

2019 年度国家虚拟仿真实验教学项目申报表

学 校 名 称	浙江大学
实 验 教 学 项 目 名 称	模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验
所 属 课 程 名 称	遗传学及实验
所 属 专 业 代 码	090104
实验教学项目负责人姓名	吴敏
有 效 链 接 网 址	http://crispr.zju.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	吴老师	性别	男	出生年月	1958 年 10 月
学 历	本科	学位	学士	电 话	0571-88206261
专业技术职务	教授	行政职务	示范中心主任	手 机	136*****066
院 系	生命科学学院			电子邮箱	wumin@zju.edu.cn
地 址	杭州市西湖区浙江大学紫金港校区生物实验教学中心 103			邮 编	310058
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）。 1. 主持的教学研究课题 （1）浙江省“十三五”省级重点建设实验教学示范中心建设项目，2019. （2）非生物类专业生物学通识实验课程的教学改革与实践，浙江省 2015 年度高等教育教学改革项目，2015. （3）浙江省高等学校“十二五”实验教学示范中心重点建设项目，2014. （4）生物实验教学中心动(植)物标本室建设，浙江大学本科教学专项，2007. （5）浙江大学生物实验教学示范中心建设，教育部示范中心建设项目，2007. 2. 出版教材与教学研究论文 （1）《生命科学导论实验》，主编，高等教育出版社，2013. （2）《基因工程》，副主编，高等教育出版社，2014. （3）《遗传学分析实验教程》，副主编，高等教育出版社，2018. 3. 获得的教学表彰/奖励 （1）教育部国家级教学名师奖，2008. （2）国家级教学成果奖二等奖，非生物类本科生生物学教学的研究与实践，吴敏等，2005. （3）国家级教学成果奖二等奖，理工科非生物类专业生物学基础课《生命科导论》教学内容和教学方法改革，吴敏等，2001. （4）“全国优秀教师”称号，2004. （5）浙江省“十大育人先锋”称号，2012.					

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刊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

- (1) 湖泊微生物宏基因组分析与基因资源库建设（2017FY100300），科技部基础工作专项（子课题），主持，2017-2022.
- (2) 基于海洋微生物的医药前导化合物开发研究（K18-529102-009），海正药业，主持，2018-2023.
- (3) 底栖生物分子鉴定技术方法及地理分区研究（DY135-E2-2-05），国家大洋专项（子课题），主持，2018-2020.
- (4) 碱减量废水生物处理技术研究及应用（2017C33030），浙江省公益性项目，主持，2017-2018.
- (5) 嗜盐古菌基因组盐适应性微进化与嗜盐机制研究（31470005），国家自然科学基金，主持，2015-2016.

2. 发表的学术论文

- (1) Xiao-dong Yu, Xiao-Yun Yu, Ge-Yi Fu, Zhe Zhao, Xia Shen, Cong Sun, **Min Wu***. *Marortus luteolus* gen. nov. sp. nov. isolated from surface seawater of the East Sea in China. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2019, 69(5):1490.
- (2) Can Chen, Yanghui Ye, Ruijun Wang, Yinglao Zhang, Chen Wu, Debnath S. Chandra, Zhongjun Ma, Jidong Wang, **Min Wu***. *Streptomyces nigra* sp. nov. is a novel actinobacterium isolated from mangrove soil and exerts a potent antitumor activity in vitro. Frontiers in Microbiology, 2018, 9:1587-.
- (3) Xia Shen, Yu Li, Zhe Zhao, Yi-Fan Han, Wen-Wu Zhang, Xiao-Yun Yu, Chong-Ya Zhang, Cong Sun, **Min Wu***. Polyphasic taxonomic characterisation of the novel strain *Pararhizobium haloflavum* sp. nov., isolated from soil samples near a sewage treatment tank. Antonie van Leeuwenhoek, 2017, 111:485-491.
- (4) Cong Sun, Ge-yi Fu, Chong-ya Zhang, Jing Hu, Lin Xu, Rui-jun Wang, Yue Su, Shuai-bo Han, Xiao-yun Yu, Hong Cheng, Xin-qi Zhang, Ying-Yi Huo, Xue-Wei Xu, **Min Wu***. Isolation and complete genome sequence of *Algibacter alginolytica* sp. nov. a novel seaweed-degrading Bacteroidetes bacterium with diversity of putative polysaccharide utilization loci. Applied & Environmental Microbiology, 2016, 82(10):2975.
- (5) Wen-wu Zhang, Jie Pan, Peng-ying Hao, Gang Zhen, Zhen-li Zhang, **Min Wu***. Chemical Oxygen Demand Removal in Na₂SO₄, Saturated Wastewater by Cultivable Halotolerant Bacterial Community. CLEAN - Soil, Air, Water, 2016, 44(6):593-598.

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（含负责人，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	吴 敏	浙江大学	教授	中心主任	组织实施	教学服务
2	霍颖异	浙江大学	助理研究员		框架设计	技术支持
3	王君晖	浙江大学	副教授		实验教学	教学服务
4	史 影	浙江大学	副教授		脚本设计	教学服务
5	朱旭芬	浙江大学	教授		实验教学	教学服务
1-2-2 团队其他成员						
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	赵小立	浙江大学	副教授		实验教学	教学服务
2	王国强	浙江大学	高级实验师		脚本设计	教学服务
3	程 磊	浙江大学	教授	副院长	教学管理	教学服务
4	黄爱军	浙江大学	副教授	副主任	教学管理	教学服务
5	金文涛	浙江大学	实验师		教学服务	教学服务
6	徐 程	浙江大学	高级讲师		实验教学	教学服务
7	魏 炜	南京莱医 特电子科 技有限公 司	高级软件 工程师	技术总监	软件制作 总协调	技术支持
8	黄天宇	南京莱医 特电子科 技有限公 司	工程师		程序设计	技术支持
9	胡雅轩	南京莱医 特电子科 技有限公 司	工程师		软件设计	技术支持
项目团队总人数： <u>14</u> （人） 高校人员数量： <u>11</u> （人） 企业人员数量：3（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

模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验

2-2 实验目的

拟南芥为双子叶植物纲十字花科植物，由于其具有植株小、生长周期短、结实多、形态特征分明、易转化、自交繁殖等优点，拟南芥是植物遗传分析、基因克隆和功能研究等研究领域中的应用最广泛的模式植物，被誉为“植物中的果蝇”。

基因编辑技术指能够在基因组水平对目标基因进行改造的遗传操作，实现对特定 DNA 片段的敲除、插入或突变，是一把基因组的“手术刀”。CRISPR/Cas 系统是原核生物降解入侵病毒 DNA 或其他外源 DNA 的一种适应性免疫防御。2012~2013 年，科学家利用 CRISPR/Cas 系统成功实现了对原核和真核细胞的基因编辑。CRISPR/Cas 技术被认为是诺贝尔奖级别的成果，成为了近年来的研究热门，已广泛应用于细菌、真菌、植物和动物的基因编辑。CRISPR/Cas9 系统是研究最深入，应用最成熟的一类，可用于针对拟南芥开展基因敲除、基因修饰、功能基因组的筛查和基因沉默等研究。

根据“双一流建设”和创新型人才培养需要，浙江大学对《遗传学》、《遗传学及实验》和《基因工程技能训练》等课程开展了系列改革，更新传统教学内容，增加前沿性和创新性实验项目，积极将科研成果转化为教学案例，已将拟南芥基因编辑突变体鉴定实验设计为一个实验教学特色专题，将拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑技术的部分实验引入实体实验教学中。该实验让学生接触并初步掌握模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑的先进研究技术，充分激发学生学习兴趣，培养并拓展学生创新思维。

模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑相关实验课程开设以来，深受学生欢迎，但也存在一些困难。拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑实验整体的**综合性强且耗时长**，相关教学实践难以系统性实现整个实验技术流程；实验**技术性强且难度大**，学生实验成功率难以保证，时间上又难以安排多次重复实验，影响实际教学质量和效果；**拟南芥种植周期长**，过程长达 2~3 个月，且需时常在

水分、光照、温度、病虫害等方面进行养护管理，占用学生课外时间多；花序转染法对植株生长时期有一定要求，其**时效性强**增加了实验教学的难度。

鉴于实体实验教学中存在的困难，本项目借助虚拟仿真技术，构建了《模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验》，克服实体教学的局限性，帮助学生更全面深入地掌握 CRISPR/Cas9 新型基因编辑技术原理和拟南芥基因编辑及突变体检测方法。项目有助于加深学生对专业理论知识的理解，丰富和拓展实验学习内容，有机融合科研与教学，有效提高学生实践能力和创新能力。

本项目通过“虚实结合、以虚补实”的实验教学达到如下目的：

（一）掌握 CRISPR/Cas9 新型基因编辑技术的原理

通过观看原理动画和图片，使学生学习并掌握原核生物 CRISPR/Cas 系统结构和功能，更深刻地理解利用 CRISPR/Cas9 技术开展基因编辑的工作原理。

（二）掌握使用 CRISPR/Cas9 技术基因编辑拟南芥从而获得并鉴定突变体的方法

通过模拟拟南芥基因编辑及鉴定的整个流程，帮助学生熟练掌握基因编辑中拟南芥种子萌发和移苗、农杆菌电转化、花序转染法获取转基因植株、拟南芥基因组 DNA 提取、目的基因 PCR 扩增和变性复性、T7 核酸内切酶酶切法检测突变和 PAGE 法检测突变等重要技术，提高从事基因工程领域研究和应用的基本素质。

2-3 实验课时

（一）实验所属课程所占课时：

项目所属实验课程为《遗传学及实验》，该课程为本科生的生物学基础专业课，实验课共占 32 学时。

（二）该实验项目所占课时：

该虚拟仿真实验项目在《遗传学及实验》中占 4 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）

本项目将 CRISPR/Cas9 系统结构与功能、工作原理、基因编辑及突变体鉴定过程进行三维建模和交互式程序设计，高度模拟真实的实验操作过程，给学生交互式 and 沉浸式体验，便于学生掌握相关知识和技术。

知识点：共 21 个

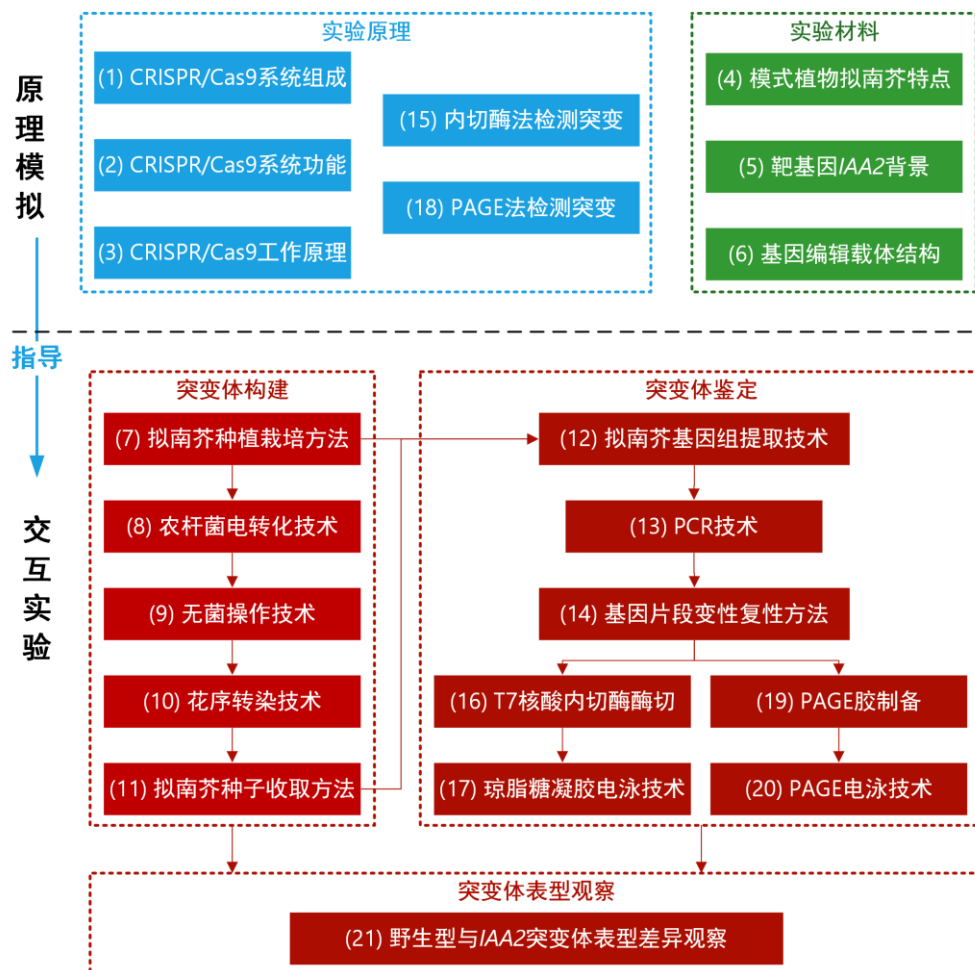


图 1 知识点及其相互关系

（一）原核生物 CRISPR/Cas9 系统结构

CRISPR/Cas9 是研究最深入，应用最成熟的一类 CRISPR/Cas 系统，该系统主要由 tracrRNA 基因、Cas 基因座和 CRISPR 基因座三部分组成。tracrRNA（trans-activating crRNA）与 crRNA 结合，帮助 Cas9 蛋白实现特异性识别。Cas 基因座由一系列 Cas（CRISPR associated）蛋白编码基因组成，包括 *cas9*、*cas1*、*cas2* 和 *csn2*，主要发挥核酸酶切割作用。CRISPR 基因座由前导序列（leader）、重复序列（repeats）和间隔序列（spacers）组成。本项目通过三维

建模和动画模拟了 CRISPR/Cas9 系统结构组成，便于学生理解和掌握——

知识点（1）原核生物 CRISPR/Cas9 系统结构组成

（二）原核生物 CRISPR/Cas 系统功能

CRISPR/Cas 系统是原核生物在长期演化过程中形成的一种适应性免疫防御系统，可用来对抗入侵的病毒及外源 DNA。CRISPR/Cas 系统通过将入侵噬菌体和质粒 DNA 的片段整合到 CRISPR (Clustered regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) 中，并利用相应的 CRISPR RNAs (crRNAs) 来指导同源序列的降解，从而实现自我防御的目的。本项目通过三维建模和动画模拟了 CRISPR 间隔序列的获得、CRISPR 基因座的表达与 crRNA 成熟、外源遗传物质的切割的过程，便于学生直观认识和掌握——

知识点（2）原核生物 CRISPR/Cas 系统的功能

（三）CRISPR/Cas9 系统工作原理

在实际应用中，利用基因工程的方法将 tracrRNA 和靶向特异的 crRNA 融合在一起形成单一向导 RNA (single guide RNA, sgRNA)，将其与含有 Cas9 蛋白编码基因的质粒一同转入细胞中，或者将表达 sgRNA 的原件与表达 Cas9 的原件相连接，得到可以同时表达两者的质粒，将其转染细胞，sgRNA 指导 Cas9 结合到目标序列上切割 DNA 及后续基因操作。本项目通过三维建模和视频动画介绍这一过程，使学生充分理解实验原理和背景——

知识点（3）CRISPR/Cas9 系统的工作原理

（四）模式植物拟南芥及靶基因

拟南芥为植物研究领域中的应用最广泛的模式植物，具有植株小、生长周期短、结实多、形态特征分明、易转化、自交繁殖等优点。转录抑制蛋白 Aux/IAA 家族是一类与生长素调控基因表达相关的蛋白，拟南芥中有 29 个 Aux/IAA 基因，IAA2 是其中一员。本项目以拟南芥 IAA2 为靶基因，利用 CRISPR/Cas9 技术和多重 sgRNA 高效敲除靶基因，获得并鉴定突变体。本项目通过知识介绍，使学生充分理解实验背景——

知识点（4）模式植物拟南芥特点

知识点（5）靶基因 IAA2 背景

知识点（6）基因编辑载体结构

（五）拟南芥种子萌发和移苗

拟南芥的种子萌发和移苗是种植栽培拟南芥的关键步骤，也是后续突变体植株筛选的必要步骤。对拟南芥种子进行表面消毒后，将种子均匀点在含琼脂的培养基上，低温春化 2 天后光照培养，而后将拟南芥幼苗移入土壤中培养，并注意温度、湿度和营养。本项目高度模拟了拟南芥种子萌发和移苗过程，并结合实际实验操作视频，便于学生掌握操作要领——

知识点（7）拟南芥种植栽培方法

（六）农杆菌电转化

电转化法是通过高强度电场作用，瞬时提高细胞膜的通透性，从而将外源核酸导入原核或真核细胞内的，是一种方便、高效的方法。将细胞和载体混合后放入电击杯内，高压电击下细胞膜通透性增加，外源 DNA 分子进入细胞内部，电撤消后，膜通透性恢复。本项目高度模拟了农杆菌电转化过程，便于学生理解和掌握——

知识点（8）农杆菌电转化技术

知识点（9）无菌操作技术

（七）花序转染法获取转基因植株

花序转染法是一种由农杆菌介导的通过花序真空浸润转化植株，从而直接获得转化的种子。该方法快速简便、重复性好，且不需经过组培阶段即可获得转化植株。在花盛开期时提前 3 天停水，在真空浸润液中加入扩大培养的转基因农杆菌和表面活性剂。将拟南芥倒置于真空浸润液中，真空处理 5 分钟，常规培养并收集种子。本项目高度模拟了农杆菌介导的真空花序转染至种子收取过程，结合种子收取实际实验操作视频，便于学生理解和掌握——

知识点（10）花序转染技术

知识点（11）拟南芥种子收取方法

（八）拟南芥基因组 DNA 提取

CTAB 法是提取生物 DNA 的常用方法。CTAB 是一种阳离子去污剂，CTAB 在高离子强度溶液中可与多糖和蛋白质形成复合物，但不会沉淀核酸。通过有

机溶剂抽提，去除蛋白质和多糖等杂质后，加乙醇使核酸沉淀，即可将核酸分离纯化出来。本项目高度模拟了拟南芥基因组 DNA 提取过程，便于学生理解和掌握——

知识点（12）CTAB 法提取基因组技术

（九）目标基因片段扩增及其变性复性

PCR 技术是通过聚合酶链反应大量扩增一个已知序列之间的 DNA 片段的技术，其原理类似于 DNA 的天然复制过程，即以待扩增的 DNA 为模板，在引物、四种 dNTP 和 DNA 聚合酶存在的情况下，经加热变性、降温复性和延伸，进行 DNA 扩增。通过多次反复的循环后，使微量的 DNA 模板得到指数级的扩增。本项目高度模拟了以待检测拟南芥基因组 DNA 为模板对突变靶点基因进行 PCR 扩增，以及将野生型与突变体 PCR 产物混合后进行变性复性的过程，便于学生理解和掌握——

知识点（13）PCR 技术

知识点（14）靶点基因片段变性复性方法

（十）T7 核酸内切酶酶切法检测突变

T7 核酸内切酶 I 可以识别并切割不完美匹配的 DNA、十字形 DNA 结构、Holliday 结构或 DNA 分叉点以及异源二聚体 DNA。将野生型与突变体的靶点区域 2 种 PCR 产物混合后进行变性和复性，由于错配碱基的存在，形成同源双链和异源双链（含错配碱基）。利用 T7 核酸内切酶 I 识别并剪切带有错配的异源双链 DNA。经琼脂糖凝胶电泳检测，如果酶切产物出现两条长度如预期的较短条带，就意味着 CRISPR/Cas 技术成功地在基因组靶点上引入了突变。本项目高度模拟了 T7 核酸内切酶酶切以及琼脂糖凝胶电泳检测酶切片段的过程，便于学生理解和掌握——

知识点（15）T7 核酸内切酶法检测突变原理

知识点（16）T7 核酸内切酶酶切技术

知识点（17）琼脂糖凝胶电泳技术及结果

（十一）PAGE 法检测突变

在非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳中，DNA 由于序列或构象不同导致电泳迁

移率不同，从而可以将正常链与突变链分离开。将野生型与突变体的靶点区域 2 种 PCR 产物混合后进行变性和复性，形成同源双链和异源双链（含错配碱基）。进行聚丙烯酰胺凝胶电泳（PAGE）分离时，同源双链和异源双链因构象差异，泳动速率不同，形成差异条带，从而检测和鉴定突变。本项目高度模拟了 PAGE 胶制备和电泳的操作过程，便于学生理解和掌握——

知识点（18）PAGE 法检测突变原理

知识点（19）PAGE 胶制备

知识点（20）PAGE 电泳技术及结果

（十二）IAA2 突变体表型观察

将野生型和突变体的拟南芥幼苗分别在含有不同浓度萘乙酸（NAA，植物生长素类似物）的 B5 培养基中培养，观察其对生长素敏感性差异；观察野生型和突变体主根向地性差异，解释 IAA2 与根向地性表型的关系。

知识点（21）野生型与 IAA2 突变体表型差异观察

2-5 实验仪器设备（装置或软件等）

（一）电脑配置

Win7/8/10 64 位及以上版本操作系统。

（二）虚拟软件

模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验项目，推荐使用 360 安全浏览器极速模式，或者使用 360 极速浏览器、火狐浏览器、谷歌浏览器。

（三）实验教学仪器设备

表 1 实验教学仪器设备

设备使用方式	设备
虚拟实验	拟南芥种植相关器具、电击仪、超净台、大容量离心机、真空干燥箱、真空泵、恒温培养箱、恒温振荡器等。
虚拟实验与实体实验	PCR 仪、水浴锅、离心机、烘箱、移液器、冰箱、琼脂糖凝胶电泳仪和电泳槽、PAGE 电泳仪和电泳槽等。

2-6 实验材料（或预设参数等）

（一）拟南芥种植栽培

学习掌握拟南芥种植栽培过程中种子萌发和移苗等关键步骤，包括种子的消毒处理、点板、春化、移苗等。所用实验材料如下：

拟南芥种子、75%乙醇、2.5%次氯酸钠、无菌双蒸水、B5 培养基平板、灭菌土壤、花盆、塑料罩、镊子等。

（二）电击法转化农杆菌

学习掌握电击法转化农杆菌的技术，包括无菌操作接种、农杆菌培养、感受态细胞制备、电击转化等。所用实验材料如下：

农杆菌、质粒、CaCl₂ 溶液、利福平、LB 培养基、电击杯、试管、锥形瓶、离心管等。

（三）花序转染法获取转基因植株

学习掌握花序真空转染法获取转基因植株技术，包括无菌操作接种、农杆菌培养、花序转染等。所用实验材料如下：

含质粒农杆菌、拟南芥植株、利福平、LB 培养基、真空浸润液、Silwet L-77 表面活性剂、试管、锥形瓶、离心瓶、保鲜膜、保湿罩等。

（四）CTAB 法提取拟南芥基因组

学习掌握 CTAB 法提取拟南芥基因组 DNA 的技术，包括组织研磨、核酸纯化、核酸沉淀、核酸溶解等。所用实验材料如下：

拟南芥野生型和待检测突变型叶片、CTAB 溶液、氯仿/异戊醇溶液、75%乙醇溶液、无水乙醇、TE 缓冲液、玻璃棒等。

（五）目标基因片段扩增及其变性复性

学习掌握利用 PCR 技术扩增靶点目标片段，并将野生型与突变体 PCR 产物混合后进行变性复性，包括 PCR 体系配置、PCR 程序设置、变性复性体系配置、变性复性程序设置。所用实验材料如下：

拟南芥野生型和待检测突变型基因组 DNA、DNA 聚合酶、dNTP、PCR 缓冲液、引物、无菌去离子水、PCR 管等。

（六）T7 核酸内切酶酶切法检测突变

学习掌握使用 T7 核酸内切酶酶切并检测异源二聚体 DNA 的方法，包括

T7 核酸内切酶酶切体系配置、琼脂糖凝胶电泳方法等。所用实验材料如下：

靶点目标片段 PCR 产物、野生型与突变体 PCR 产物混合变性复性产物、T7 核酸内切酶、缓冲液、PCR 管、琼脂糖、电泳槽等。

(七) PAGE 法检测突变

学习掌握利用聚丙烯酰胺凝胶电泳检测 DNA 序列和构象差异的方法，包括聚丙烯酰胺凝胶配置、电泳方法等。所用实验材料如下：

靶点目标片段 PCR 产物、野生型与突变体 PCR 产物混合变性复性产物、去离子水、30% ACR-BIS 混合液、1.5M Tris 溶液 (pH 8.8)、10% AP 溶液、TEMED 溶液、玻璃板、制胶器、电泳槽、核酸染料等。

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）

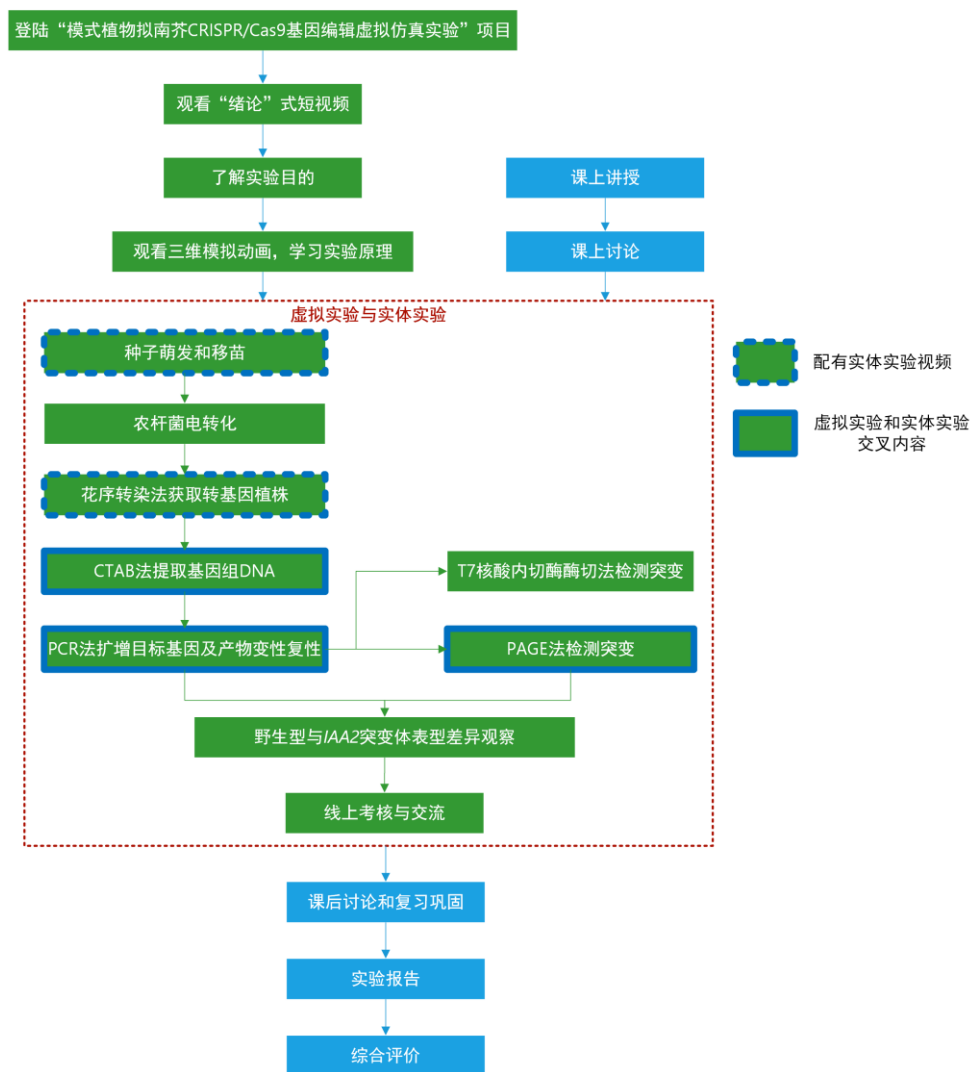


图 2 教学方法实施过程

（一）诱导启发教学法

使用目的：如何激发学生的学习兴趣，提高实验教学质量，是教学中的关键问题。要改变传统教学中学生被动接受的学习方式，需要通过启发学生思维，调动学生学习的主动性和自觉性，让学生在学的过程中独立思考，从而融会贯通地掌握知识，提高分析问题和解决问题的能力。

实施过程：首先，项目中增加了“绪论”元素，学生进入项目时会先播放一段短视频，视频简要介绍了 CRISPR/Cas 技术的来源、发展历程、科学意义和社会效应。一方面使学生认识到相关技术的科学性和前沿性以及开展实验的重要性，激发学生对实验原理和技术的好奇；另一方面，引导学生主动独立思考和讨论，例如 CRISPR/Cas 技术的迅速发展过程、该技术给科学界带来的变革、该技术所引发的社会广泛关注的伦理问题等。其次，通过模拟动画，将理论教学中晦涩难懂的 CRISPR/Cas 系统工作原理变为条理清晰的视频，帮助学生深入理解相关知识；再次，通过学生自主学习，结合课堂提问、讨论和交流，激发学生对实验原理和技术的深层次思考和交流，加深对知识的掌握，提高学习效果。

实施效果：诱导启发教学充分调动课堂气氛，刺激学生学习需要，激发学生求知欲，增强学生学习动力，培养学生思考习惯和创新思维，提高实验教学质量。

（二）虚实结合教学法

使用目的：以我校开设的《遗传学及实验》课程为例，为“双一流建设”和创新型人才培养需要，我校对该课程进行了系列改革，积极将科研成果转化为教学案例，将拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑技术引入实体实验教学中。然而拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑实验整体的综合性强、技术性强、耗时长、难度大、时效性强等特点，使得系统性实验无法在实体实验教学中完全开展。虚拟仿真实验的建设，可以解决实体实验的局限。

实施过程：学生课前通过虚拟仿真实验项目进行原理知识的预习和学习；然后进入虚拟仿真练习模式，通过多次反复练习相关操作，初步掌握相关实验技能，并在达到一定熟练程度后，完成线上考核模式；部分虚拟仿真实验较难

充分展示操作细节的情况下，加入实体实验操作视频，使学生在虚拟实验过程中加强实体感性认识；实体实验课堂上，教师先组织学生进行讨论交流，并对学生有疑问的部分开展重点讲解；组织学生开展部分内容的实体实验，如拟南芥基因组提取、PCR 扩增靶基因、基因片段产物变性复性、PAGE 法鉴定突变体等；学生进行线上练习回顾和课后巩固，撰写实验报告；教师结合学生线上考核成绩和线下考核成绩进行综合评价，实现虚拟实验对实体实验的相互结合和补充。

实施效果：项目将虚拟仿真与实体实验教学有机融合，不受时间、次数、场地和设备的限制，突破实体教学局限，拓展实验教学内容，为实验教学提供全方位的辅助。使学生充分发挥主观能动性，充分利用学习时间，通过综合性和系统性的实验训练，全面掌握相关知识和技能，提高学生的实践能力，锻炼学生的科研能力，达到“虚实结合、以虚促实”的实验教学效果。

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）

（一）实验方法描述

（1）虚拟仿真实验

1）学生访问《模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验》系统，依据各自的用户名和密码登陆进入，首先观看“绪论”短视频。



图 3 “绪论”短视频

2）进入实验，开展在线虚拟仿真操作。系统分为实验目的、实验原理、开始实验、课后巩固、在线交流五大模块。



图 4 实验开始界面

3) 学生首先进入“实验目的”和“实验原理”模块通过阅读文字、查看图片和观看视频的模式学习实验相关基本知识。

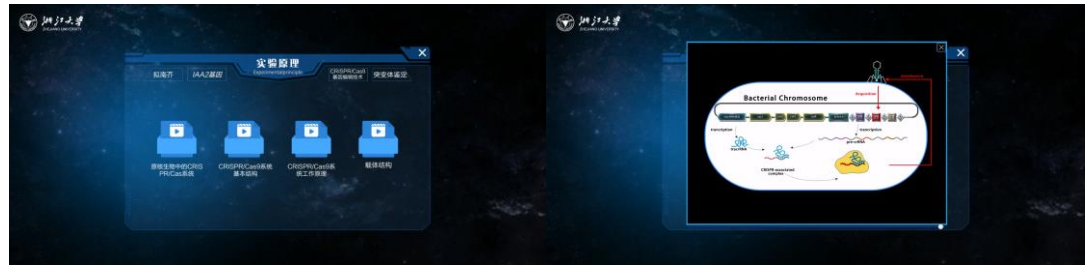


图 5 实验原理

4) 选择进入具体实验模块，实验共 8 个模块；选择需要的实验模式，实验分为“教学模式”、“练习模式”和“考核模式”3 个模式。可先观看教学模式，然后进入练习模式进行练习，熟练后进入考核模式。



图 6 实验模块和实验模式

5) 实验操作完成后，系统记录学生的操作过程，生成统计评价。

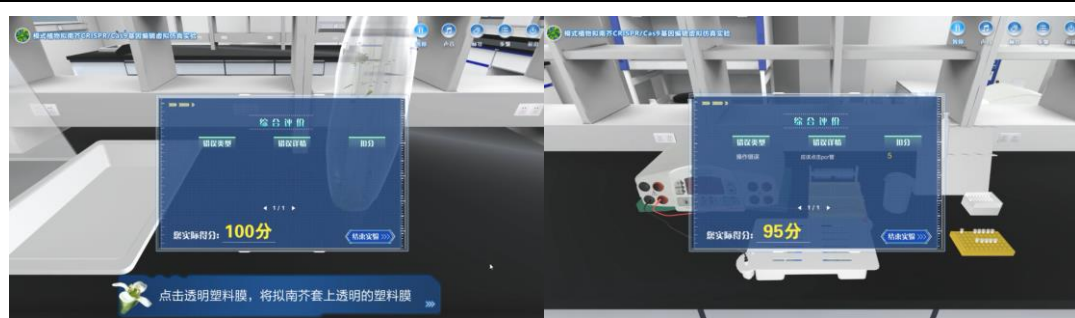


图 7 实验评价

6) 全部实验模块完成后，进入“课后巩固”模块，学生完成在线测试并由系统自动打分。

(2) 实体实验

在实体实验教学中，由教师指导完成拟南芥基因组提取、PCR 扩增目的基因、T7 内切酶法鉴定突变体、PAGE 法鉴定突变体的实验操作；在实体实验后，学生可反复操作虚拟实验部分，以巩固相关的知识点。学生撰写实验报告和心得体会并提交。

(二) 学生交互性操作步骤说明

1) 拟南芥和 CRISPR/Cas 系统工作原理：学生通过阅读文字、查看图片和观看视频的模式学习实验相关基本知识。



图 8 实验原理动画视频

2) 拟南芥种子萌发：对拟南芥种子进行表面消毒后，将种子均匀点在含琼脂的培养基上，低温春化 2 天后光照培养，此部分配合实际操作视频，使学生掌握拟南芥种子萌发的方法。



图 9 拟南芥种子萌发

3) 拟南芥移苗：将拟南芥幼苗移入土壤中培养，并注意温度、湿度和营养，此部分配合实际操作视频，使学生掌握拟南芥移苗的方法。

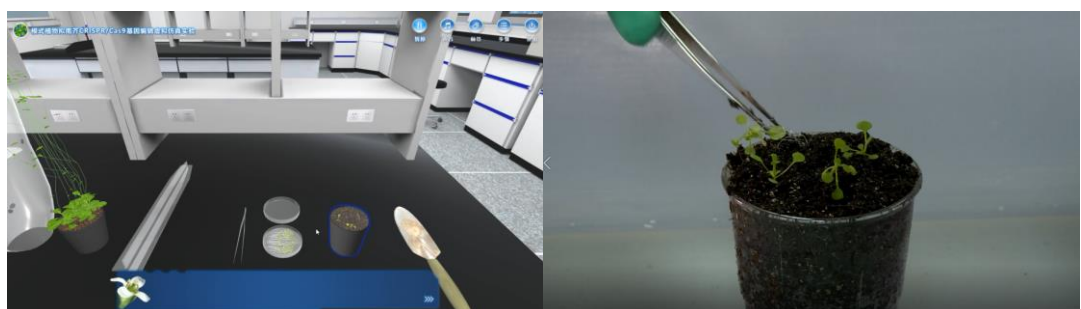


图 10 拟南芥移苗

4) 农杆菌感受态细胞制备：活化农杆菌菌株并扩大培养，采用氯化钙法制备农杆菌感受态细胞，使学生掌握农杆菌感受态制备的方法。



图 11 农杆菌感受态细胞制备

5) 农杆菌电转化：将载体质粒和农杆菌感受态细胞混匀后，高压电击转化并涂布平板，带菌落长出后做菌落 PCR 验证阳性菌落，使学生掌握农杆菌电转化和菌落 PCR 的方法。



图 12 农杆菌电转化

6) 拟南芥花序转染: 在真空浸润液中加入扩大培养的转基因农杆菌和表面活性剂。将拟南芥倒置于真空浸润液中，真空处理 5 分钟，然后常规培养，此部分配合实际操作视频，使学生掌握农杆菌转染拟南芥花序的方法。

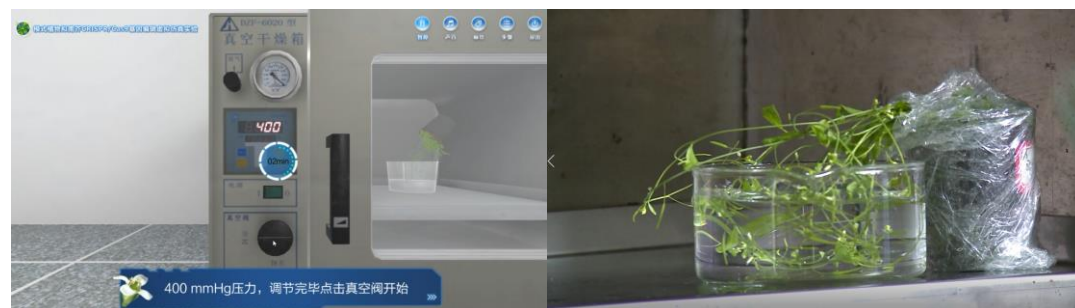


图 13 拟南芥花序转染

7) 拟南芥种子收取: 取植株地上部分，抖动植株使种子落到白纸上，去除植株部分，收集种子到种子袋中，此部分配合实际操作视频，此部分配合实际操作视频，使学生掌握拟南芥种子收取的方法。

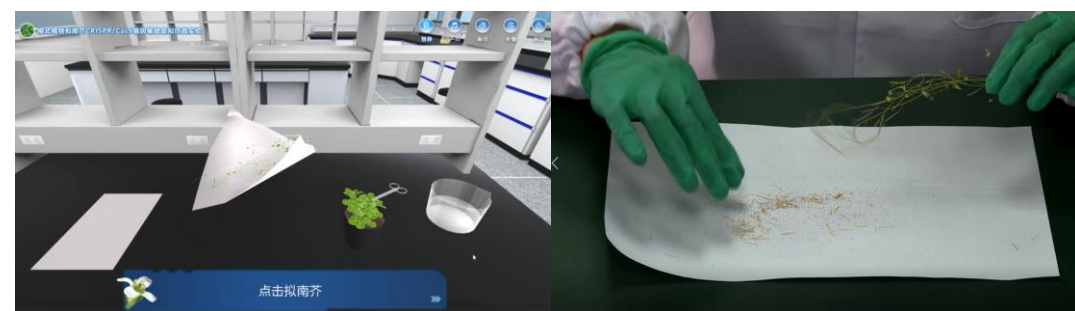


图 14 拟南芥种子收取

8) 拟南芥基因组 DNA 提取: 取野生型和待检测突变型拟南芥叶片，研磨后采用 CTAB 法提取基因组 DNA，使学生掌握拟南芥基因组 DNA 提取方法。



图 15 拟南芥基因组 DNA 提取

9) 靶点基因片段 PCR 扩增: 以野生型和待检测突变型拟南芥基因组 DNA 为模板，采用 PCR 技术扩增靶点基因片段，用于后续鉴定目标突变型，使学生掌握靶点基因片段扩增方法。



图 16 靶点基因片段 PCR 扩增

10) 靶点基因片段变性复性: 将野生型和待检测突变型拟南芥靶点基因片段产物混合，通过高温变性和低温复性的反应，形成异源二聚体 DNA，使学生掌握基因片段变性和复性的方法。



图 17 靶点基因片段变性复性

11) T7 核酸内切酶酶切: 使用 T7 核酸内切酶针对拟南芥野生型 PCR 产物、待检测突变型 PCR 产物和野生型与突变型的混合变性复性产物进行酶切反应，使学生掌握 T7 核酸内切酶酶切方法。

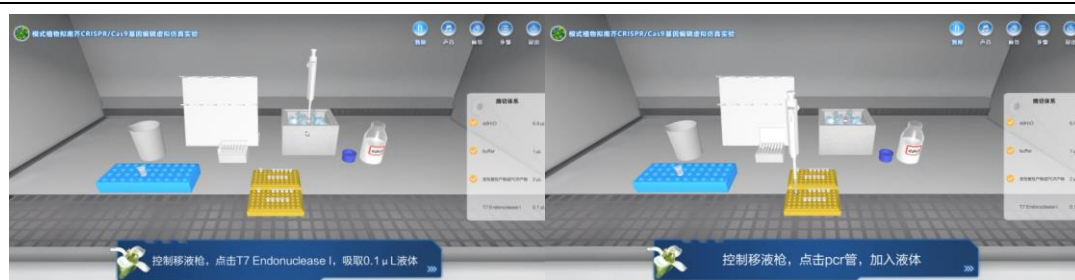


图 18 T7 核酸内切酶酶切

12) 琼脂糖凝胶电泳检测：采用琼脂糖凝胶电泳检测酶切产物中是否有错配的异源双链 DNA，如果酶切产物出现两条长度如预期的较短条带，就意味着 CRISPR/Cas 技术成功地在基因组靶点上引入了突变，使学生掌握琼脂糖凝胶电泳方法和结果判读方法。

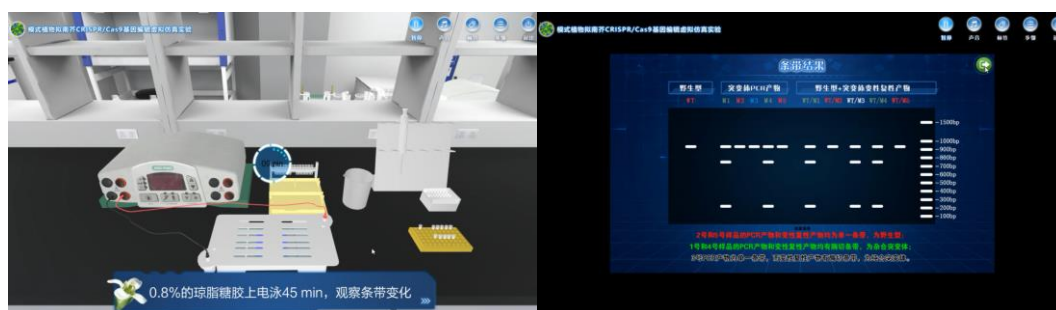


图 19 琼脂糖凝胶电泳检测

13) PAGE 电泳检测：配置非变性聚丙烯酰胺凝胶，同源双链和异源双链因构象差异，泳动速率不同，形成差异条带，从而检测和鉴定突变体，使学生掌握非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳方法和结果判读方法。



图 20 PAGE 电泳检测

14) IAA2 突变体表型观察：观察拟南芥野生型和 IAA2 突变体对生长素敏感性差异，以及 IAA2 与根向地性表型的关系。

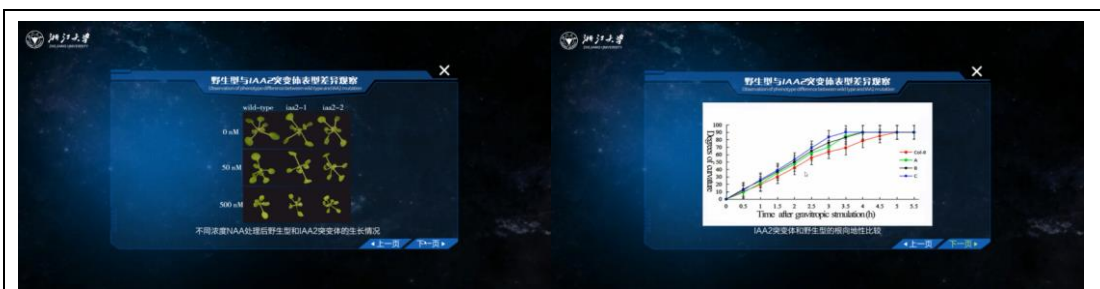


图 21 IAA2 突变体表型观察

2-9 实验结果与结论要求

(1) 是否记录每步实验结果: ☒是 ☐否



图 22 实验操作记录和评价

(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:

本项目实验要求学生通过学习, 掌握 CRISPR/Cas9 新型基因编辑技术的原理, 掌握拟南芥种子萌发和移苗、农杆菌感受态细胞制备、农杆菌电转化、花序转染法获取转基因植株、拟南芥基因组 DNA 提取、目的基因 PCR 扩增和变性复性、T7 核酸内切酶酶切法检测突变和 PAGE 法检测突变等重要技术操作和注意事项。结合实体实验, 学生需根据操作技术和实验结果总结成功或失败的原因, 提交实验报告和心得体会。

2-10 考核要求

本实验采用线上(虚拟仿真实验)和线下(实体实验)考核相结合的方式, 考核主要分为四个考核模块:

理论知识: 学生通过虚拟仿真系统内的实验原理, 学习实验相关知识, 从题库中随机出选择题, 系统自动生成试卷并根据学生作答结果自动评分, 本模

块计分权重 10 %;

虚拟仿真实验操作: 学生通过虚拟仿真系统学习并完成全部实验操作, 学生通过考核模式操作后, 系统根据各步骤操作情况打分并自动记录实验结果, 本模块计分权重 30 %;

实体实验操作: 学生在实验室在教师指导下完成拟南芥基因组提取、靶点片段扩增及变性复性、T7 内切酶法和 PAGE 法突变体鉴定实验, 达到教学或科研水平, 教师根据学生实际操作情况评分, 本模块计分权重 30 %;

实验报告: 根据虚拟仿真实验和实体实验情况, 撰写并提交实验报告和心得体会, 教师根据报告撰写情况进行评分, 本模块计分权重 30 %。

表 2 模式植物的拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验考核要求

考核项目	考核内容	考核场所	考核时间	考核方式	权重
理论知识	实验原理知识掌握情况	虚拟仿真系统	实体实验课前	系统自动生成试卷并评分	10%
虚拟仿真实验操作	虚拟仿真实验学习和操作情况	虚拟仿真系统	虚拟实验过程	系统根据学生操作步骤打分并自动记录实验结果	30%
实体实验操作	实体实验学习和操作情况	实验室	实体实验过程	教师根据学生实际操作情况评分	30%
实验报告	实验报告和心得体会	实验室	教学结束后	教师根据报告评分	30%

2-11 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

本项目适用于必修或选修相关课程的生物科学、生物技术、生态学、农林、环境、生物工程等专业大学三年级及以上学生。

(2) 基本知识和能力要求

在使用本项目前要求学生已预修植物学、分子生物学、生物化学、微生物学、实验室安全等方面的基本知识和实验技能; 具有一定的实验设计以及归纳、整理和分析结果的能力。

2-12 实验项目应用及共享情况

(一) 本校上线时间：2018 年 10 月

(二) 已服务过的本校学生人数：1756

(三) 是否纳入到教学计划：☒是 ☐否

(勾选“是”，请附所属课程教学大纲)

项目已在浙江大学《遗传学及实验》和《基因工程技能训练》等课程实现应用。教学大纲详见附件。

(四) 是否面向社会提供服务：☒是 ☐否

浙江大学已与浙江理工大学、宁波大学等多所高校达成共享协议，实现共享，获得一致好评。共享协议见附件。

(五) 社会开放时间：2018 年 12 月，已服务人数：2785 人次。

3.实验教学项目相关网络及安全要求描述

3-1 有效链接网址

<http://crispr.zju.edu.cn>

3-2 网络条件要求

(一) 说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务）

经测试客户端到服务器的带宽要求为 10 M 及以上。本次带宽初步测试基于主流计算机配置，模拟真实网络学习环境，最大限度的还原用户上网学习虚拟仿真实验项目的需求。测试一：物理连接链路测试，测试方法：本端与连入 internet 上的本次虚拟仿真实验项目网站进行 PING 操作，测试目的：测试虚拟仿真实验项目网站间的延迟情况和丢包情况；测试二：测试线路带宽质量，测试目的：测试不同 ip 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，记录电脑端不同地域 IP 打开虚拟仿真实验项目网页的速度。测试结果现总结如下：

(1) 当客户端到服务器带宽小于 10 M 的时候，ping 主流网站的延时值都非常的高，丢包情况也很严重，基本上保持在 50 ms 以上甚至更高，丢包率也基本大于 5%；

(2) 当客户端到服务器带宽小于 10 M 的时候, 在不同 IP 对本虚拟仿真实验网页打开的随机测试中, 网页打开速度很慢, 尤其是三维模型的加载卡顿现象非常严重, 打开测试不理想。所以建议客户端到服务器的带宽要求为 10 M 及以上。

(二) 说明能够支持的同时在线人数 (需提供在线排队提示服务)

本虚拟仿真实验项目的服务器能够提供的并发响应的最佳数量为 500 人。我们通过对经过测试, 模拟用户在数据量为 5000、10000 的情况下, 每分钟增加用户数 100 个进行循环递增, 最终测试用户达到 10000 的在线访问量, 进行多次连续测试, 完成系统大数据量测试目标。

在测试环境中, 模拟真实使用环境的压力负载, 重现缺陷发生状态, 并监控的客户端和服务器的性能指标。

经过以上测试, 当用户数在 500 以下时, 各项业务操作均能流畅进行; 当用户数上升至 2000 时, 在线虚拟实验操作的实验模块下载会出现卡顿现象, 其它业务操作能够顺利进行; 当用户数上升至 5000 人以上时, 业务操作出现假死现象。

据本次性能测试的结果, 当用户数 2000 以下, 并发进行业务操作时, 基本能够维持平台的正常运行; 当用户数超过 5000 时, 服务器的 CPU 占用持续达到 100%, 并出现假死现象, 系统不能够正常运行。

因此, 经测试该项目支持 500 个学生同时在线并发访问和请求, 如果单个实验被占用, 则提示后面进行在线等待, 等待前面一个预约实验结束后, 进入下一个预约队列。

3-3 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

虚拟仿真实验要求在操作系统为 windows7 64 位、win8 64 位或 win10 64 位操作系统的电脑上运行。

(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

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

(勾选“是”，请填写) 插件名称

插件容量

下载链接

(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）

该虚拟仿真实验采用网页浏览形式打开，不需要下载。本虚拟仿真实验需要使用 360 安全浏览器极速模式打开，或者使用 360 极速浏览器、火狐浏览器、谷歌浏览器打开实验。

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

CPU 要求：建议采用 intel 酷睿 i3 2.6 赫兹及以上 CPU；

内存要求: DDR3 4GB 以上内容; 显存要求: 1GB 以上显存;

存储容量要求：系统盘可用空间 10GB 及以上。

(2) 其他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

无。

(2) 其他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) 2 级

4.实验教学项目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	本项目的教学资源可实现对相关实验课程面向国内各大院校开展必修课或选修课的虚拟仿真实验教学,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具有自主知识产权,集实物仿真、场景虚拟、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,具有良好自主性、交互性和可扩展性的虚拟实验项目,同时为其它学科的相关实验课程提供互联的标准接口,底层的构件库,并为上层的调用提供标准化的调用接口,为用户提供统一的访问接入服务和通用的用户服务工具包。 系统总体架构图如下:  The diagram illustrates a four-layer architecture. The top layer is the 'Application Layer' (应用层) containing 'Virtual Simulation Experiment' (虚拟仿真实验). The second layer is the 'Simulation Layer' (仿真层), divided into 'Visualization' (可视化) with 'Virtual Instrument' (虚拟仪器) and 'Graphic Drawing' (图形绘制); 'Modeling and Configuration' (建模与装配) with 'Scene Construction' (场景构建), 'Component Modeling' (构件建模), and 'Component Assembly' (构件装配); and 'Simulation Analysis' (仿真分析器). The third layer is the 'Service Layer' (服务层), titled 'Open Virtual Simulation Experiment Teaching Management Platform' (开放式虚拟仿真实验教学管理平台), including 'Experiment Teaching Management' (实验教学管理), 'Experiment Teaching Management' (实验教学管理), 'Theoretical Knowledge Learning' (理论知识学习), 'Experiment Resource Management' (实验资源管理), 'Experiment Intelligent Guidance' (实验智能指导), 'Teaching Effect Evaluation' (教学效果评估), 'Experiment Automatic Marking' (实验自动批改), 'Experiment Report Management' (实验报告管理), 'Teacher-Student Interaction' (师生互动交流), and 'Integrated Interface Tools' (集成接口工具). The bottom layer is the 'Support Layer' (支持层), including 'Security Management' (安全管理) with 'Identity Authentication' (身份认证), 'Authentication Center' (认证中心), 'Access Control' (访问控制), and 'Container and Service Security' (容器和服务安全); 'Service Container' (服务容器) with 'Service Deployment' (服务部署), 'Service Monitoring' (服务监控), 'Service Batch Processing' (服务批处理), and 'Service Notification' (服务通知); 'Data Management' (数据管理) with 'Data Access' (数据访问), 'Data Caching' (数据缓存), and 'Data Conversion' (数据转换); and 'Domain Management' (域管理) with 'Monitoring Analysis' (监控分析), 'Log Statistics' (日志统计), and 'System Management' (系统管理). To the right is the 'Data Center' (数据中心) containing 'User Information' (用户信息), 'Course Library' (课程库), 'Typical Experiment Library' (典型实验库), 'Basic Model Library' (基础模型库), 'Rule Library' (规则库), 'Standard Answer Library' (标准答案库), and 'Experiment Data' (实验数据). Arrows indicate data flow between layers and the Data Center.
实验教学项目	开发技术 ☐VR ☐AR ☐MR ☒3D 仿真 ☐二维动画☐HTML5 其他_____ 此虚拟仿真实验涉及的室内外环境、仪器设备、人员、工具产品等采用 ZBrush 进行基础模型。ZBrush 相对于传统的 Maya 软件在细节雕刻上更胜一筹,可

		以根据需要进行材质、光照等的渲染，增加体验感。同时应用 ZBrush 制作出的产品在运行时更加流畅，符合对于网速的要求。基础模型制作好后导入 3Ds MAX 进行修整、合并、优化。3Ds MAX 是基于 PC 系统的三维动画制作和渲染软件，价格低廉，操作简单，可降低制作成本。3Ds MAX 优化后的结果通过 3d-coat 软件进行贴图,将虚拟实验涉及的真实图片进行粘贴。3D-Coat 将真实图片通过法线、置换等方式输出更符合实际颜色、质感的三维图像。最后通过 UNITY3D 软件对于将前期的内容进行整合。虚拟实验用到的音频和视频素材采用 AE 软件进行编辑和剪辑，然后也导入 unity3d 中整合。最后通过 C#语言编写程序实现 3D 交互步骤、实现视角控制、灯光控制以及最终的程序界面设计等。
	开发工具	☒ Unity3D ☐ 3D Studio Max ☐ Maya ☐ ZBrush ☐ SketchUp ☐ Adobe Flash ☐ Unreal Development Kit ☐ Animate CC ☐ Blender ☐ Visual Studio ☐ 其他
	运行环境	服务器 CPU <u> 8 </u>核、内存 <u> 64 </u>GB、磁盘 <u> 2048 </u>GB、 显存 <u> 4 </u>GB、GPU 型号 <u> 至强 </u> 操作系统 ☒Windows Server ☐Linux ☐其他 具体版本 <u> 2012 </u> 数据库 ☐Mysql ☒SQL Server ☐Oracle 其他 <u> </u> 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>
	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	(1) 模型制作规范 系统中模型、材质、纹理等文件必须规范命名及分层、分类管理,命名中不可有中文名称,不能重名,易于识别,模型格式至少是.stl、.fbx 或.3ds; 均为 3D 效果,构建与实物 1:1 比例非拟人化、非漫画形象,仿真度高; 单个 max 文件里如有多个物体,需将多个物体打组 (单个物体无需打组), 静态辅助物体需

	分辨率等)	要 attach 成一个物体；材质球命名与物体名称一致，材质球的 ID 号和物体的 ID 号必须一致；模型制作既要保证逼真的质量又要控制好三角面的数量,单个模型的面数不得少于 200000 面；模型的中心点在模型的中心位置。 (2) 贴图材质规范 模型材质要进行烘焙处理，以生成带有阴影、高光、反射等效果的贴图；所有模型采用实物贴图，并做优化处理，要色彩协调、明暗和冷暖统一，贴图格式为.DDS，进行法线贴图处理来达到最佳的视觉效果；一个物件给一张贴图，颜色贴图不要放在凹凸通道里，一张贴图要占满整个画布，不能出现浪费贴图空间的情况，场景中连续贴图不能看到有明显的缝隙；UV 展开要均匀舒展，避免拉伸，最大化提高 UV 的利用率；材质大小长宽像素为 2 的次方倍数，贴图大小最大不超过 2048×2048；同种贴图必须使一个材质球。 (3) 场景制作规范 场景制作：无分辨率限制，能够支持 1920×1200 以上分辨率的三维视景，1:1 实物大小显示，可对场景模型进行实时顶点优化和动态加载 LOD 设置调整，根据视觉效果调整优化比例，减少数据量，提高运行效率，帧速率 25 帧以上；场景布置：基本物件在制作过程中严禁有缩放,有旋转的物体应保留旋转信息，不要镜像物体。 (4) 音视频及文字制作规范 声音：场景音效、声音解说要求制作逼真，采用专业的普通话进行配音； 视频：在场景对象上可嵌入外部视频文件，视频文件格式支持不少于 AVI、WMV、MPA、MPG、MP3 格式。要实现视频流的预读取功能，以保证视频播放流畅； 系统内嵌提醒帮助机制，在各个子界面中，采用场景对象方式，设计文本提示框等信息，系统设置帮助文档，浮动帮助文字。
--	--------------	--

5.实验教学项目特色

(体现虚拟仿真实验教学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。)

(一) 实验方案设计思路

(1) 突破实体教学局限，拓展实验教学内容，提高学生培养质量

根据“双一流建设”和创新型人才培养需要，我们积极将科研成果转化为教学案例，更新传统教学内容，增加前沿性和创新性实验项目，将模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑技术的部分实验引入实体实验教学中。本项目将实体实验教学难以完全开展的综合性强、技术性强、难度大且耗时长实验设计开发为交互性强和易操作的虚拟仿真实验项目，突破实体教学的时间、场地和设备局限，丰富实验教学内容，拓展学习的广度和深度，加深学生对专业知识和前沿技术的理解，提高学生实践能力，充分激发学生学习兴趣，培养并拓展学生创新思维，可在全国范围内相关院校和科研单位推广共享。

(2) 基于模式植物和前沿技术，融合科研和教学，兼具科学性和先进性

拟南芥是开展植物遗传分析、基因克隆和功能研究的重要模式植物，CRISPR/Cas9 技术是最新最热门的基因编辑技术，该技术发展迅速、应用效益显著。项目结合实验教学实际需求，利用学科优势，转化科研成果，基于模式植物拟南芥和前沿技术 CRISPR/Cas9，针对 CRISPR/Cas 系统结构与功能、CRISPR/Cas 系统工作原理、拟南芥培养与转基因、拟南芥突变体筛选和鉴定等复杂原理和技术，构建了虚实结合的综合性实验教学体系，项目具有良好的必要性、科学性、系统性和先进性，也具有广泛的应用价值。

(二) 教学方式方法

本项目遵循“虚实结合、以虚补实、以虚促实、能实不虚”的原则，以学生为本，以学生自主学习为核心，引导学生根据课程需要或自身兴趣主动完成综合性实验，经典实体实验和虚拟仿真实验相辅相成，切实提高学生创新意识和实践能力。

诱导启发教授实验原理，通过绪论引导视频，介绍实验项目的科学性和前沿性，激发学生求知欲；通过模拟动画，将理论教学中晦涩难懂的 CRISPR/Cas

系统工作原理变为条理清晰的视频，帮助学生深入理解相关知识；通过课堂讨论交流，引导学生深入思考，培养学生独立思考能力和创新思维。

虚实结合教学实验操作，采用虚拟仿真实验操作和实体实验操作相结合的方式，虚拟实验体现教学资源的综合性和系统性，实体实验更注重实际实践和体验。部分虚拟仿真实验较难充分展示操作细节的情况下，加入实体实验操作视频，使学生在虚拟实验过程中加强实体感性认识。项目充分体现“虚实结合、以虚补实、以虚促实、能实不虚”的原则，利于学生开展全面系统的实验训练。

（三）评价体系

本项目的评价体系由理论知识、虚拟仿真实验操作、实体实验操作、实验报告等四部分组成，综合评定总成绩。系统根据测试题以及预设的实验步骤和标准进行评定，教师根据实体实验操作和实验报告进行评定，将虚拟仿真实验与传统实体实验有机结合，探索多元化、综合性的评价体系，以保证评价的全面和客观，有利于全方位评估学生的学习成效，也有利于人才培养质量的提升。

（四）对传统教学的延伸与拓展

本项目的建设，将传统教学难以实施的综合性实验通过虚拟仿真实验实现，将虚拟仿真与实体实验教学有机融合，将现代信息化技术与传统人才培养模式相结合，突破了实体教学局限，拓展了实验教学内容，为实验教学提供有力辅助。学生充分发挥主观能动性，不受时间、次数、场地和设备的限制，充分利用学习时间，通过综合性和系统性的实验训练，全面掌握相关知识和技能，切实提高学生实践能力、创新能力和科研能力，达到“虚实结合、以虚促实”的实验教学目的和效果，助力本领域综合创新型人才培养。

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）

（一）项目持续建设与服务计划

今后五年中，项目将拓展设计靶基因和靶序列选择、引物设计、载体构建、序列测定与分析等学生可个性化选择的交互模块，进一步系统构建全面真实的拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑系统。此外，移动学习是一种更加便捷的学习方式，项目将着力开发手机客户端虚拟仿真平台，实现学生随时随地的学习的，

便捷地高效利用学习资源。

（二）面向高校的教学推广应用计划

模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验项目实验模块丰富，涉及植物学、分子生物学、基因工程、遗传学等多种学科，可适用于生命科学学院、农学院、医学院和环境学院等多个学院的多类课程，可在众多高校广泛应用。目前，该实验项目已经在浙江大学、浙江理工大学、宁波大学等高校的相关课程中得以应用，今后五年中，项目将面向全国高校免费开放共享，进一步面向其他高校推广应用，在全国范围内实现辐射共享。

（三）面向社会的推广应用计划

今后五年中，项目将面向中小学生、中学生物教师以及相关单位等进行科普展示和推广应用，具体推广应用计划为：1)利用中学生物教师继续教育以及中小学生夏令营、奥赛培训、游学和研学等活动，对中学生物教师和中小學生进行科普展示和推广应用，培养学生科学素养，激发学生科学兴趣；2)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 CRISPR/Cas 基因编辑技术的展示与学习，普及前沿科学知识；3)已申请到实验条件改善经费，计划于 2020 年建设虚拟仿真实验智慧教室，与学校相关继续教育机构合作，面向社会学员推广项目，为生物类人才培养和生物科普教育做出贡献。

7.知识产权

软件著作权登记情况	
软件著作权登记情况	☐ 已登记 ☒ 未登记 正在办理登记
完成软件著作权登记的，需填写以下内容	
软件名称	
是否与项目名称一致	☐ 是 ☐ 否
著作权人	
权利范围	
登记号	

8. 诚信承诺

本人承诺：所申报的实验教学设计具有原创性，项目所属学校对本实验项目内容（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项目的一切资源）享有著作权，保证所申报的项目或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

本人已认真填写、检查申报材料，保证内容真实、准确、有效。

实验教学项目负责人（签字）：



2019 年 9 月 10 日

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。）

无。

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。

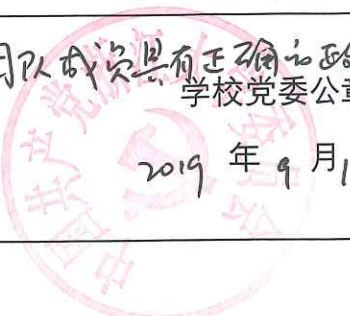
主管校领导（签字）：

（学校公章）

2019年9月19日

浙江大学申报国家虚拟仿真实验教学项目

校内政治审查表

项目名称	模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验
项目负责人	吴敏
项目负责人所在学院	生命科学学院
项目团队成员	霍颖异、王君晖、史影、朱旭芬、赵小立、王国强、程磊、黄爱军、金文涛、徐程、魏炜、黄天宇、胡雅轩
项目链接网址	http://crispr.zju.edu.cn
学院党委 政治审查意见	项目负责人吴敏教授为浙江大学求是特聘教授, 荣获国家级教学名师、全国优秀教师、全国高校优秀思想政治教育工作者、浙江省十大育人先锋等称号。课程负责人和团队老师政治立场坚定, 拥护党的路线、方针和政策, 思想和行动上能与以习近平同志为核心的党中央保持一致。项目是根据“双一流建设”和创新型人才培养需要建设的综合性虚拟仿真实验项目, 面向浙江大学和全国高校大学生以及社会上从事相关行业的技术人员。项目注重科学性、前沿性和系统性, 传播生命科学知识, 增强生命科学素养, 提高实践能力, 培养创新思维, 符合人才培养需要, 体现社会主义核心价值观。 经审查, 该项目及团队成员具有正确的政治方向和价值取向。  负责人签名:  学院党委公章 2019年9月10日
学校党委 政治审查意见	经审查, 该项目及团队成员具有正确的政治方向和价值取向。  学校党委公章 2019年9月16日

浙江大学《遗传学及实验》教学大纲

课程代码：07120710

课程名称：遗传学及实验

学分：4.0

周学时：3.0-2.0

面向对象：生物科学、生物技术、生物信息学和生态学等专业

预修课程要求：生物化学、微生物学和细胞生物学

一、课程介绍

（一）中文简介

遗传学是研究基因的传递及其变异规律的一门科学。本课程主要介绍：一，孟德尔遗传学和摩尔根遗传学的基本原理；二，染色体的结构、功能和变异；三，基因的结构、功能和变异；四，基因组学和表观遗传学；五，发育遗传学和基因表达调控；六，细胞质遗传和母性影响；七，复杂性状的基本遗传规律；八，群体遗传学和进化遗传学。

（二）英文简介

This course is a degree program for undergraduate students of Zhejiang University. Genetics is the science of heredity and variation about genes of living organisms. The course include eight parts: a) Basic principles of Mendel's and Morgan's laws. b) Structure, function and variation of chromosomes. c) Structure, function and mutation of genes. d) Genomics and epigenetics. e) Developmental genetics and the regulation of gene expression. f) Genetics of complicated traits. g) Population genetics and evolutionary genetics.

二、教学目标

通过本课程的学习，让学生掌握现代遗传学的基本原理和分析方法，包括孟德尔遗传规律及其延伸，摩尔根基因论，微生物和分子遗传学，数量遗传和群体遗传规律；在这个基础上，认识免疫遗传、肿瘤遗传、发育遗传、进化遗传、基因表达调控以及基因组学的初步知识，为学生今后从事生命科学方面的工作或进一步深造打下基础。

三、课程要求

（一）授课方式与要求

授课方式：a.教师讲授，多媒体课件；b.课后习题和文献阅读；c.实验课，教师示范，学生实际操作；d. 期末闭卷考试

课程要求：遗传分析思想和遗传分析的方法是本课程要重点教学的内容，因此，本课程要求学生知识的理解和应用能力，而不是单纯的记忆；每次实验课，都要做实验报告，学生的实际操作能力是教师打分的重要依据之一。

说明：由于课程的性质，授课教师将布置习题，这些习题的类型和解题思路将是期末考试的重要复习内容之一；另外，课程在期末考试时会重点考查学生的理解能力和解决问题的能力。

（二）考试评分与建议

期末闭卷考试开始占 60%，理论课和实验课出勤率、课堂表现和实验报告等占 40%。

四、理论课教学安排

第一次：遗传学的诞生和孟德尔分离规律（理论学时 3）

1. 教学内容

- （1）什么是遗传学
- （2）遗传学的诞生与发展
- （3）遗传学的分支学科
- （4）遗传学的学科特点
- （5）遗传学的应用
- （6）孟德尔分离定律
- （7）孟德尔实验成功原因
- （8）孟德规律的重新发现

2. 基本要求

- （1）掌握遗传学的发展历史
- （2）掌握遗传学的学科特点
- （3）认识孟德尔实验成功的原因

第二次 自由组合规律和孟德尔规律的延伸（理论学时 3）

1. 教学内容

- （1）自由组合定律
- （2）孟德尔规律的普遍性
- （3）遗传学中的数理统计
- （4）孟德尔规律延伸，基因相互作用
- （5）复等位基因

2. 基本要求

- （1）掌握分离规律和自由组合规律的原理和应用
- （2）掌握非等位基因相互作用的基本类型
- （3）掌握统计检验的基本方法

第三次： 连锁互换规律（理论学时 3）

1. 教学内容

- （1）研究连锁互换规律的历史
- （2）两点测交
- （3）两点杂交
- （4）三点杂交

(5) Y 染色体非交换区与人类迁移

2.基本要求

(1) 掌握连锁互换规律的原理和应用

(2) 能进行遗传作图和基因定位

第四次： 基因的现代概念（理论学时 3）

1.教学内容

(1) 传统的基因概念

(2) 基因是可分的：顺反子

(3) 一个基因一个酶

(4) 重叠基因

(5) 超基因与基因家族

(6) 单一序列和重复序列

(7) 断裂基因

(8) 可转座基因

(9) 癌基因与抑癌基因

2.基本要求

(1) 掌握基因概念的发展过程

(2) 掌握与现代基因概念相关的理论知识

第五次： 染色体外基因 （理论学时 3）

1.教学内容

(1) 基本原理

(2) 叶绿体

(3) 线粒体

(4) 三系法杂交水稻

(5) 线粒体在进化分析中的作用

2.基本要求

(1) 掌握细胞质遗传和核遗传的区别

(2) 掌握细胞质遗传的基本规律

第六次： 染色体及其结构变异（理论学时 3）

1.教学内容

(1) 遗传的染色体学说

(2) 染色体的基本结构

(3) 染色体的组型和核型

(4) 染色体畸变原因

- (5) 染色体结构变异：缺失 重复 倒位 易位

2.基本要求

- (1) 掌握染色体端粒和着丝粒的功能
- (2) 掌握染色体结构变异的基本类型

第七次：染色体数目变异和表观遗传学（理论学时 3）

1.教学内容

- (1) 染色体数目变异：整倍体
- (2) 染色体数目变异：非整倍体
- (3) 表观遗传学：DNA 甲基化和基因组印记
- (4) 表观遗传学：组蛋白乙酰化
- (5) 表观遗传学：X 染色体随机失活

2.基本要求

- (1) 掌握单倍体和多倍体的应用
- (2) 掌握后天环境和表观遗传学之间的联系

第八次：基因突变和重组的机理（理论学时 3）

1.教学内容

- (1) 基因突变分类
- (2) 基本突变的原因
- (3) 基因重组和基因转换
- (4) 动态突变：定义 产生原因 致病机理

2.基本要求

- (1) 掌握基因突变的分类方法
- (2) 掌握重组的分子机理

第九次：基因组学初步（理论学时 3）

1.教学内容

- (1) 基因组大小
- (2) C 值悖论
- (3) DNA 序列的分类
- (4) 基因组学研究内容
- (5) 非编码 RNA 基因
- (6) 分子标记和遗传作图
- (7) 基因克隆方法
- (8) 基因治疗和基因敲除

2.基本要求

- (1) 掌握常见生物基因组的大小
- (2) 掌握分子标记技术及其应用
- (3) 掌握基因克隆的常用方法

第十次： 基因与发育（理论学时 3）

1.教学内容

- (1) 果蝇的发育生物学，果蝇胚胎发育过程
- (2) 母体效应基因，裂隙基因，成对规则基因
- (3) 体节极性基因，同源异型基因
- (4) 性别的决定与发育，性染色体
- (5) 果蝇性别决定，哺乳动物性别决定
- (6) 其他类型的性别决定
- (7) 珠蛋白基因的表达活性
- (8) 免疫球蛋白基因的重排与表达

2.基本要求

- (1) 掌握果蝇发育中的五类基因
- (2) 掌握性别决定的类型
- (3) 掌握免疫球蛋白多样性的原理

第十一次： 基因表达调控（理论学时 3）

1.教学内容

- (1) 顺式作用元件和反式作用因子
- (2) 调控元件举例
- (3) 转录因子
- (4) 转录水平的调控
- (5) 转录后水平的调控
- (6) 翻译水平的调控
- (7) 翻译后水平的调控

2.基本要求

- (1) 掌握基因表达调控的层次
- (2) 掌握原核生物和真核生物在调控方面的区别

第十二次： 数量遗传学初步（理论学时 3）

1.教学内容

- (1) 数量性状与质量性状
- (2) 多基因学说

(3) 近交系数计算

(4) 杂种优势

2.基本要求

(1) 掌握数量性状和质量性状的区别

(2) 掌握近交系数的计算方法

第十三次：遗传率的计算和分子数量遗传学（理论学时 3）

1.教学内容

(1) 遗传率计算：广义遗传率

(2) 遗传率计算：狭义遗传率

(3) 分子标记和分子数量遗传学

(4) 全基因组相关性分析与复杂性状基因定位

2.基本要求

(1) 掌握广义遗传率的计算方法

(2) 认识基因组学和数量遗传学的结合趋势

第十四次：群体遗传学（理论学时 3）

1.教学内容

(1) 基因频率

(2) 哈代—温伯格定律

(3) 突变的影响，选择的影响，突变和选择的影响

(4) 选择对杂合体有利

(5) 遗传漂变和奠基者效应

2.基本要求

(1) 掌握基因频率的计算方法

(2) 掌握遗传平衡定律及其影响因素

第十五次：进化遗传学（理论学时 3）

1.教学内容

(1) 基因组的起源和进化：新基因的获得

(2) 分子种系发生遗传学

(3) 现代人的起源

(4) 进化的学说

(5) 三界学说

2.基本要求

(1) 掌握关于进化的主要理论

(2) 掌握现代分子生物学在进化分析中的作用

第十六次：遗传工程学（理论学时 3）

1.教学内容

- (1) 工具酶
- (2) 载体
- (3) 转基因生物
- (4) 转基因方法和类型

2.基本要求

- (1) 掌握重组 DNA 技术的基本原理
- (2) 掌握转基因方法的分类

五、实验课时安排

实验 1 减数分裂的观察（2 学时）

1.教学内容

- (1) 掌握用蝗虫精巢观察减数分裂的方法
- (2) 了解减数分裂各时期及其遗传学特点

2.基本要求

- (1) 自己染色体制片观测到减数分裂的各时期
- (2) 理解认识染色体行为与基因行为的平行关系

实验 2 果蝇饲养和性状观察（3 学时）

1.教学内容

- (1) 果蝇生活史
- (2) 果蝇麻醉和培养方法
- (3) 果蝇常见性状与品系

2.基本要求

- (1) 掌握果蝇麻醉和培养方法
- (2) 学会快速区分果蝇常见性状与品系

实验 3, 4, 5 果蝇杂交实验（8 学时）

1.教学内容

- (1) 自由组合规律
- (2) 连锁互换规律
- (3) 伴性遗传规律

2.基本要求

- (1) 掌握果蝇杂交的原理与方法
- (2) 掌握三点测交等遗传作图的方法

实验6 果蝇唾腺染色体观察（3 学时）

1.教学内容

- （1）染色体畸变研究的实验材料
- （2）染色体畸变的类型
- （3）唾腺染色体的制作方法

2.基本要求

- （1）掌握果蝇唾腺染色体的制作方法
- （2）绘制果蝇唾腺染色体

实验7 启动子功能的报告基因观察法（3 学时）

1.教学内容

- （1）报告基因及其应用原理
- （2）报告基因的检测方法
- （3）启动子和编码区的关系

2.基本要求

- （1）掌握 GUS 基因的显色原理和检测方法
- （2）分析生长素响应启动子的工作机理

实验8 人类线粒体与母系遗传（3 学时）

1.教学内容

- （1）线粒体 DNA 分析在进化/法医等方面应用
- （2）人线粒体 DNA 分析的基本方法
- （3）进化树和亲缘关系图谱构建方法

2.基本要求

- （1）人线粒体 DNA 两个高可变区的 PCR 扩增
- （2）PCR 产物的测序和序列比对
- （3）知悉自己的母系系谱

实验9 用 CAPS 分子标记鉴定人 ABO 血型的基因型（2 学时）

1.教学内容

- （1）CAPS 分子标记的原理
- （2）CAPS 分子标记鉴定 ABO 血型基因型的原理

2.基本要求

- （1）掌握 PCR 实验技术的原理和操作过程
- （2）了解 DNA 凝胶电泳及其观察方法
- （3）知悉自己 ABO 血型的基因型

实验 10 CRISPR/Cas9 基因编辑突变体的构建和鉴定 (8 学时)

1. 教学内容

- (1) CRISPR/Cas9 基因编辑原理
- (2) 突变体检测原理
- (3) 模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验
- (4) 拟南芥野生型及突变体 DNA 提取及 PCR
- (5) 基因编辑突变体 PCR 产物琼脂糖、PAGE 电泳

2. 基本要求

- (1) 掌握拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑及突变检测的原理和方法

六、参考教材及相关资料

推荐教材： 理论课部分，

遗传学，刘祖洞 等编，高等教育出版社，2013 年，第三版

实验课部分，

现代遗传学实验，朱睦元、王君晖主编，浙江大学出版社，2009 年

参考书目： 现代遗传学，赵寿元、乔守怡主编，高等教育出版社，2008 年，第二版

Introduction to Genetic Analysis, AJF Griffiths 等编，WH Freeman Press, 第 11 版。

七、课程教学网站：

理论课件：

网易公共邮箱 zjugenectis@163.com

实验课件：

http://www.zjubiolab.zju.edu.cn/page/coursenews.php?coursenews_courseCatalogId=17

虚拟仿真实验教学资源：

<http://crispr.zju.edu.cn>

浙江大学本科教学日历

周 数 8
实 验 32 学时

课程名称《遗传学及实验》（实验部分）

主讲教师 王君晖
辅导教师 王君晖

2018-2019 学年 春夏学期

周 次	日期	实验教学环节		
		实验内容	课内学时	课外学时
春 3	03.12	果蝇的雌雄鉴别和性状观察 减数分裂标本的制作与观察	4	
春 5	03.26	果蝇的杂交实验 果蝇唾腺染色体标本的制作与观察	4	2
春 7	04.09	ABO 血型的基因型鉴定（第一次，毛囊 DNA 提取，PCR 扩增及酶切） 人类线粒体 DNA 遗传多态性分析（第一次，PCR 扩增） 果蝇 F1 代的自交及计数	4	
春 9	04.23	ABO 血型的基因型鉴定（第二次，电泳及结果分析） 人类线粒体 DNA 遗传多态性分析（第二次，电泳及 PCR 产物纯化,测序，分析原理） 果蝇杂交结果的统计（第一次）	4	2
		果蝇杂交结果的统计(10 天，至少计数 2 次)		
夏 1	04.30	CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验	4	
夏 3	05.14	CRISPR/Cas9 基因编辑突变体鉴定	4	
夏 5	05.28	报告基因及启动子功能的观察	4	

说明：1、按教学大纲编排教学日历时应参照校历考虑假日。
2、教师应按照教学大纲授课，确保教学大纲的基本要求。
3、本日历填毕，由系主任审核签字后，在开课三周内交学院本科教育科。

2019 年 3 月 5 日

浙江大学《基因工程技能训练》教学大纲

课程代码：07120200

课程名称： 基因工程技能训练

课程总学时：96 学时 实验学时：96 学时

课程总学分：3 学分 实验学分：3 学分

面向对象：生物科学、生物技术、生物信息学和生态学等专业三年级学生

一、实验教学目的与基本要求

随着分子生物学的迅猛发展，基因工程方法技术已广泛渗透到现代生命科学的各个分支领域，成为生物工程的核心技术。本教学大纲根据基因工程研究的发展趋势，结合基因操作技术和分子生物学研究工作中经常使用的基本方法和技术以及从自然界中克隆基因的基本思路编写而成的。

通过《基因工程实验》的学习，使学生了解基因工程的四大要素，知晓从自然界的生物中克隆所需目的基因的基本思路和策略，启发学生的思维，让学生熟悉从最基础的核酸、质粒的提取开始，到基因分离方法的确定、基因的克隆、鉴定、表达以及最终能获得目的基因的表达产物的整个过程。使学生对基因工程有一个全方位的、比较系统的认识。通过一系列实验，加强学生动手能力，提高基本操作技能，使学生具备从事分子生物学教学和科研的基本能力。

本课程共 96 学时，安排在大三暑假短学期，进行为期十天的集中学习与实验训练。

二、主要仪器设备

低温台式离心机（eppendorfcentrifuge5417R）2 台；台式离心机（eppendorf）3 台；落地式高速离心机 1 台；高压蒸汽消毒锅(LDZX-40BI)全自动 1 台；PCR 仪器 98 孔 1 台；电子秤 MettlerToledoPB2002-NMax2100g1 台 MettlerToledoAB204-E0.1mg1 台；DNA 电泳仪、电泳槽、制胶板 5 套；微量移液器 10、2-20、20-200、100-1000 各 15 支、微量移液器 50001 支；DNA 电泳凝胶成像系统胶 1 台；紫外投射反射分析仪（ZF 型）1 台；恒温水浴（16℃）1 台；制冰机（AF-200）1 台；超净台（有紫外灯）2 个；生化培养箱 4 台；冰箱（四星级）3 台；蛋白质电泳槽、制胶板（bio-rad）5 套；蛋白电泳仪 2 台；纯水器（重蒸水制备用）1 套；微波炉 2 台；干燥箱 2 台；水浴锅 3 台；恒温摇床 3 台；超声波清洗机 1 台；旋涡振荡器 15 个；台式脱色摇床 5 台；分光光度计 2 台；核酸凝胶转移装置 5 个；核酸杂交仪 1 台；pH 计 1 台；超声波破碎仪 1 台；-70℃冰箱 1 台。

三、实验课程内容和学时分配

序号	实验项目名称	实验内容	学时分配	实验类型	每组人数
1	DNA 提取	染色体 DNA 提取、核酸电泳	8	综合性	2
2	PCR 反应	PCR 扩增、电泳、提纯、电泳	12	综合性	2

3	质粒提取	质粒提取、电泳	8	综合性	2
4	核酸酶切	PCR 产物与质粒酶切、电泳、割胶、过柱纯化、电泳	12	综合性	2
5	重组质粒的构建、转化	PCR 与质粒的连接、感受态细胞制备、重组质粒的转化	12	综合性	2
6	阳性克隆的筛选	抗生素与蓝白板筛选、重组质粒的提取、酶切、电泳确认	12	综合性	2
7	虚拟仿真实验	模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验	4	综合性	1
8	基因表达	阳性克隆株的培养与诱导表达、SDS-PAGE 检测	16	综合性	2
9	Southern 杂交实验	染色体 DNA 酶切、电泳、DNA 变性、转膜、探针标记、杂交、显色	12	综合性	2

四、考核方式

(1) 实验报告：要求按照杂志上发表论文的格式即封面（标题、姓名、学号、指导教师、时间）、目录、摘要、前言、材料与方法、结果、讨论与参考文献了进行撰写。

(2) 考核方式：

a.实验课的考核方式：一套试题库，包含了一些基本的实验操作、仪器的使用、实验中的注意事项以及一些课堂上讲解过的理论问题，并以多媒体的试题形式出现在考场上，同学可以自由上台，随机选题目进行口头解答或当场演示。

b.实验课考核成绩确定：平时的个人实验及操作占 40%、公共实验的参与占 10%、实验结果占 10%、实验报告占 25%与最后的实验考试占 15%。

五、实验教科书、参考书

(一) 教科书

朱旭芬 《基因工程实验指导》北京：高等教育出版社，2006 年

(二) 参考书

奥斯伯. F 等《精编分子生物学实验指南》北京：科学出版社，1998 年

萨姆布鲁克. J 等《分子克隆实验指南》北京：科学出版社，1998 年

浙江大学虚拟仿真实验教学资源共享协议

甲方：浙江大学生命科学学院

乙方：浙江理工大学生命科学与医药学院

虚拟仿真实验教学是以现代信息技术为依托的新型实验教学形式,可帮助突破实体实验教学中一些综合性强、难度高和复杂度高的实验难以开展的局限。为探索线上线下教学相结合的个性化、智能化、泛在化实验教学新模式,浙江大学生命科学学院建设了《模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验》。为了充分共享虚拟仿真教学资源,经甲方(浙江大学生命科学学院)与乙方(浙江理工大学生命科学与医药学院)友好协商,制定了虚拟仿真实验教学资源共享协议。

- 1、甲方同意将《模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验》教学资源向乙方免费开放 3 年,并在开放共享过程中向乙方师生提供技术指导与支持。
- 2、乙方负责对使用甲方《模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验》的学生进行网络安全和用网道德规范教育,并进行监督和管理。
- 3、甲乙双方每年就虚拟仿真实验教学资源利用、改进及进一步建设开展交流研讨,以推动虚拟仿真实验教学资源的进一步完善和辐射共享。
- 4、本协议自签订之日起执行。

未尽事宜双方协商解决。

甲方:

浙江大学生命科学学院

(签章)

年

月 生命科学学院

乙方:

浙江理工大学生命科学与医药学院

(签章)

生命科学与医药学院

年

月

日

浙江大学虚拟仿真实验教学资源共享协议

甲方：浙江大学生命科学学院

乙方：宁波大学食品与药学学院

虚拟仿真实验教学是以现代信息技术为依托的新型实验教学形式，可帮助突破实体实验教学中一些综合性强、难度高和复杂度高的实验难以开展的局限。为探索线上线下教学相结合的个性化、智能化、泛在化实验教学新模式，浙江大学生命科学学院建设了《模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验》。为了充分共享虚拟仿真教学资源，经甲方（浙江大学生命科学学院）与乙方（宁波大学食品与药学学院）友好协商，制定了虚拟仿真实验教学资源共享协议。

- 1、甲方同意将《模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验》教学资源向乙方免费开放 3 年，并在开放共享过程中向乙方师生提供技术指导与支持。
- 2、乙方负责对使用甲方《模式植物拟南芥 CRISPR/Cas9 基因编辑虚拟仿真实验》的学生进行网络安全和用网道德规范教育，并进行监督和管理。
- 3、甲乙双方每年就虚拟仿真实验教学资源利用、改进及进一步建设开展交流研讨，以推动虚拟仿真实验教学资源的进一步完善和辐射共享。
- 4、本协议自签订之日起执行。

未尽事宜双方协商解决。

甲方：
浙江大学生命科学学院
(签章)
年 月 日

乙方：
宁波大学食品与药学学院
(签章)
年 月 日