2.

④杜坤, 张彪, 魏万红, 周福才. 生物学虚拟实验室的构建及应用. 实验技术与
管理, 2015, 32(9): 132-136.

⑤杜坤, 张彪, 周福才, 魏万红. 生物类仪器设备在线共享平台的设计与构建.
高校生物学教学研究(电子版), 2015, 5(4): 55-58.

(3) 获得的学术研究表彰/奖励

年份	项目名称	类型	奖励部门	排名情况
2018	生物学数字切片虚拟仿真教学系统	软件著作权证	国家版权局	排名 1
2016	生物学实验课程群在线教学平台(手机版)	软件著作权证	国家版权局	排名 1
2015	植物分类学实验在线教学平台	软件著作权证	国家版权局	排名 1
2011	植物形态解剖学实验在线教学平台	软件著作权证	国家版权局	排名 1
2016	植物物种鉴别实验在线教学平台	高等学校虚拟仿真实验教学资源建设成果二等奖	高等学校国家级实验教学示范中心联席会	排名 1

1-2 实验教学项目教学服务团队情况

1-2-1 团队主要成员(5人以内)

序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	张彪	扬州大学	正高级实验师	国家级虚拟仿真实验教学示范中心副主任	平台架构设计	
2	杜坤	扬州大学	高级实验师	基础实验教学中心主任	系统整合应用、虚拟教学系统管理	在线教学服务
3	韦存虚	扬州大学	教授	无	数字切片 2D 资源的构建与应用	
4	吴晓霞	扬州大学	副教授	无	植物器官 3D 模型的构建与应用	
5	熊飞	扬州大学	教授	副院长	虚拟仿真实验教学	

1-2-1 团队其他成员						
1	黄金林	扬州大学	教授	院长	虚拟仿真实验框架审核	
2	潘志明	扬州大学	教授	处长	虚拟仿真资源建设质量审核	
3	魏万红	扬州大学	教授	国家级虚拟仿真实验教学示范中心主任	虚拟仿真实验资源建设规划	
4	王幼平	扬州大学	教授	副院长	虚拟仿真实验教学	
5	丁海东	扬州大学	副教授	系副主任	制片技术 3D 模型的构建与应用	
6	陈刚	扬州大学	副教授	系主任	虚拟仿真实验教学	
7	王爱勤	扬州大学	高级实验师	无	植物形态 3D 模型构建	
8	孙勤富	扬州大学	实验师	无	植物解剖结构 3D 模型构建	
9	任方哲	扬州大学	实验师	无	植物组织系统 3D 模型构建	
10	杨杰	正德职业技术学院	讲师	无	虚拟现实策划、3D 建模	技术支持人员
11	尹文明	南京盟鼎艺术设计有限公司	项目工程师	无	三维美术资源、3D 建模	
12	孙峰林	南京盟鼎艺术设计有限公司	技术工程师	无	程序开发	
13	牛文秀	南京盟鼎艺术设计有限公司	美术工程师	无	美术制作	
14	张庆宝	扬州天润电脑有限公司	工程师	经理	平台技术策划	技术支持人员
15	张文俊	扬州天润电脑有限公司	工程师	无	程序开发	
16	许延军	扬州天润电脑有限公司	工程师	无	界面 UI 设计	
项目团队总人数：21（人） 高校人员数量：15（人） 企业人员数量：6（人）						

注：1. 教学服务团队成员所在单位需如实填写，可与负责人不在同一单位。
2. 教学服务团队须有在线教学服务人员和技术支持人员，请在备注中说明。

2. 实验教学项目描述

2-1 名称

被子植物营养器官建成虚拟仿真实验

2-2 实验目的

(1) 项目建设的必要性

①是国家乡村全面乡村振兴战略对涉农专业人才培养的新需求

习近平总书记在对全国涉农高校广大师生的回信中指出，中国现代化离不开农业农村现代化，农业农村现代化关键在科技、在人才。如何培养更多知农、爱农的新型人才，确保国家粮食安全，促进山水林田湖草系统治理，推进乡村全面振兴是我们涉农专业当前面临的重要问题。《植物学》课程是生物和涉农专业核心基础课程，而“被子植物营养器官建成实验”是该课程的三大实验教学模块之一。为此，我们以提升大学生综合运用相关知识和技能解决实际问题的能力为目标，依托扬州大学作物栽培学与耕作学国家级重点学科、作物学江苏省优势学科、农学国家级特色专业、生物技术江苏省品牌专业的建设，构建了“被子植物营养器官建成虚拟仿真实验”，为坚定涉农专业大学生爱农、学农，投身“三农”的信心和决心，传承先辈“坚苦自立”的奋斗精神和科学精神，积极投身到脱贫攻坚和乡村振兴的伟大事业中提供有力的支撑。

②是解决实体教学存在“做不了、做不好、做不全、排不进”等问题的需要

被子植物营养器官建成实验包含植物制片技术、被子植物营养器官的细胞组织结构形态特征与空间分布、植物“结构与机能、局部与整体、植物与环境”协同作用的“动态”变化过程等内容。

在单一的实体实验教学中，由于存在以下四个问题，严重影响了实验的教学效果。一是植物生长发育和生理过程动态连续不可见，这部分实验内容做不了。二是植物组织系统空间分布、连接方式不易观察，这部分内容做不好。三是在单次实验中很难获取到典型显微结构标本，这部分内容做不全。四是石蜡制片技术流程繁琐、耗时长（需要 2-3 周），这部分内容排不进教学计划。我们通过《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》的建设与应用，较好的解决了上述问题。

③是搭建科普教育平台，扩展高校职能的需要

教书育人、科学研究和社会服务是高等学校的三大职能，科普教育是这三大职能的延伸和内涵的扩展。基于互联网和虚拟仿真技术开发的开放式实验教学项目，不仅可为科普教育提供充足、优质的教育资源，还可以不受时空限制的提供科普教育场所。本项目的建设与应用可以让更多的市民和从事农业生产的劳动者了解被子植物营养器官建成等方面的基础知识和实验技能，普及农业知识，提高生产效率，推进精准扶贫工作的全方位落实。

(2) 实验目的

构建“学生自主学习+理论教学+实验操作+自主设计+全过程考核”的实验体系，让学生通过“理论教学”充分掌握植物营养器官建成实验的相关知识，通过“虚拟仿真”加强系统感知与知识理解，通过自主设计实验，检验学生对知识掌握的综合程度，提升学生科学思维和创新能力。主要实验目的如下：

①全面掌握石蜡切片的规范化操作流程和注意事项

以石蜡切片的基本操作规范与实施流程所构建的**虚拟仿真制片场景（3D）**为载体，利用沉浸式的学习方法，让学生通过观摩与操作来了解、熟悉和掌握石蜡切片的规范化操作流程的要点、难点和注意事项，全面掌握石蜡制片技术。

②了解并掌握被子植物营养器官的外部形态特征、内部细胞组织结构和组织系统的组成特征和排列方式

以陆地棉（*Gossypium hirsutum* L.）为模式标本，构建了“**仿真棉株（3D）**”，通过观摩、比对、拼接复位等学习方式，让学生了解并掌握被子植物营养器官的外部形态特征、内部细胞组织结构和组织系统的组成特征与排列方式。

③了解被子植物生长发育和营养物质输送的动态过程

通过虚拟仿真动画，全面展现植物生长发育过程及不同时期的主要特征，形象生动的再现营养物质的输送过程及各器官间的变化规律，让学生掌握结构与功能、局部与整体的协同作用过程。

④掌握不同被子植物形态结构的差异及器官构建的异域性

比较不同种类的被子植物、同一植物不同生境条件下组织结构的差异。应用数字切片系统，通过比对式学习，让学生掌握植物与环境、结构与进化的协同作用过程。

⑤检验学生自主设计和完成实验的能力

学生自己提出问题，并利用仿真资源设计实验、完成实验、总结实验，提升学生提出问题、分析问题和解决问题的能力。

2-3 实验课时

(1) 实验所属课程所占课时：**48 学时**。

(2) 该实验项目所占课时：**6 学时**。

2-4 实验原理（简要阐述实验原理，并说明核心要素的仿真度）

(1) 实验原理

被子植物营养器官建成具有特定的发育过程和自然规律。通过制片、观察、拍摄、拼装、复位等手段，在数字技术的帮助下，生成石蜡切片虚拟实验场景以及与自然一致的虚拟营养器官。不仅可以在线完成虚拟制片，还可以实时观察植物体内部的细胞组织“平面”和“立体”结构、各组织系统在植物体内的空间分布、结构与功能的协同作用过程。此外，还可以通过不同发育阶段的植株 3D 模型和不同生境、不同物种、不同发育阶段的数字切片标本，完成对其细胞组织结构的异同性学习和考核，强化学生对植物与环境协作的理解。

(2) 知识点：共 5 个

本实验项目要求学生掌握的知识点主要包含以下内容（图 1）。

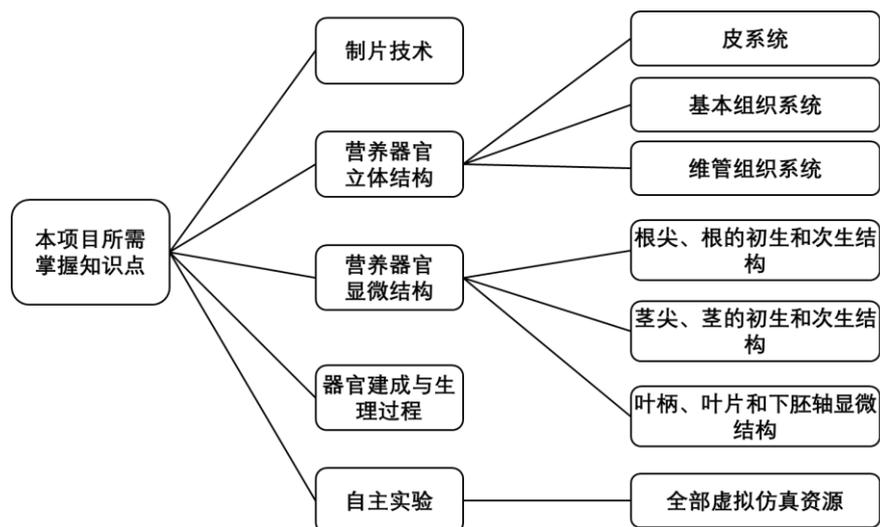


图 1 本实验项目要求学生掌握的知识点

①制片技术

石蜡切片技术“规范化”实验操作流程、制片要点与难点、注意事项。具体包括取材→固定→抽气→洗涤→脱水→透明→浸蜡→包埋→切片→粘片→烤片→脱蜡水化→染色→封片→干燥→保存等步骤。



图2 石蜡制片技术 3D 模型

②被子植物营养器官的立体结构特征

植物营养器官的组成及其细胞组织结构的“立体”特征。包含根茎叶的形态组成，皮系统、基本组织系统、维管组织系统在营养器官中的细胞形态特征、空间分布和连接方式等内容。

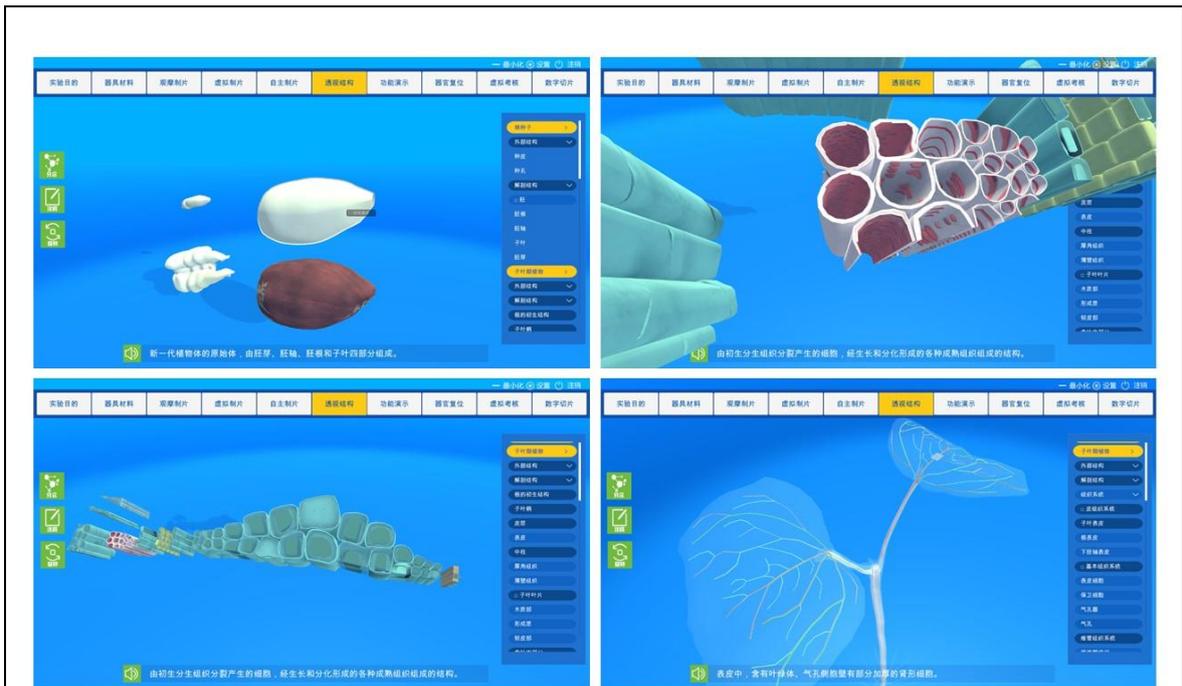


图3 被子植物器官的形态结构组成 3D 模型

③被子植物营养器官的显微结构特征

不同植物、器官、发育时期的“典型”显微结构特征、细胞组织的排列方式。包含根尖、根初生结构、根次生结构、茎尖、茎初生结构、茎次生结构、叶柄结构、叶片结构等内容。

●根尖的显微结构特征

通过“数字切片”模块，使学生直观了解并掌握根尖各分区（根冠、分生区、伸长区、成熟区）的细胞组成特征及其排列方式。

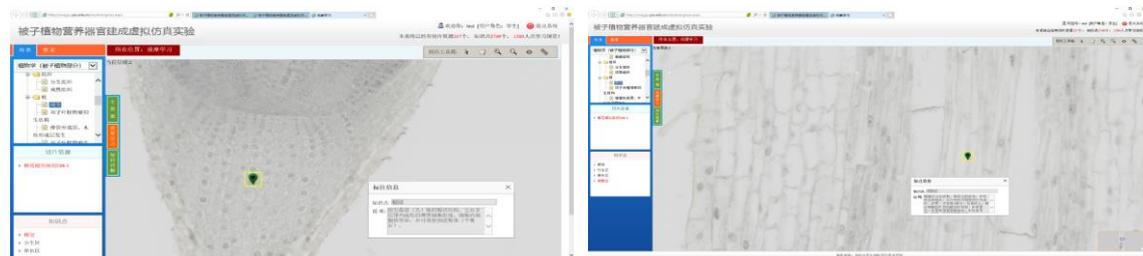


图4 根尖纵切面“数字切片”标本

●根初生结构的显微结构组成

通过“数字切片”模块，使学生直观了解并掌握根初生结构（表皮、皮层、中柱）在根中的分布位置，及其各部细胞的形态特征与排列方式。

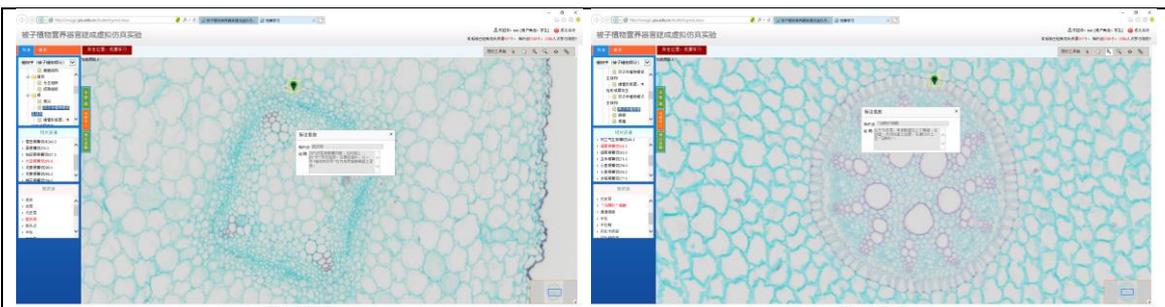


图5 根横切面（示初生结构）“数字切片”标本

●根次生结构的显微结构组成

通过“数字切片”模块，使学生了解并掌握根次生结构（木栓层、木栓形成层、栓内层、次生韧皮部、维管形成层、次生木质部、初生木质部）在根中的位置分布，及其各部细胞的形态特征与排列方式。



图6 根横切面（示次生结构）“数字切片”标本

●茎尖的显微结构特征

通过“数字切片”模块，使学生了解并掌握组成茎尖（分生区、伸长区、成熟区）的细胞组成特征及其排列方式。

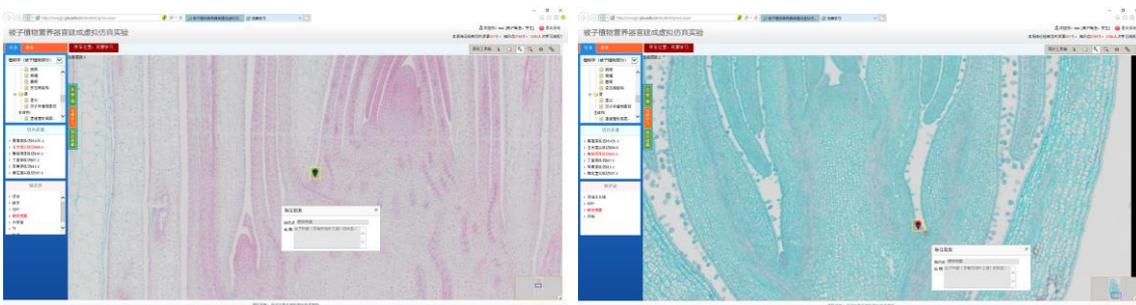


图7 茎尖纵切面“数字切片”标本

●茎初生结构的显微结构组成

通过“数字切片”模块，使学生了解并掌握茎的初生结构（表皮、皮层、维管束、髓）在茎中的分布位置及其各部细胞的形态特征与排列方式。

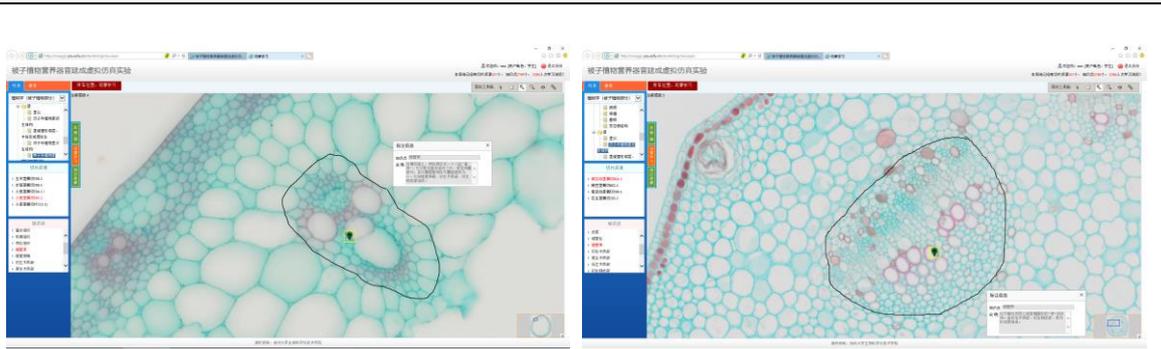


图 8 茎横切面（示初生结构）“数字切片”标本

● 茎次生结构的显微结构组成

通过“数字切片”模块，使学生了解并掌握茎的次生结构（木栓层、木栓形成层、栓内层、次生韧皮部、维管形成层、次生木质部、初生木质部）在茎中的分布位置，及其各部细胞的形态特征与排列方式。

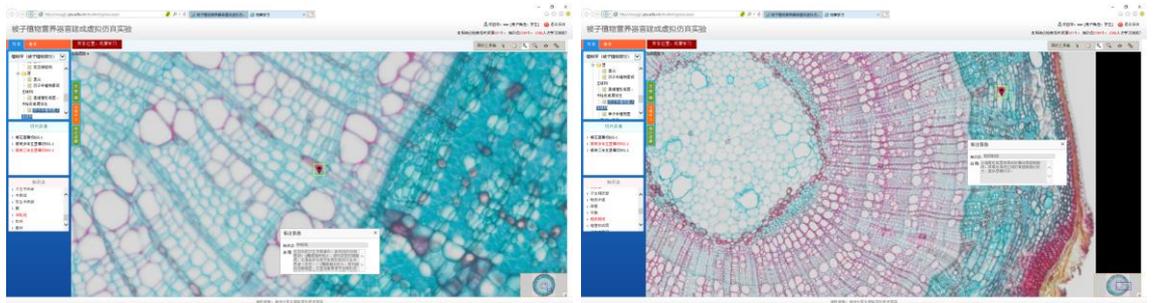


图 9 茎横切面（示次生结构）“数字切片”标本

● 叶柄的显微结构组成

通过“数字切片”模块，使学生了解并掌握叶柄结构（表皮、基本组织、维管束）在叶柄中的分布位置，及其各部细胞的形态特征与排列方式。



图 10 叶柄横切面“数字切片”标本

● 叶片的显微结构组成

通过“数字切片”模块，使学生了解并掌握叶片结构（表皮、叶肉、叶脉）在叶片中的分布位置，及其各部细胞的形态特征与排列方式。

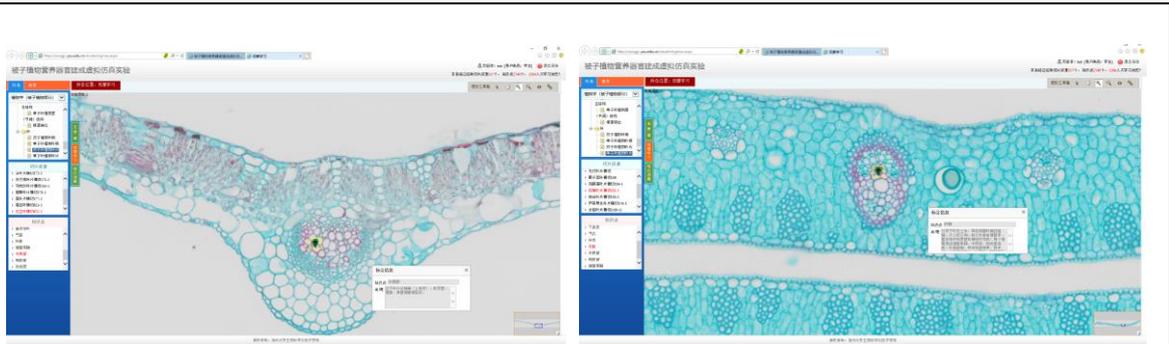


图 11 叶片横切面“数字切片”标本

④被子植物营养器官的建成与生理过程

●下胚轴的形态结构组成

下胚轴的皮系统、基本组织系统、维管组织系统各部分细胞形态特征、空间分布和连接方式等，立体、动态体现维管组织（初生韧皮部与初生木质部）在下胚轴部位如何通过分离、扭曲、靠合，实现从根中的辐射状排列方式过渡到茎中的内外排列方式。

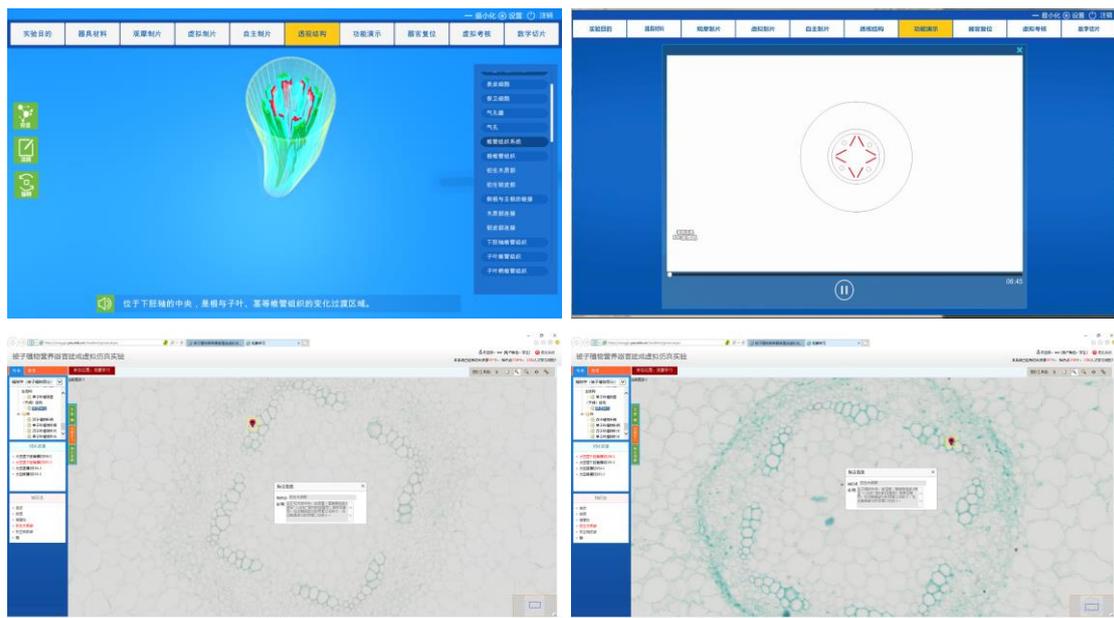


图 12 下胚轴的组织系统 3D 模型、“根茎转位”动画和“数字切片”标本

●形成层的发生与形成

形成层的（维管形成层、木栓形成层）发生部位与演化和发展过程，包括“静态”显微结构特征、“动态”的细胞组织的形态变化特征等内容。

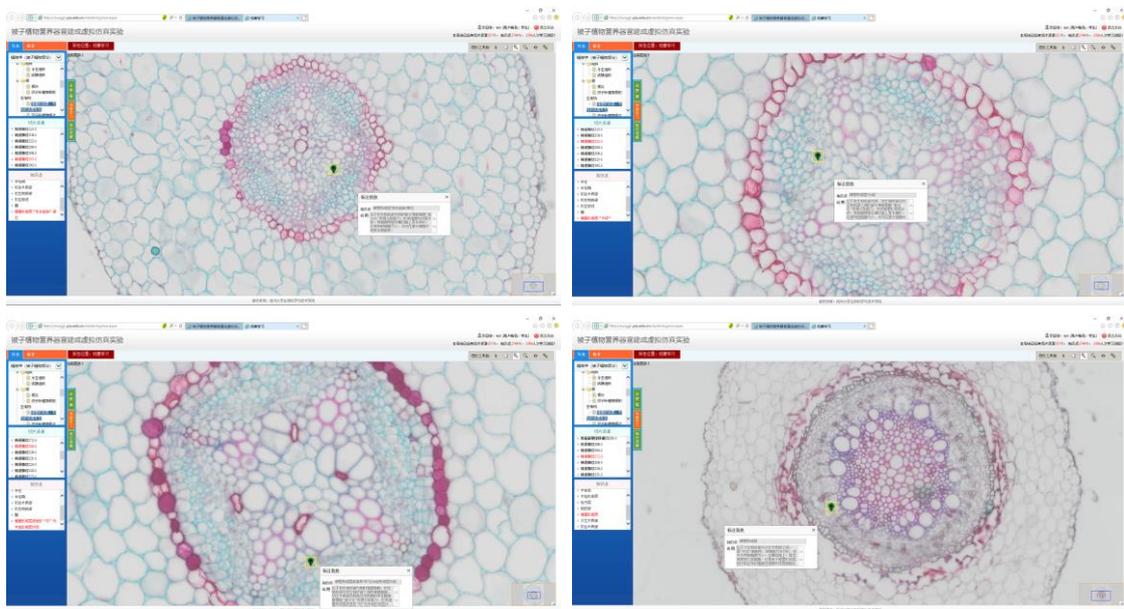


图 13 根横切面（示形成层的发生与形成）“数字切片”标本

●结构与功能的协同作用

植物体内养分输导、种子萌发、根茎叶生长过程、植物结构与功能适应性的协同作用、地上器官与地下器官的协同生长关系等内容。



图 14 结构与功能“协同作用”情景动画 3D 模型

⑤自主实验

利用虚拟仿真资源，让学生自主提出问题，并自主设计实验、完成实验、总结实验，从而提升学生综合运用相关知识和技能解决实际问题的能力，实现对实验技能和相关知识的整合应用。

(3) 核心要素的仿真度

①沉浸式的互动体验

使用 Maya、3Dmax、Zbrush、Substance Painter 等软件制作高度仿真的植物切片（石蜡切片）3D 实验室场景、仪器设备与器具材料 3D 模型，再应用 Unity3d 引

擎，结合虚拟现实（VR）技术，开发出了**沉浸式的植物制片技术虚拟仿真操作流程**。实验者通过佩戴 VR 头盔和数据手柄，实现与实体实验室内部布局、仪器设备操作和器具材料使用的完美契合。

②来源于真实植株的图形仿真

在 3D 仿真棉株模型的构建中，以不同发育阶段（种子萌发期、子叶期、三叶期、八叶期）棉花植株实物为模板，使用 Maya、3Dmax、次时代贴图技术等软件和技术高度仿真棉花植株的外部形态、解剖结构和组织系统。如根、茎、叶 3D 模型的纵横切面中不同类型细胞的形态、层数、排列和连接方式等均以真实数据为依据。

③经典显微结构标本的原样再现

以 43 个物种、187 张经典被子植物营养器官显微结构玻片标本为材料，应用电子地图技术和玻片标本全自动显微扫描技术，建成了“**真实、原样再现**”的数字切片系统。

2-5 实验仪器设备（装置或软件等）

（1）在线实验教学设备

《双子叶植物营养器官建成虚拟仿真实验》教学系统；智能手机、平板、PC、VR 数据头盔与手套。

（2）实体实验教学设备

光照培养箱、石蜡切片机、生物显微-数码互动教学系统（内含显微镜、内置摄像头、互动教学软件）、恒温干燥箱等。

2-6 实验材料（或预设参数等）

实验材料包含制片技术、被子植物营养器官建成与生理过程等内容，涉及的参数如下：

（1）制片技术

虚拟仿真操作对象为石蜡制片虚拟仿真流程，预设参数包括石蜡制片流程中固定液、脱水剂、透明剂等试剂类型的选取、器具的选用和所涉及仪器设备的操作参数等（如运行温度、运行时间、切片厚度和角度等）。

（2）数字切片系统

虚拟仿真操作对象为被子植物营养器官数字切片，主要功能是虚拟显微镜下观察显微结构标本，预设参数包括生物显微镜放大倍数、标尺、视野转换等。

2-7 实验教学方法（举例说明采用的教学方法的使用目的、实施过程与实施效果）

针对被子植物营养器官建成实验内容复杂、连续、动态、抽象等特点，提出了“学生自主学习+理论教学+实验操作+自主设计+全过程考核”相结合的实验教学体系，形成了包括“制片技术、观摩比对、器官复位、问题探究”依次递进的知识层次。在实验过程中，采用沉浸式、交互式、比对式、探究式等多种教学方式，完成对整个实验教学的学习和考核。

（1）沉浸式

①使用目的

应用三维仿真技术，制作石蜡制片 3D 实验室场景、植物器官建成和生理功能虚拟场景，结合虚拟现实（VR）技术，引导学生熟悉石蜡制片流程和植物营养器官的立体形态结构组成。

②实施过程

在虚拟场景中，学生通过对相关仪器设备、试剂耗材和植物材料 3D 模型的观摩浏览、虚拟模仿、仿真练习的学习，了解、熟悉与掌握石蜡切片的要点、难点和注意事项及植物结构与功能、局部与整体的协作过程。

③实施效果

沉浸式情景学习能够将石蜡切片技术制片场景和植物体的形态结构组成真实再现，实现对石蜡制片流程、植物发育和生理过程动态变化过程的理解和掌握。

（2）比对式

①使用目的

利用三维虚拟仿真棉株和数字切片系统，比对并掌握不同种类的被子植物、同一植物不同生境条件下的组织结构异同性。

②实施过程

在虚拟软件中，通过观摩、比对、拍摄等学习方式，让学生掌握不同物种、不同器官、不同生境条件下的经典组织结构的异同性。

③实施效果

通过比对式学习，让学生掌握植物与环境、结构与进化的协同作用过程。

(3) 互动式

①使用目的

互动式教学方法是通过对人机交互、师生交互和生生交互的学习方式，完成对不同细胞组织结构在不同营养器官中的空间分布和排列学习。

②实施过程

在器官复位、虚拟考核和交流讨论模块中，学生可以通过对细胞组织结构 3D 模型的调用、拼装、复位、交流、讨论等方式完成不同细胞组织结构在植物体内的空间分布和排列方式的学习和考核。学生针对观摩中发现的问题和关注的热点，开展学生与老师、学生与学生之间的讨论交流。

③实施效果

通过互动式学习方式，实现对不同细胞组织结构在植物体内的空间分布和排列方式的学习和考核。

(4) 探究式

①使用目的

探究式教学方式是引导学生利用项目中的虚拟资源，提出问题、设计实验、完成实验、总结实验，提升学生的科研素养和创新思维。

②实施过程

通过对不同物种、不同生境下的数字切片标本的观摩，提出在植物器官建成中所涉及到的与环境、发育、功能等协同作用的成因问题，并设计实验方案并实施，并收集整理数据，完成项目实验报告并提交。

③实施效果

利用探究式教学方式，解决了实体实验中仅停留在认识阶段的问题，提升了学生提出问题、解决问题的能力，体现了本项目的创造性、挑战性和高阶性。

通过上述虚拟仿真实验教学，可供学生用户直观了解植物器官建成过程中植物与环境、局部与整体、机能与结构、静态与动态的协同。在确保实验教学内容完整开出的同时，激发了学生对本实验学习的兴趣，提升了学生自主学习能力和创新能力。

2-8 实验方法与步骤要求（学生交互性操作步骤应不少于 10 步）

(1) 实验方法

用户借助电脑、平板、智能手机、VR 穿戴设备等网络终端设备，访问《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》教学系统（网址：<http://zwqgjc.yzu.edu.cn>），依据各自的身份认证、登录、进入，点击相应的功能模块，就可对《被子植物营养器官建成实验》在线开展虚拟沉浸、观摩比对、人机交互等方式的学习和考核。



图 15 “项目”在不同终端设备上的应用

(2) 实验流程

本项目采用虚实结合的实验教学方法，其详细实验流程如下图所示。

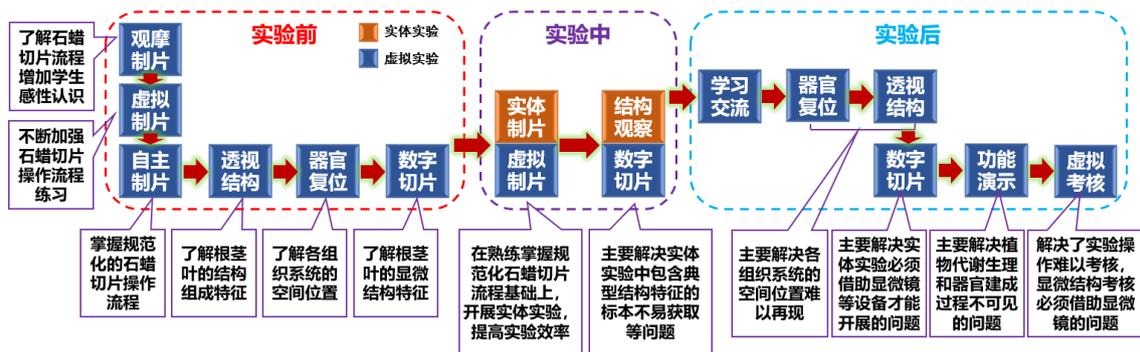


图 16 实验流程图

(3) 交互性操作步骤

实验操作分为 4 阶段，共有 14 大步骤，388 步交互式操作。

阶段一、实验背景及介绍

本阶段包括实验目的和器具材料两个模块，步骤 1 和步骤 2。实验目的中阐述了本实验开设的目的和教学目标。器具材料中介绍了本实验需要用到的仪器设备、器具、试剂和材料。

步骤 1：从实验主界面登录账户开始实验

学生从本项目的主界面（图 1）登陆后，即可进入系统开始学习，如图所示。



图 17 《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》（3D 部分）登录界面

步骤 2：了解实验背景

正式开始实验前，学生分别进入实验目的和器具材料模块，了解本虚拟仿真实验项目的教学目标，实验所用器具、试剂和材料。

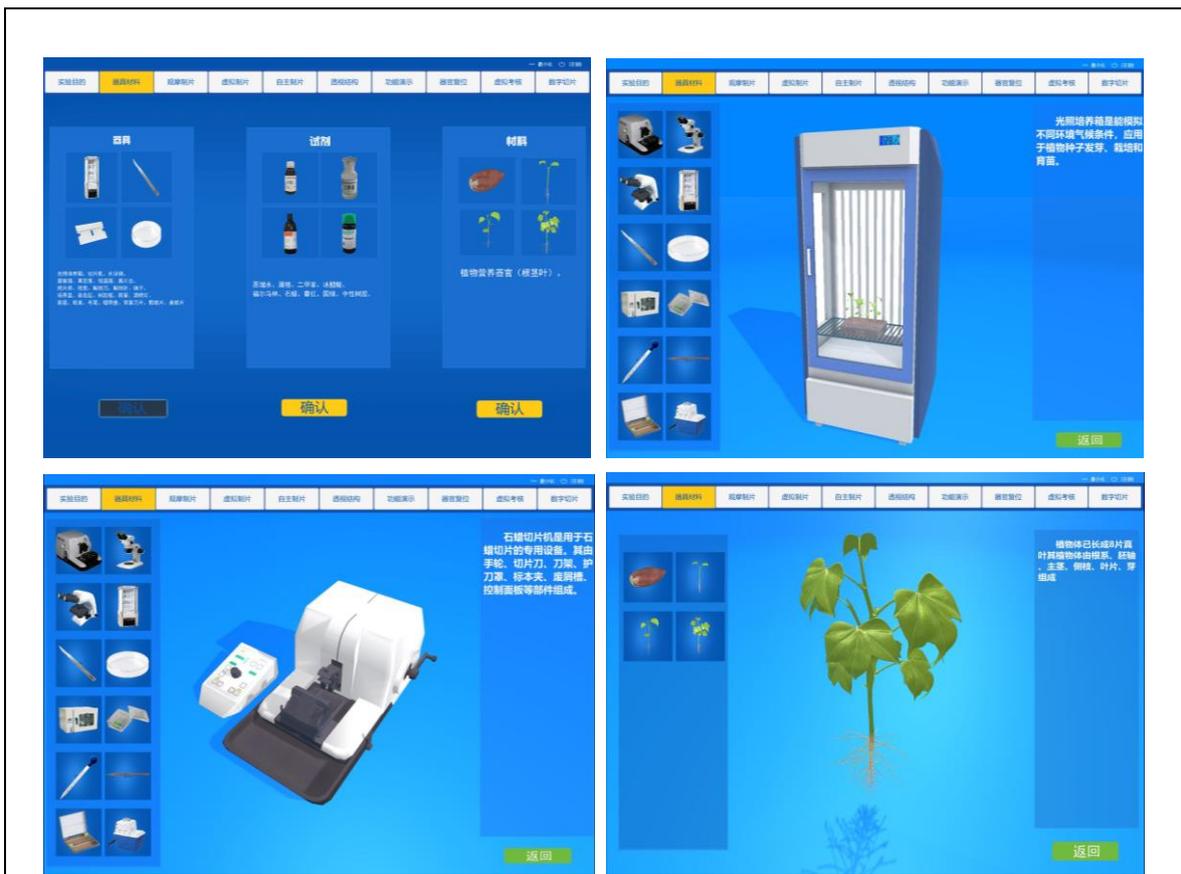


图 18 器具材料 3D 模型

阶段二、石蜡制片的观摩与操作

本阶段包括观摩制片、虚拟制片和自主制片三个实验模块，步骤 3-步骤 5，主要目的是让学生通过“观摩-引导-自主”三个递进式模块的实验操作，帮助学生逐步掌握石蜡制片的规范化操作流程。

步骤 3：石蜡制片的观摩学习

实验者进入“观摩制片”模块，通过观看石蜡制片操作流程的 3D 仿真视频，初步了解石蜡制片的操作要点。

步骤 4：石蜡制片的虚拟学习（交互操作 59 步）

实验者进入“虚拟制片”模块，在文字提示下进行石蜡制片的虚拟交互式操作，让学生进一步熟悉石蜡制片的规范化操作要点和注意事项。

具体操作步骤如下：取材（含 3 步操作）→杀死与固定（含 5 步操作）→抽气（含 3 步操作）→洗涤（含 2 步操作）→脱水（含 4 步操作）→透明（含 2 步操作）→浸蜡（含 2 步操作）→包埋（含 4 步操作）→切片（含 12 步操作）→粘片（含 4 步操作）→烤片（含 3 步操作）→脱蜡及水化（含 2 步操作）→染色（含 8 步操作）→封片（含 4 步操作）→干燥、贴标签和保存（含 3 步操作）。



图 19 石蜡切片虚拟制片 3D 场景

步骤 5：石蜡制片的自主学习（交互操作 59 步）

实验者进入“自主制片”模块，在没有任何操作提示下进行石蜡制片的自主操作，操作错误时会出现纠错提示，进一步强化对石蜡制片技术的理解和掌握。通过步骤 3-步骤 5 的学习，让学生循序渐进的逐步掌握石蜡制片的规范化操作流程及注意事项。

阶段三、被子植物营养器官 3D 结构的学习与考核

本阶段包括透视结构、器官复位、数字切片资源学习三个实验模块，步骤 6-步骤 11。透视结构模块（步骤 6-步骤 9）主要目的是通过棉花种子、子叶期、三叶期和八叶期 3D 仿真棉株透视结构的学习帮助学生有效掌握被子植物营养器官不同发育时期细胞结构和空间分布；器官复位模块（步骤 10）目的是让学生加深对营养器官细胞结构、空间分布和排列规律的理解；数字切片模块（步骤 11）目的是让学生通过对不同植物、不同生境、不同发育阶段营养器官经典显微结构标本的学习，来掌握植物与环境、局部与整体之间的关系。

● 透视结构学习

本部分以陆地棉为例，构建了被子植物营养器官不同发育阶段（种子萌发、子叶期、三叶期和八叶期）的外部形态、解剖结构和组织系统的 3D 模型。实验者在“透视结构”中点击右侧菜单，调出棉花营养器官不同发育阶段各组成系统的 3D 模型，滚动鼠标滚轮实现对各 3D 模型进行缩放，拖拽鼠标左键对各 3D 模型进行 360 度旋转，观察各器官形态结构、组成特征及其在体内的相对分布位置。

步骤 6：种子透视结构学习

点击“棉种子”，调出种子形态结构各组成系统的 3D 模型，滚动鼠标滚轮实

现对“种子形态（含2步操作）、胚乳（含1步操作）、胚（含4步操作）”各3D模型进行缩放，点击拖拽鼠标左键对其进行360度旋转，观察种子形态结构各系统的组成特征、及其在体内的相对分布位置。

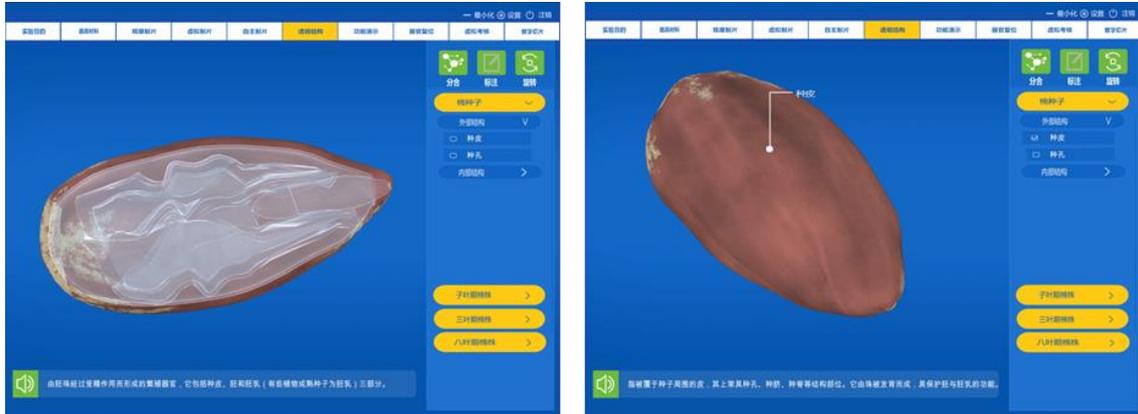


图 20 种子透视结构 3D 模型

步骤 7：“子叶期”植物体透视结构

点击右侧“子叶期植株”菜单，调出“子叶期”植物体形态结构各组成系统的3D模型，滚动鼠标滚轮、点击拖拽鼠标左键实现对“外部形态（含6步操作）、组织系统（含12步操作）和解剖结构（含根尖分区、根初生结构、下胚轴、子叶柄、子叶叶片、茎尖分区等器官，共计30步操作）”各3D模型的缩放和360度旋转，观察被子植物营养器官形态结构各系统的组成特征，及其在体内的相对分布位置。

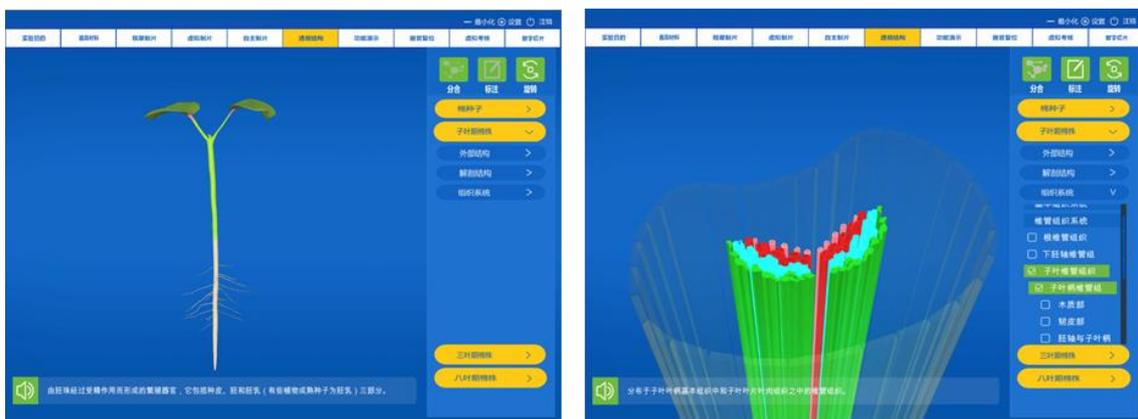


图 21 “子叶期”植物体透视结构 3D 模型

步骤 8：“三叶期”植物体透视结构

点击右侧“三叶期植株”菜单，调出“三叶期”植物体形态结构各组成系统的3D模型，滚动鼠标滚轮、点击拖拽鼠标左键实现对“外部形态（含6步操作）、组织系统（含12步操作）和解剖结构（含根尖分区、根初生结构、下胚轴、叶柄、

叶片、茎的初生结构、茎尖分区等器官，共计 33 步操作）”各 3D 模型的**缩放与 360 度旋转**，观察被子植物营养器官形态结构各系统的组成特征及其在体内的相对分布位置。

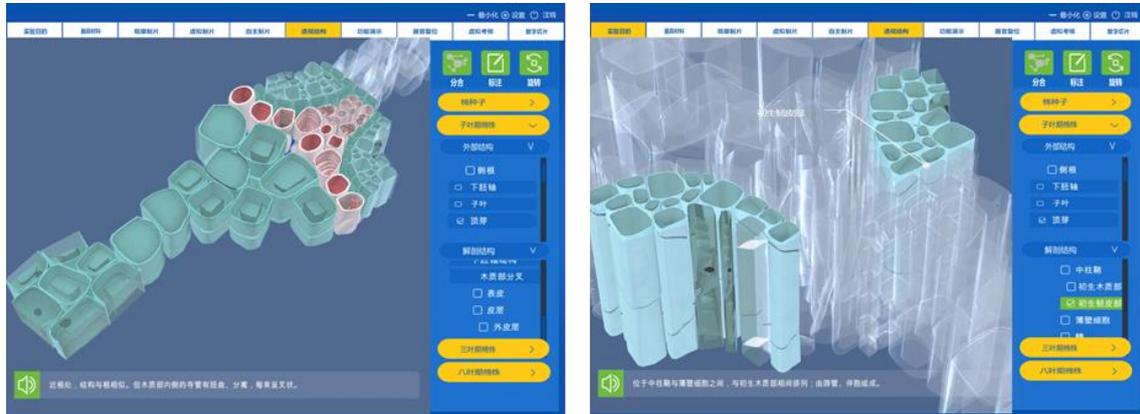


图 22 “三叶期”植物体透视结构 3D 模型

步骤 9：“八叶期”植物体透视结构

点击右侧“八叶期植株”菜单，调出“八叶期”植物体形态结构各组成系统的 3D 模型，**滚动鼠标滚轮、点击拖拽鼠标左键**实现对“外部形态（含 6 步操作）、组织系统（含 12 步操作）和解剖结构（含根分区、根初生结构、根次生结构、茎的初生结构、茎的次生结构、叶柄结构、叶片结构、茎尖分区等器官，共计 26 步操作）”各 3D 模型的**缩放与 360 度旋转**，观察被子植物营养器官（以陆地棉为例）形态结构各系统的组成特征及其在体内的相对分布位置。

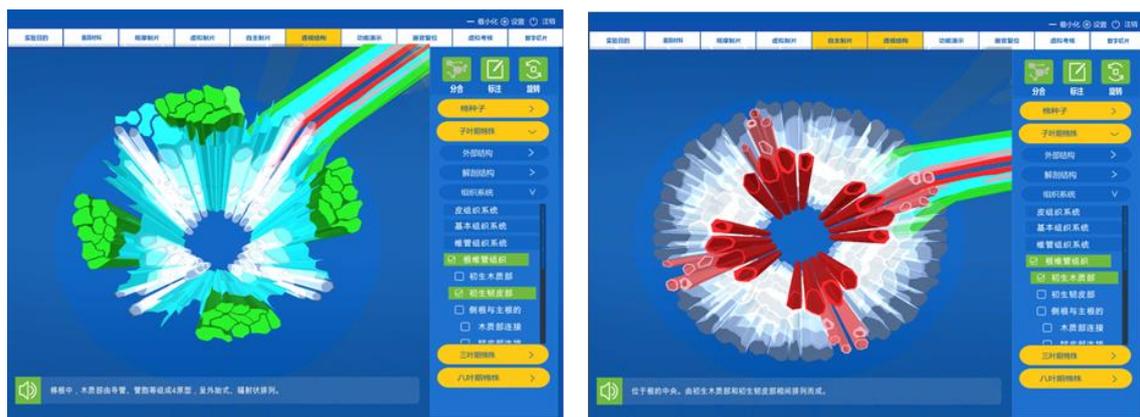


图 23 “八叶期”植物体透视结构 3D 模型

●器官复位

步骤 10：器官复位（交互操作 64 步）

点击“种子复位”菜单，在右侧显示“胚、胚乳、种皮”系统的结构组成目录、

左侧物品栏中展示各器官结构的 3D 模型，学生通过按步骤调用物品栏中的 3D 模型，并将其放置、拼接到“种子”原有的位置上，实现对种子内部组成系统的空间位置的了解与掌握。在“种子复位”模块中，学生共可进行 6 步操作，在胚中可进行 4 步操作、在胚乳中可进行 1 步操作、在种皮可进行 1 步操作。

点击“解剖结构”菜单，在右侧显示“根尖分区、根初生结构、根的次生结构、胚轴、叶柄、叶片、茎的初生结构、茎的次生结构、茎尖分区等器官”的结构组成目录、左侧物品栏中展示各细胞组织结构的 3D 模型，学生通过按步骤调用物品栏中的 3D 模型，并将其放置、拼接到植物体原有的位置上，实现对子叶期植物内部组成系统的空间位置的了解与掌握。在“子叶期复位”模块中，学生共可进行 58 步操作：根尖分区 4 步、根的初生结构 8 步、根的次生结构 8 步、胚轴 6 步、茎的初生结构 6 步、茎的次生结构 8 步、叶柄结构 6 步、叶片结构 8 步、茎尖分区 4 步。



图 24 器官复位 3D 模型

●通过数字切片学习植物营养器官的典型结构

步骤 11：数字切片学习（交互操作不少于 50 步）

本部分包含来自 43 种植物、187 张营养器官不同发育阶段的典型显微结构标本。实验者点击左侧菜单中的“自主学习”栏目，调出系统中被子植物根茎叶“数字切片”资源。实验者可根据要求选择相应的“切片标本”，利用右侧上方工具栏中的缩放、标尺、定位和画图等工具实现对相关知识点的标注和测量。项目要求学生至少完成 10 个物种营养器官的 30 张数字切片中 100 个知识点的标注，不少于 300 步交互操作。

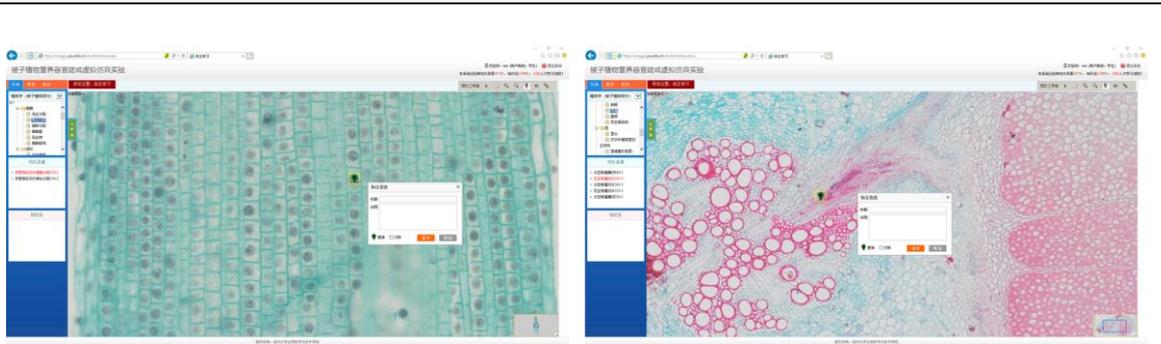


图 25 营养器官数字切片

阶段四：实验考核

本阶段包括对制片技术考核、立体结构考核和数字切片考核三个实验模块，步骤 12-步骤 14。目的是检验实验者对“制片技术、组织结构、数字切片”的学习效果，由系统根据评分规则直接给出分数。

步骤 12：制片技术虚拟考核

点击“制片技术”菜单，可在项目界面底部显示考核题干。通过在虚拟制片场景中的相关 3D 模型的调用、观摩与操作，分 10 步完成对石蜡切片“规范化”实验流程中的 10 个“知识点”的考核。



图 26 制片技术虚拟考核 3D 界面

步骤 13：组织结构虚拟考核

点击“透视结构”菜单，通过对相关 3D 模型的缩放与观摩，以填空的方式完成对相关知识点的考核，大约 80 余步。



图 27 透视结构虚拟考核

点击“器官复位”菜单，调用左侧“物品栏”中的 3D 模型，完成对各营养器官细胞组织结构在植物体内的空间分布、及其相对位置的考核。系统将记录学生的操作轨迹，自动“评判”出成绩，并形成考核记录。



图 28 器官复位虚拟考核

步骤 14: 数字切片虚拟考核

在“数字切片”模块中，点击左侧菜单中的“考核”栏目，系统将在“数字切片”资源库中按规则抽取一定数量的“数字切片”组成考卷；学生通过工具面板在规定的时间内完成对“考点”的标注；系统将对提交的考卷自动“评判”、并记录成绩。



图 29 数字切片虚拟考核

2-9 实验结果与结论要求

- (1) 是否记录每步实验结果：是 否
- (2) 实验结果与结论要求：实验报告 心得体会 其他
- (3) 其他描述：

应用《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》教学系统，结合实体实验，使学生掌握石蜡制片“规范化”操作流程，及其在制片过程中的注意事项；了解并掌握被子植物营养器官(以棉花为例)外部形态和内部各系统在形态结构组成上的特征，及在空间分布上的位置关系；了解并掌握双子叶植物“器官建成、养分运输”等在结构组成与其功能实现的对应关系。最终通过实验，来验证被子植物营养器官的形态与显微结构典型特征，证明其在进化上的进步性。

2-10 考核要求

学生通过 PC、平板、智能手机登录《被子植物营养器官建成虚拟实验》教学系统，点击虚拟仿真资源中的“虚拟考核(3D)”模块，完成对石蜡制片流程的“规范性”考核，以及从形态上识别器官、细胞组织结构在各器官体内的“空间分布位置”的考核；点击“数字切片”模块中的“虚拟考核(2D)”栏目，完成对显微结构的考核；点击辅助资源中的“在线考核(图文)”模块，完成对相关理论与操作注意事项的教学考核。在线考核成绩由系统自动评判。

通过在线考核，只有达到一定成绩的“合格者”才能取得进入实体实验室开展相关实验操作的资格，在线考核成绩计入学生总成绩。

考核项目	考核内容	考核方式	权重%	
实验预习	石蜡制片流程、棉花根茎叶显微结构特征、生理过程和实验注意事项	试题库,自动评分	15	
实验操作	基本技能	石蜡制片流程、生物显微镜使用方法	实验过程中	15
	过程考核	实验态度、独立性和协作性、实验所需知识点的运用	实验过程中	15
	结果考核	实验目的和要求、实验原理、实验步骤、实验结果、思考题	实验报告,人工批改	15
学习考核	被子植物根茎叶结构特征、生理过程、规范化实验操作、注意事项	试题库,自动评分	20	
虚拟考核	器官复位考核、规范化实验操作流程考核	仿真考核,自动评分	20	

2-11 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

①生命科学大类（生物、农学、种子、园艺、园林、植保、药学、生态、医学）本科专业一、二年级学生。

②非生命科学类本科专业通识实验教学。

(2) 基本知识和能力要求

具有初、高中生物学基础知识，具备独立的植物制片操作能力。

2-12 实验项目应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2016年3月

(2) 已服务过的本校学生人数：2500人

(3) 是否纳入到教学计划：是 否

（教学大纲见附件）

(4) 是否面向社会提供服务：是 否

(5) 社会开放时间：2017年7月； 已服务人数：1000人

项目资源在大学生暑期实践、中小学科普教育和大学生创新创业竞赛中获得广泛应用，在2018年全国大学生生命科学创新创业大赛中获得创业组二等奖。相关应用情况被《中国科学报》等国家级媒体多次报道。



图 30 暑期“三下乡”社会实践“千校千项”“最具影响好项目”



图 31 科学网对本项目的报道

3. 实验教学项目相关网络及安全要求描述

<p>3-1 有效链接网址</p> <p>http://zwqgjc.yzu.edu.cn</p>
<p>3-2 网络条件要求</p> <p>(1) 说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务）</p> <p>3D 客户端主要在本地加载数据，数字切片学习和视频播放时需要带宽支持，为满足多用户同时访问，建议客户端带宽 $\geq 10\text{ M}$，服务器带宽 $\geq 1000\text{ M}$。</p> <p>(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）</p> <p>提供 3000 人同时在线，并发响应数量为 1000。</p>
<p>3-3 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、iOS、Android 等）</p> <p>(1) 计算机操作系统和版本要求</p> <p>系统需安装在专用服务器上，操作系统建议使用 Microsoft Windows Server 2008 R2/IIS 7.0/.net4.0 及以上版本。</p>

数据库使用 Microsoft SQL Server 2008。

(2) 其它计算终端操作系统和版本要求

PC 端建议使用 Microsoft Windows 7/8/10 等操作系统，移动客户端建议使用 Android 5.0 或 iOS 8 以上版本。

(3) 支持移动端：是 否

3-4 用户非操作系统软件配置要求（如浏览器、特定软件等）

(1) 需要特定插件：是 否

本系统中的 3D 教学资源由于数据量较大（约 400 MBytes），为了提升操作体验，在本系统首页面上会提示用户下载部分数据后再运行系统；其他辅助实验教学资源、讨论区以及后台管理使用 B/S 架构，用户可以直接使用互联网浏览器访问数据，无特殊浏览器限制，分辨率建议使用 1024×768 以上。

(2) 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）

3D 虚拟仿真操作使用 C/S 架构，用户可在本项目网站首页下载 3D 资源数据，并按提示进行安装，无特殊配置要求。

3-5 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

PC 端：Intel Core i5-8500，8 GB DDR4 内存，硬盘至少留有 2 GB 存储空间，1050TI 11G/GTX1080 8G 显存的独立显卡。

移动客户端：高通骁龙（Qualcomm Snapdragon）、苹果（Apple）、海思麒麟（HiSilicon Kirin）等 ARM 构架双核处理器，主频 1.6 GHz，2 GB RAM，至少保留 2 GB 存储空间。

(2) 其它计算终端硬件配置要求

无

3-6 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

如使用本系统的 VR 版本，为了能达到理想的仿真效果，建议配置如下：HTC Vive Pro 专业版头显，智能 VR 眼镜 PCVR 3D 头盔，屏幕为 2 个 3.5 英寸 AMOLED 显示屏，分辨率：单眼 1440×1600 像素，双眼 3K（2880×1600），刷新率 90Hz，视场角 110 度，音频输出 Hi-Res Audio 认证头戴式设备，Hi-Res Audio 认证耳机（可拆卸式），支持高阻抗耳机，音频输入为内置麦克风，接口为 USB-C3.0，DP1.2、蓝牙。

（2）其它计算终端特殊外置硬件要求

无。

3-7 网络安全

（1）项目系统是否完成国家信息安全等级保护：是 否

（勾选“是”，请填写） 一级

4. 实验教学项目技术架构及主要研发技术

指标	内容																														
<p>系统架构图及简要说明</p>	<p>系统分前端操作和后台管理两部分，可自动识别用户身份，前端界面具备 3D 仿真学习、数字切片、VR 仿真操作、资源共享、在线考核、在线交流等功能；后台可对用户和上述资源等进行管理。本系统及其所有资源均可在电脑、手机、平板等终端跨平台使用，移动端兼容 Android 和 iOS 用户。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">用户</th> <th style="width: 20%;">模块</th> <th style="width: 60%;">功能</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>用户</td> <td>实验简介</td> <td>观摩学习 自主实验 实验报告 知识讲解 切片考核 操作说明</td> </tr> <tr> <td>登录</td> <td>数字切片</td> <td>实验目的 器具材料 观摩制片 虚拟制片 自主制片 透视结构 功能演示 器官复位 虚拟考核</td> </tr> <tr> <td>校验</td> <td>器官建成</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>教学视频</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>学习交流</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>在线考试</td> <td>在线考试试卷 切片阶段试卷 切片期末试卷</td> </tr> <tr> <td></td> <td>试卷查看</td> <td>在线考试成绩 切片阶段成绩 切片期末成绩 实验报告成绩 3D实验成绩</td> </tr> <tr> <td></td> <td>成绩查看</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>个人中心</td> <td>基本信息 学习记录 密码修改</td> </tr> </tbody> </table>	用户	模块	功能	用户	实验简介	观摩学习 自主实验 实验报告 知识讲解 切片考核 操作说明	登录	数字切片	实验目的 器具材料 观摩制片 虚拟制片 自主制片 透视结构 功能演示 器官复位 虚拟考核	校验	器官建成			教学视频			学习交流			在线考试	在线考试试卷 切片阶段试卷 切片期末试卷		试卷查看	在线考试成绩 切片阶段成绩 切片期末成绩 实验报告成绩 3D实验成绩		成绩查看			个人中心	基本信息 学习记录 密码修改
用户	模块	功能																													
用户	实验简介	观摩学习 自主实验 实验报告 知识讲解 切片考核 操作说明																													
登录	数字切片	实验目的 器具材料 观摩制片 虚拟制片 自主制片 透视结构 功能演示 器官复位 虚拟考核																													
校验	器官建成																														
	教学视频																														
	学习交流																														
	在线考试	在线考试试卷 切片阶段试卷 切片期末试卷																													
	试卷查看	在线考试成绩 切片阶段成绩 切片期末成绩 实验报告成绩 3D实验成绩																													
	成绩查看																														
	个人中心	基本信息 学习记录 密码修改																													
<p>实验教学项目</p>	<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 checked="" type="checkbox"/>二维动画</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>HTML5</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>其他： <u>三维扫描技术、点云成像技术、次时代法线贴图技术、三维雕刻技术、电子地图技术、数字切片技术、JS、MVC、C#。</u></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 <input checked="" type="checkbox"/>ZBrush</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>SketchUp</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Adobe Flash <input type="checkbox"/>Unreal Development Kit</p> <p><input type="checkbox"/>Animate CC <input checked="" type="checkbox"/>Blender <input checked="" type="checkbox"/>Visual Studio</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>其他：<u>FreeScan Trak</u></p>																														

	运行环境	<p>服务器</p> <p>CPU <u>8</u> 核、内存 <u>8</u> GB、磁盘 <u>1T</u> GB、 显存 <u>4</u> GB、GPU 型号 <u>无特殊要求</u></p> <p>操作系统</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input type="checkbox"/>Linux</p> <p><input type="checkbox"/>其他 具体版本_____</p> <p>数据库</p> <p><input type="checkbox"/>Mysql <input checked="" type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle</p> <p><input type="checkbox"/>其他_____</p> <p>备注说明 <u>(需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明)</u></p>
	项目品质 (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: 750,000 polygons</p> <p>贴图分辨率: 1024*1024 pixel</p> <p>每帧渲染次数: 25 fps</p> <p>动作反馈时间: 小于 60ms</p> <p>显示刷新率: 60Hz</p> <p>分辨率: 1920×1080 pixel</p> <p>数字切片最大加载: 10 亿像素, 可以缩放标注</p>

5. 实验教学项目特色

(体现虚拟仿真实验项目建设的必要性及先进性、教学方式方法、评价体系及对传统教学的延伸与拓展等方面的特色情况介绍。)

(1) 实验方案设计思路创新

①项目建设的必要性

《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》是生物、农学等专业首个基础性、综合性实验项目，对学生今后的实验习惯、专业素质、科学精神的养成具有重要的意义。但由于存在植物营养器官（根茎叶）建成过程连续、微小、渐变、不能实时可见，根分布在地下不可见，根茎叶协同生长不可逆，经典显微结构静态标本获取难、显微结构标本观察必须借助显微镜，石蜡制片流程繁琐、耗时长等现象，而使上述实验内容，存在实体实验教学中出现排不进、做不出、做不了、做不好等问题。

②项目建设的先进性

以“两性一度”的金课标准，应用 VR、html5、次时代法线贴图技术、显微-数码成像技术、电子地图技术、Unity3D、SQL Server 等开发技术与工具、及数据库，构建了具有高度“仿真”的石蜡切片 3D 虚拟实验场景（0.6 GByte）、植物营养器官 3D 细胞组织结构模型（0.6 GByte）、数字切片 2D 模型（43 个物种、187 张玻片标本、8.3 GByte）、植物器官建成和生理功能 3D/2D 动画（1.1 Gbyte）等一批虚拟仿真资源，建成了包含数字切片、3D 资源、教学视频、在线考核和辅助功能五大核心资源模块的《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》教学系统，为 MOOC、翻转课堂等教学“新”形态在实验教学中得到有效应用提供了支撑。

(2) 教学方法创新

针对被子植物营养器官建成实验内容复杂，植物生长具有连续、动态、抽象等特点，构建了“学生自主学习+理论教学+实验操作+自主设计+全过程考核”相结合的实验教学体系，形成了包括“制片技术、观摩比对、器官复位、问题探究”依次递进式的知识层次，并通过沉浸式、交互式、比对式、探究式等多种教学方式的应用，实现了教学方式的创新，有效提升了实验教学效果和人才培养质量。

①实验教学实施流程的创新

依托网络，借助 PC、平板、智能手机、VR 设备等网络终端设备访问《被子植

物营养器官建成虚拟仿真实验》教学系统。通过在线观摩、操作、答题、互动等方式，在线开展虚拟仿真实验，既可解决以往学生在进入实体实验室前后对本项目所用仪器设备和实验技术操作流程感性认识不足、预习效果差、复习难以开展等问题，又可为我们构建“网络、教学实验室、植物生长场所”三位一体的实验教学平台，实施虚实结合的实验教学流程提供了支撑与保障。

②显微结构实验学习方式的创新

学生通过对数字切片系统中“数字切片”的在线学习、自主标注，既可较好地解决以往对显微结构观察实验必须借助显微镜才能实施的问题，又为“优质玻片标本”在更大范围内的共用共享创建了解决方案，实现了对植物显微结构观察实验学习方式由“静态”验证性学习向“动态”综合性实验学习的转变。

(3) 评价体系创新

针对被子植物营养器官建成实验周期长、实体实验考核必须借助工具“一对一”才能实施的问题，采用**操作轨迹记录、器官复位、知识点鉴别、实验报告等考核方式**，构建了覆盖实验全过程、结果与过程并重的形成性实验教学考核体系，确保了实验考核高效实施。

①考核方式的创新

在以往实体实验教学中，实验考核存在理论化倾向严重、操作考核必须借助显微镜、师生必须“一对一”实施等问题，我们通过将实验考核与信息技术进行深度融合，形成了线上操作轨迹记录、器官复位、知识点鉴别、实验报告和线下实体操作相结合的考核方式，有效提升了考核实效。

②考核内容的创新

在以往单一实体实验教学中，学生在进入实验室前，无法对其预习情况进行有效的检查，课后也不能对其学习效果进行有效全面的考核。同时，由于条件限制，其考核内容仅局限于围绕单一细胞组织结构形态的鉴别、某一仪器设备与实验技术的“规范化”操作流程展开，既不全面，也不能够真实反映学生对相关知识与技能的掌握情况。而通过本项目的应用，我们对“虚拟和实体”两种教学情境下的相关考核内容进行整合，构建了覆盖实验“前中后”全过程的形成性实验考核内容体系，既实现了考核内容的创新，解决了以往“实体”实验考核必须借助工具、“一对一”

才能实施而致考核不全面、效率不高的问题，又使考核成为学生提升其实验技能的“新”契机。

(4) 传统教学的延伸与拓展

基于“被子植物营养器官建成实验”在生命科学类本科专业实验教学中的重要性，本项目在内容设计上与传统实体实验教学项目契合度较高，能够很好的与实体实验教学实现对接与延伸。本项目中形式多样的虚拟仿真资源不但丰富了实验教学资源，实现了教学时空的拓展，更重要的是通过虚实结合实验教学体系的应用，将“被子植物营养器官建成实验”由以往单一性、验证性的实验项目转变为综合性、自主性的实验项目，提升了实验教学效果和学生创新实践能力。本项目的应用还能够为《生物标本制作技术》、《植物代谢生理》、《农作物高产（优质）“栽培”诊断》、“盆景”株型培育、“苗木”嫁接等专业实验项目开展“虚实结合”的实验教学提供必要的资源，为上述课程的实验教学引入翻转课堂、MOOC等教学新形态提供支撑与保障。

6. 实验教学项目持续建设服务计划

(本实验教学项目今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

扬州大学生物科学与技术实验教学中心于 2005 年被教育部遴选为**国家级实验教学示范中心**, 2015 年被遴选为**国家级虚拟仿真实验教学示范中心**, 2016 年又被遴选为**江苏省虚拟仿真实验教学共享平台**

(立项资助)。中心虚拟仿真资源建设起步于 1998 年开始的数字化“玻片标本”, 经过多年递进式的发展, 现已建成能够为本项目提供持续建设与教学服务的支撑保障条件。本项目的**所有知识产权归扬州大学唯一所有**, 其中《数字切片教学系统》已获**计算机软件著作权证**

(**2018SR060863**), 这为我们对该项目的持续建设及推广应用提供了保障。



(1) 项目持续建设与服务计划

本实验项目建设单位为扬州大学, 主要依托扬州大学国家级虚拟仿真实验教学示范中心进行建设。教学单位与软件公司主要研发人员, 共同进行项目建设与后期维护。具体计划如下:

时间	计划服务内容
2019-2020	依据江苏省虚拟仿真实验教学共享平台, 对北京理工大学、淮阴师范学院、盐城师范学院等高校和社会用户的测评与反馈结果, 以增强用户的体验和沉浸感为抓手, 持续优化运行控制平台
2020-2021	进一步与专业软件设计公司协作, 持续增加“数字切片”标本数量、“在线考核”模块中的“题库”容量等, 来进一步扩展本实验项目的受众范围和有效性数量。
2021-2024	在面向相关高校、中职院校、科研院所的推广中, 以建设单位为主体, 将纳入教学参与单位的人员, 形成两级参与的服务体系, 持续扩大项目的服务团队。

(2) 面向高校的教学推广应用计划

全国有近 2000 所高校开设《植物学》课程，覆盖面广。本实验教学项目挂接在扬州大学生物科学与技术虚拟仿真实验教学中心管理的江苏省虚拟仿真实验教学共享平台（生物）中，项目将以免费开放、资源互换、远程共享、合作共建等方式，有计划有步骤地向相关高校进行教学推广，具体计划如下：

时间	计划服务内容
2019-2020	依托江苏省虚拟仿真实验教学共享平台的建设，2020 年度完成在平台共建单位盐城师范学院、淮阴师范学院实验教学中应用。
2020-2021	面向相关高校、中职院校、科研院所的推广中，本项目开发团队将改进和补充现有的校内虚拟仿真实验项目综合资源，配合有实验需求的“用户”，编制实验教学指导书，制定考核评价方法。
2021-2024	以国家级示范中心联席会（生物）为平台，进行项目介绍与推荐，并以资源互换、远程共享、合作共建等方式，力争在 2021 年底，有不少于 10 家国家级实验教学示范中心建设单位（生物）、全省（全国）有 30 家学校在生命科学实验教学应用。

(3) 面向社会的推广应用计划

按照建设要求，实施项目被认定后 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 年后至 3 年内免费开放的服务不少于 70%。本项目将通过搭建科普教育平台，能够不受时空限制，面向全社会普及生命科学知识。预计受众（包括全国涉农专业在校学生、及相关从业人员、大中专学生等）达 20000 人以上。通过举办会议、成立论坛、接待参访等方式与相关单位分享建设经验，实现平台的资源和教学应用成果在全社会共享。

9. 附件材料清单

1. 政治审查意见（必须提供）

（本校党委须对项目团队成员情况进行审查，并对项目内容的政治导向进行把关，确保项目正确的政治方向、价值取向。须由学校党委盖章。无统一格式要求。）

（见附件）

2. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为项目有关学术水平、项目质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由项目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。）

10 申报学校承诺意见

本学校已按照申报要求对申报的虚拟仿真实验教学项目在校内进行公示，并审核实验教学项目的内容符合申报要求和注意事项、符合相关法律法规和教学纪律要求等。经评审评价，现择优申报。

本虚拟仿真实验教学项目如果被认定为“国家虚拟仿真实验教学项目”，学校将严格贯彻《教育部高等教育司关于加强国家虚拟仿真实验教学项目持续服务和管理有关工作的通知》（教高司函〔2018〕56号）的要求，承诺将监督和保障该实验教学项目面向高校和社会开放，并提供教学服务不少于5年，支持和监督教学服务团队对实验教学项目进行持续改进完善和服务。

主管校领导（签字）：

（学校公章）

2019年8月23日



项目政治审查意见

扬州大学党委对该项目团队成员的政治倾向和该项目内容的政治导向进行了审查把关。该项目团队成员能认真学习贯彻新时代中国特色社会主义思想，树牢“四个意识”，坚定“四个自信”，坚决做到“两个维护”，与党中央保持高度一致，政治信仰、政治立场坚定，未发现政治倾向存在问题。该项目主要研究基于网络开展“被子植物营养器官建成实验”的教学方式方法，具体内容包含植物制片技术、被子植物营养器官的细胞组织结构形态特征与空间分布、植物“结构与机能、局部与整体、植物与环境”协同作用的“动态”变化过程等内容，项目内容及实验方法符合科学伦理，符合服务经济社会发展及人才培养要求，具有正确的政治方向和价值取向。

政治审查合格，同意申报。



附件 1

《植物学》（上）课程教学大纲

Botany I

一、课程基本信息

课程编号：17212002-01

课程类别：学科基础课

适用专业：生物科学、生物技术

学 分：2

总 学 时：48 其中理论学时:16，实验学时:32

先修课程：中学生物学

后续课程：发育生物学、细胞生物学、植物生理学

选用教材：

金银根 主编 植物学（第三版）“十二五”普通高等教育国家级本科规划教材[M]. 北京:科学出版社, 2018

金银根 主编 植物学实验与技术（第二版）“十一五”、“十二五”普通高等教育国家级本科规划教材[M]. 北京:科学出版社, 2017

必读书目：

[1] 周云龙 主编《植物生物学》（第2版）[M]. 北京:高等教育出版社, 2011

[2] 刘穆 著 《种子植物形态解剖学导论》[M]. 北京:科学出版社, 2010

[3] 杨继 主编 《植物生物学》(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2007

[4] 金银根 主编 《普通植物学》 [M]. 北京:化学工业出版社, 2012

[5] 潘富俊 著 《草木情缘，中国古典文学中的植物世界》[M]. 北京:商务印书馆, 2015

选读书目：

[1] 叶庆华 等 编著《植物生物学》（修订版）[M]. 厦门:厦门大学出版社, 2009

[2] 李扬汉 著 《禾本科作物的形态与解剖》[M]. 上海:上海科技出版社, 1979

[3] [英]Lack A. J., Evans D. E. 著, 杨世杰等 译 《植物生物学》（Instant Notes in Plant Biology）[M]. 北京:科学出版社, 2005

[4] 杨 斧 胡玉熹 编著《植物天地》[M]. 大象出版社, 1999

[5] 林金星 胡玉熹 主编《裸子植物结构图集》[M]. 北京:科学出版社, 2000

二、课程教学目标

植物学（上）是生物科学、生物技术、农学、园林、草业、药学等专业一年级第一学期所有课程中唯一的一门与专业密切相关的课程。主要达成以下两方面教学目标，一方面旨在使刚踏入生物学大门的大学生对植物科学有一个整体认识和全面了解，为后续植物学相关课程的学习打下良好的专业基础，其次本门课程还激发和培养自主学习、合作学习和探究性学习的习惯和能力。

本课程秉承有效教学、实践教学以及反思教学的教学理念，在课堂讲授、实验实习、课外阅读、课堂讨论、文献阅读、综述报告、考试等诸多教学环节中，关注学生的进步和发展，根据不同学生的学习特点和思维方式的差异，注重教学过程中发挥学生的主观能动性，注重学生创新思维能力和手脑并用能力的培养。

课程教学目标	对应培养标准/毕业要求指标点
1.认识植物界及植物的多样性特征，了解植物资源的分布及其在生产和环境中的重要性；掌握学习植物学的一般方法	树立进化论思想，确立保护植物多样性就是保护人类自己的意识；学会学习
2.掌握植物体组成的层次性；理解植物体形态、层次结构、功能与环境的统一性；个体发育过程的连续性和形态结构特征的不同阶段的统一性	树立辩证唯物观，能够自我构建知识，学会混合式学习和探究性学习，形成问题意识，能够发现问题和正确分析和解决问题，培养科学思维，建立生命观念
3.掌握从事植物形态、结构解剖与观察的技术方法；能够自拟课题、建立方案、开展探究、分析归纳、验证和交流	学会合作学习；学会科学探究

三、教学内容和教学要求

1. 绪论

教学要求：了解生物界，理解植物界及其植物的多样性特征，了解植物资源的分布及其在生产和环境中的重要性，了解植物学发展简史，植物学分支学科，以及学习植物学的方法。树立进化论思想，确立保护植物多样性就是保护人类自己的意识；掌握学习植物学的一般方法。

教学内容：

(1) 生物的分界概述

- (2) ◆植物的多样性及其意义
- (3) ◆植物资源的多样性与人类和环境
- (4) ◇植物学的概念、植物科学发展历史及其分支学科
- (5) 植物学的学习方法与开展植物科学研究目的和意义

注：教学内容中，符号“◆”表示重点内容，“◇”为难点内容，“◆”指既是重点又是难点内容。下同。

2. 植物细胞与组织

教学要求：了解细胞的发现、细胞学说，理解细胞的发现在自然科学研究历程中的意义；掌握植物细胞、植物组织的形态、结构与功能及其相互关系；理解植物体结构组成的层次性，物种间物质组成和品质的异质性；理解植物形态结构功能与环境的统一性。建立生命观念；学会混合式学习，并能通过鉴定物质成分辨别物种，开展探究性学习。

教学内容：

- (1) 细胞与细胞学说
- (2) ◆植物细胞的形态、结构、分布及其功能的统一性
- (3) 植物细胞的分裂、分化与凋亡
- (4) 植物组织的概念及其分类
- (5) ◆植物组织的形态、结构、分布及其功能的统一性
- (6) 植物组织系统
- (7) ◆显微镜的结构、使用与保养
- (8) ◆临时玻片的制作，植物细胞与组织的结构观察与显微化学鉴定

3. 被子植物营养器官建成

教学要求：了解根、茎、叶的发生及其在进化中的意义；理解和掌握植物体根、茎、叶的形态、结构、功能及其与环境的统一性；正确认识个体发育过程的连续性和形态结构特征的阶段性统一。学会混合式学习，培养科学思维，开展科学探究，建立生命观念。

教学内容：

- (1) ◆根的形态、结构、功能与环境的统一性

- (2) ◆茎的形态、结构、功能与环境的统一性
- (3) ◆叶的形态、结构、功能与环境的统一性
- (4) ◆植物的整体性与生态适应性

4. 被子植物生殖器官建成

教学要求：了解花、果实和种子的发育过程与影响因素；理解和掌握植物体花、果实和种子的形态、结构、功能及其与传播繁衍的统一性关系。树立辩证唯物观，学会自我构建知识，形成问题意识，能够发现问题和正确分析与解决问题。

教学内容：

- (1) 植物的繁殖与应用
- (2) 花的形态、组成、类型与花芽分化
- (3) ◆雌雄蕊的发育与结构
- (4) ◆开花、传粉与受精
- (5) 花粉植物、雄性不育及其应用
- (6) ◆种子的发育与结构
- (7) ◆果实的发育与结构
- (8) 果实与种子的传播
- (9) 种子萌发与幼苗类型
- (10) ◆被子植物的生活史过程及其特征

四、各教学环节学时分配表

序号	教学单元名称	理论	实验	
			线下学习	线上学习
1	绪论	1		
2	植物细胞与组织	3	4	
3	被子植物营养器官建成	6	8	6
4	被子植物生殖器官建成	6	8	6
合 计		16	20	12

五、教学组织与方法

1. 理论教学，采用“教师讲授与学生自主学习”的教学方式。即：在教师的主导下，围绕课程单元教学目标，采用“混合式教学与合作学习、研究性教学与探究性

学习、师生导学、交流研讨”相结合的教学方式，教会学生开展线上与线下学习、阅读、授集、整理、分析、研讨相关“资料”的方式方法，来提升学生对相关知识的掌握与理解能力。

2. 实验教学，采用“虚实结合”的教学方式。即：在教师的主导下，围绕课程实验单元教学目标，先由学生利用虚拟仿真资源，在线学习部分在实体实验教学中不能或不易开展的教学内容，并在线观摩相关“仪器设备、实验技术”的操作流程与应用方向，并对学生对该部分的学习内容进行在线考核；再由学生在实体实验室中，利用“虚拟和实体”实验教学资源，“自主”完成对相关理论或知识的“实验”验证，来提升学生自主获取或自我构建新知识的能力。

六、课程考核与成绩评定

课程的考核由“平时考核和期末考核”两部分组成。平时考核以检查学生的学习态度和实验学习情况为主；期末统考试主要考查学生对课程知识、技能的系统性和整体性把握情况。

组成	评价环节	考核/评价细则	权重%	备注	
平时考核	平时表现	出勤足、师生互动性好、主动参与研究性教学活动并发挥积极作用满分；缺勤 2 次且研究性教学 2 次表现不主动 0 分	70	10	线下考核
	实验预习	单元实验所需相关知识的掌握情况		10	线上考核
	基本技能	实体仪器设备与实验技能的操作		10	线下考核
	实验报告	单元实验的实验结果		15	线下考核
	虚拟考核	仪器设备与实验技能“虚拟”操作		5	线上考核
	仿真考核	细胞组织结构的复位考核；显微结构“鉴别”考核		20	线上考核
期末考核	课程综合考试	考核重点是基础知识、技能的理解、掌握和灵活应用程度。题型有名词解释、填空、正误评判、简答等组成。采用“统一试卷、统一考试、统一阅卷、统一评分”考核方式。	30	线下考核	

执笔人：吴晓霞

审定人：丁海东

2014 年 06 月

附件 2

《植物学》（上）实验课程教学安排

一、教学计划

序号	实验名称	课时安排	备注
1	显微镜的结构与规范使用	3	
2	植物常用显微制片技术	2+2	线上学习 2 个学时
3	植物细胞的结构	3	
4	植物的组织与组织类型	6	
5	被子植物营养器官的形态结构	8	
6	被子植物营养器官形态建成	2	线上学习
7	被子植物各营养器官的形态结构与环境的关系	4	
8	营养器官综合实验	2	线上学习
9	被子植物生殖器官的形态结构	8	
10	植物的果实、种子与幼苗	6	
	总计	48	

二、教学内容安排

实验一 显微镜的结构与规范使用

实验目的：熟悉显微镜的结构，掌握显微镜的规范使用步骤，了解显微镜的日常管理与维护。

实验内容：

1. 显微镜的结构；
2. 显微镜的使用；
3. 永久装片的观察；
4. 多媒体显微互动系统的使用。

实验二 植物常用显微制片技术（线上 2 个学时，线下 2 个学时）

实验目的：

1. 了解显微装片常用制片方法；熟练掌握植物茎、叶等徒手切片技术以及植物细胞涂片技术。
2. 利用《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》中的石蜡制片虚拟场景及仿真资源学习石蜡切片的制作方法。

实验内容：

1. 植物常用显微制片方法：石蜡切片法、树脂切片法、徒手切片法、涂片法。
2. 植物徒手切片实际操作示范与实践。
3. 涂片法的实际操作示范与实践。
4. 在虚拟石蜡制片场景中进行观摩、互动演练，掌握石蜡制片方法、操作要点及注意事项等。

实验三 植物细胞的结构

实验目的：通过显微镜实体观察和掌握不同植物细胞各类形态及胞内结构。

实验内容：

1. 植物细胞的一般结构：洋葱表皮细胞的临时装片制作与观察。
2. 植物细胞壁的结构：柿胚乳细胞永久装片观察。

3. 植物显微细胞器的观察：青菜叶（叶肉细胞与叶表皮细胞）；西红柿果皮细胞（有色体）。
4. 植物细胞内含物的观察：土豆（淀粉粒形态结构特征）、花生子叶（脂肪油滴）

实验四 植物组织与组织类型

实验目的：掌握不同植物组织的细胞形态特征，学会在显微镜下分辨不同的植物组织类型。

实验内容：

1. 分生组织的细胞形态特征：洋葱根尖分生区、三年生椴树茎永久装片。
2. 保护组织细胞形态特征：蚕豆叶、小麦叶表皮细胞永久装片。
3. 分泌组织细胞形态特征：柠檬果皮细胞永久装片。
4. 机械组织细胞形态特征：芹菜叶柄徒手切片。
5. 输导组织细胞形态特征：芹菜叶柄压片。
6. 不同成熟组织的细胞形态特征以及在器官中的分布：南瓜茎纵切、横切永久装片。

实验五 被子植物营养器官的形态结构特征

实验目的：利用所学过的组织的知识，通过植物根茎叶各发育时期永久装片的观察，掌握植物根、茎、叶的发生部位以及初生和次生结构的细胞组成与分布部位。

实验内容：

1. 植物根尖与根尖分区：洋葱根尖永久装片。
2. 根的初生结构：毛茛幼根、小麦幼根永久装片；麦冬根徒手切片。
3. 根的次生结构：棉老根、水稻老根永久装片。
4. 茎尖结构：黑藻芽纵切永久装片。
5. 茎的初生结构：大豆茎、小麦茎、水稻茎永久装片。
6. 茎的次生结构：棉老茎、椴树茎永久装片；多年生槐树茎段实物观察。

实验六 被子植物营养器官的形态建成（线上学习）

实验目的：利用《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》中的仿真棉株的透视结构等资源了解、认识植物根、茎、叶的发生部位以及初生和次生结构的细胞组成与分布部位；认识根、茎、叶中组织系统的分布、发育方式等。

实验内容：

打开《被子植物营养器官建成虚拟仿真实验》“透视结构”模块，通过观摩、比对、拍摄，对棉花种子、子叶期、三叶期和八叶期的各仿真细胞、组织、器官资源进行观摩学习，通过器官复位掌握相关知识。

实验七 被子植物各营养器官的形态结构与环境的关系

实验目的：利用所学过的组织的知识，通过植物根茎叶各发育时期永久装片的观察，掌握植物根、茎、叶的发生部位以及初生和次生结构的细胞组成与分布部位。

实验内容：

1. 植物细胞的一般结构：洋葱表皮细胞的临时装片制作与观察。
2. 植物细胞壁的结构：柿胚乳细胞永久装片观察。
3. 植物显微细胞器的观察：青菜叶（叶肉细胞与叶表皮细胞）；西红柿果皮细胞（有色体）。
4. 植物细胞内含物的观察：土豆（淀粉粒形态结构特征）、花生子叶（脂肪油滴）

实验八 被子植物营养器官综合实验（线上学习）

实验目的：利用所学过的组织的知识，通过植物根茎叶各发育时期数字切片的观察，掌握植物根、茎、叶的发生部位以及初生和次生结构的细胞组成与分布部位。

实验内容：

通过对不同物种、不同生境下的数字切片标本的观摩，比对不同物种、不同器官、不同生境条件下的经典组织结构的异同性，让学生提出在植物器官建成中所涉及到的与环境、发育、功能等协同作用的成因问题，并设计实验方案并实施，并收集整理数据，完成项目实验报告并提交。

实验九 被子植物生殖器官形态结构

实验目的：利用所学过的组织的知识，通过植物根茎叶各发育时期永久装片的观察，掌握植物根、茎、叶的发生部位以及初生和次生结构的细胞组成与分布部位。

实验内容：

1. 植物细胞的一般结构：洋葱表皮细胞的临时装片制作与观察。
2. 植物细胞壁的结构：柿胚乳细胞永久装片观察。
3. 植物显微细胞器的观察：青菜叶（叶肉细胞与叶表皮细胞）；西红柿果皮细胞（有色体）。

植物细胞内含物的观察：土豆（淀粉粒形态结构特征）、花生子叶（脂肪油滴）

实验十 植物的果实、种子与幼苗

实验目的：利用所学过的组织的知识，通过植物根茎叶各发育时期永久装片的观察，掌握植物根、茎、叶的发生部位以及初生和次生结构的细胞组成与分布部位。

实验内容：

1. 植物细胞的一般结构：洋葱表皮细胞的临时装片制作与观察。
2. 植物细胞壁的结构：柿胚乳细胞永久装片观察。
3. 植物显微细胞器的观察：青菜叶（叶肉细胞与叶表皮细胞）；西红柿果皮细胞（有色体）。

植物细胞内含物的观察：土豆（淀粉粒形态结构特征）、花生子叶（脂肪油滴）

三、课程考核

组成	评价环节	考核/评价细则	权重%	备注	
平时考核	实验预习	单元实验所需相关知识的掌握情况	70	10	线上考核
	基本技能	实体仪器设备与实验技能的操作		10	线下考核
	实验报告	单元实验的实验结果		15	线下考核
	虚拟考核	仪器设备与实验技能“虚拟”操作		5	线上考核
	仿真考核	细胞组织结构的复位考核；显微结构“鉴别”考核		20	线上考核