



土壤与环境微生物 研究法

李振高 骆永明 滕 应 © 编著



科学出版社

www.sciencep.com

土壤与环境微生物研究法

李振高 骆永明 滕 应 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书既是一本工具书,又是一本实验教材。书中除了常规方法外,还对近年来国际上所采用的土壤与环境微生物学研究新方法和新技术(包括分子生物学技术)作了较为全面、系统的介绍。全书共分19章,主要内容有实验室设置和基本设备、生物显微镜技术、洗涤与灭菌技术、培养基类别与制备、样品采集和保存处理、微生物接种和纯培养技术、土壤微生物区系分析、根圈微生物分析、土壤微生物的传统分类鉴定、土壤微生物的现代分类方法、土壤微生物分类检索系统、微生物菌种的保藏与选育、土壤微生物原位观察和鉴别、土壤微生物生物量测定、土壤微生物多样性分析、土壤生物化学过程强度测定、土壤酶活性测定以及数据生物统计分析等。

本书可作为高等院校和科研院所土壤学、微生物学、环境科学、生态学、生物地球化学、农业化学、农学等专业的研究生和科研工作者的实验教材及参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土壤与环境微生物研究法/李振高,骆永明,滕应编著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022894-9

I. 土… II. ①李…②骆…③滕… III. ①土壤微生物-研究方法②环境科学:微生物学-研究方法 IV. S154.3-3 X172-3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第135006号

责任编辑:赵峰 李晶晶/责任校对:张小霞

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年9月第一版 开本:787×1092 1/16

2008年9月第一次印刷 印张:31 3/4

印数:1—2 000 字数:726 000

定价:89.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

土壤是地球生命的基石。它处于大气圈、水圈、生物圈和岩石圈的界面，被视为地球表层系统中最活跃、最富有生命力的圈层，即“土壤圈”。土壤圈是土壤微生物的资源库和基因库，对地表生态系统中物质的环境生物地球化学循环与调控极其重要。土壤微生物在土壤形成和发育、土壤有机质转化和肥力培育、土壤生态系统平衡、土壤环境净化与生物修复、土壤病虫害防治、生物基因工程菌的构建等诸多方面均起着重要作用。土壤微生物学是现代微生物学中一门实践性和应用性很强的分支学科，是国际科学研究的前沿，已成为土壤科学、生命科学、农业科学、生态学、环境科学等学科交叉融合研究的热点，为资源利用、环境保护和农业可持续发展作出了重要贡献。然而，土壤微生物学的研究和发展一直有赖于土壤微生物研究方法和技术的进步。

《土壤与环境微生物研究法》是顺应现代土壤科学发展需要而诞生的，是在参阅了国内外微生物研究方法基础上，结合作者多年的科学实践经验编撰而成的。该书系统地介绍了土壤与环境微生物研究的传统方法和现代方法，内容包括基本理论、测定原理、实验材料、操作步骤和注意事项等，图文并茂，具有全面性、新颖性、先进性、可操作性和实用性，是当前国内首部结构完整、内容系统的适用于土壤和环境微生物研究的实验技术指导教材，具有很高的实用价值。相信该书的出版，对广大从事土壤学、微生物学、生态学、环境科学等研究的科技工作者、研究生大有裨益，必将推动我国土壤和环境微生物学科及其相关领域的发展。

中国科学院院士



2008年3月25日

前 言

微生物是生物圈、土壤圈和水圈的活跃生命体，是自然界物质循环和能量转化的驱动者。土壤微生物学自 19 世纪中叶问世至今已有一百多年历史。实践证明，土壤微生物在土壤肥力的形成与培育、植物营养元素的转化与供给、废弃物处置与资源化利用、污染环境净化与修复、病虫害的防治以及生物基因工程菌的构建等过程中都起着不可替代的重要作用。

土壤微生物学是现代微生物学中的一个重要分支，是一门实践性和应用性很强的学科。土壤微生物学研究为土壤科学、生命科学、农业科学、生态学、环境科学等的发展作出了巨大的贡献，显示出其强大的生命力，它的发展在很大程度上取决于研究方法的改进和更新，俗语说“工欲善其事，必先利其器”。因此，新的土壤微生物培养技术和研究方法一直是本学科的重要研究方向之一。

中国科学院南京土壤研究所微生物室编著的《土壤微生物研究法》自 1985 年出版以来，受到了广大同行的欢迎，起到了统一分析方法的作用，提高了分析结果的可比性，对推动我国土壤微生物学的发展具有积极意义。但随着 20 多年来微生物学科的发展，土壤微生物研究领域也在不断扩大，研究内容日趋深入，特别是分子生物学的蓬勃发展以及新技术、新方法的广泛应用，对土壤微生物的分析方法提出了更高的要求，原书的一些分析方法已不能适应当前资源、环境和农业可持续发展研究的知识与技术需求。为了全面反映土壤微生物研究方法和技术领域的最新进展，我们对原书的编写结构作了重新调整，对内容进行了更新，并作了较大扩充和完善：新增加了土壤微生物功能、结构、遗传多样性分析；微生物生物量碳、氮、磷、硫等的测定；微生物的现代分类鉴定技术；微生物的育种与复壮方法；微生物的标记鉴别和荧光原位杂交分析等，并附有常见微生物名称的拉汉对照，以便读者查阅。由于本书基本涵盖了目前土壤与环境微生物研究领域所用的方法，故将本书定名为《土壤与环境微生物研究法》，以进一步推动土壤与环境微生物学的发展，使它更好地为解决土壤环境实际问题和提高科学理论水平服务。

近年来，分子生物学理论和方法的应用已经成为土壤微生物学发展的新方向，并取得了重要进展，弥补了土壤微生物学研究中传统分析方法的不足，但传统技术中的许多方法仍然是有效的不可或缺的研究手段。因此，本书的编写特色是：以传统方法与现代分子生物学方法相结合为原则，彼此取长补短，力求内容全面，方法具体。全书共分 19 章。第一章：实验室设置和基本设备，介绍了微生物实验室设置的基本要求、常用器皿及分析仪器的

使用；第二章：生物显微镜技术，介绍了光学和电子显微镜的种类、原理和使用方法；第三章：洗涤与灭菌技术，介绍了器具洗涤方法和各种灭菌技术以及各种材料的灭菌处理；第四章：培养基类别与制备，介绍了培养基的成分、种类、配制的基本原则、步骤和保存以及常用培养基的选用；第五章：样品采集和保存处理，介绍了土壤、污泥、岩石圈表层、植物、水样的采集和保存；第六章：微生物接种和纯培养技术，介绍了微生物的接种、纯化和各种培养技术；第七章：土壤微生物区系分析，介绍了好氧和厌氧微生物的分离和计数，以及功能微生物的测定方法；第八章：根圈微生物分析，介绍了根圈和植物组织内微生物的分离、检测及模拟根圈代谢分析；第九章：土壤微生物的传统分类鉴定，介绍了土壤微生物的分类地位与原则，细菌、放线菌和真菌的分类鉴定方法；第十章：土壤微生物的现代分类方法，介绍了常用分子生物学分析方法、数值分类、细胞脂肪酸分析和 Biolog 鉴定技术；第十一章：土壤微生物分类检索系统，介绍了细菌、放线菌和真菌常用分类系统简介与检索；第十二章：微生物菌种的保藏，介绍了微生物菌种保藏的基本原理和各类微生物的常用保藏方法；第十三章：微生物菌种的选育，介绍了微生物菌种诱变育种的方法、变异菌株的筛选及退化菌种的复壮；第十四章：土壤微生物原位观察和鉴别，介绍了土壤生境中微生物检测、菌株标记鉴别和荧光原位杂交分析；第十五章：土壤微生物生物量的测定，介绍了土壤微生物生物量碳、氮、磷、硫和底物诱导呼吸、三磷酸腺苷法、土壤麦角甾醇及土壤几丁质分析方法；第十六章：土壤微生物多样性分析，介绍了土壤微生物功能、结构和遗传多样性的分析方法；第十七章：土壤生物化学过程强度测定，介绍了土壤呼吸、氨化、硝化、反硝化、固氮、磷素和铁素转化以及纤维素和腐殖质分解作用强度等的测定方法；第十八章：土壤酶活性测定，介绍了土壤氧化还原酶、水解酶、转移酶和裂解酶活性的测定；第十九章：数据生物统计分析，介绍了数据处理中的方差、回归和常用多元统计分析方法。每章均包括基本理论、测定原理、实验材料、操作步骤和注意事项等，其中，部分项目还介绍了几种方法，供读者根据需求和具体条件选择使用。

在本书的编写过程中，作者参阅了大量文献，由于篇幅所限，仅列出了主要文献资料，书中还引用了一些著作者的插图和照片，在此向所有著作者一并谢忱！特别要感谢赵其国院士对编写工作的一贯支持并在百忙中为本书作序。本书的编写还得到了香港浸会大学黄铭洪教授等的关心和支持，致以衷心感谢！也感谢国家重点基础研究发展规划（973）项目（编号：2002CB410809/10）和中国科学院创新团队（编号：CXTD-Z2005-4）及创新工程方向性项目（编号：KZCX2-YW-404）的共同资助！

限于编写者的学识和水平，书中内容难免有不妥或错漏之处，敬请专家和读者不吝指正。

作者

2008年2月14日于南京

目 录

序

前言

第一章 实验室设置和基本设备	1
第一节 实验室设置	1
一、预备室	1
二、专用实验室	1
三、普通实验室	2
第二节 实验室的主要仪器和常用器皿	3
一、主要仪器	3
二、常用玻璃器皿	3
三、其他器具	4
第三节 常用分析仪器的使用	5
一、分析天平	5
二、酸度计	7
三、分光光度计	8
第二章 生物显微镜技术	12
第一节 光学显微镜技术	12
一、普通光学显微镜	12
二、暗视野显微镜	17
三、相差显微镜	18
四、荧光显微镜	20
五、显微摄影	21
六、显微镜的保养	22
第二节 电子显微镜技术	23
一、扫描电子显微镜	23
二、透射电子显微镜	25
三、扫描隧道显微镜	26
四、原子力显微镜	29
第三章 洗涤与灭菌技术	33
第一节 器具洗涤与干燥	33
一、洗涤剂	33
二、玻璃器皿的洗涤法	34
三、玻璃器皿的干燥	35

第二节 灭菌、消毒和除菌	35
一、灭菌前的准备	36
二、加热灭菌法	37
三、过滤除菌法	42
四、化学灭菌法	43
五、辐射灭菌法	44
六、微波	45
第三节 各种材料的灭菌处理	46
一、培养基的灭菌	46
二、土壤基质的灭菌	47
三、玻璃器皿的灭菌	47
四、刀、剪等的灭菌	48
第四章 培养基类别与制备	49
第一节 培养基的成分	49
第二节 培养基的种类	50
第三节 常用培养基的选择	52
一、一般细菌培养基	52
二、丝状真菌培养基	54
三、酵母菌培养基	55
四、放线菌培养基	55
五、选择性培养基	56
第四节 培养基的制备	64
一、培养基制备的基本原则	64
二、培养基的配制步骤	66
三、培养基配制的注意事项	68
四、灭菌对培养基的影响	69
第五节 培养基的保存	70
第五章 样品采集和保存处理	71
第一节 土壤样品的采集	71
一、采集前的准备工作	71
二、采集现场的记录	71
三、采样方法	72
第二节 污泥样品的采集	72
一、采样点的选择	72
二、采样方法	73
第三节 岩石圈表层样品的采集	73
一、采样点的选择	73
二、采样方法	74

第四节 植物样品的采集	75
一、采样点的选择	75
二、采样方法	76
第五节 水样的采集	76
一、采样点的选择	76
二、采样方法	77
第六节 分析样品的保存	77
第六章 微生物接种和纯培养技术	79
第一节 接种技术	79
一、无菌操作	79
二、接种方法	79
三、菌龄、接种量及培养时间	81
第二节 移植与纯化	82
一、移植	82
二、纯化	82
第三节 培养方法	84
一、静置培养	84
二、表面培养	85
三、深层培养	86
四、富集培养	88
五、连续培养	88
第七章 土壤微生物区系分析	90
第一节 一般土壤微生物的分离与计数	90
一、稀释平板法	90
二、MPN 稀释法	92
三、土粒法	93
第二节 厌氧微生物的分离	94
一、充氮厌氧培养法	94
二、焦性没食子酸吸氧法	95
三、专性厌氧细菌的分离法	96
第三节 土壤主要类群微生物的分离与计数	97
一、好氧细菌的分离与计数	98
二、丝状真菌的分离与计数	98
三、放线菌的分离与计数	99
第四节 土壤中功能微生物的测定	99
一、氨化细菌的测定	100
二、硝化细菌的测定	101
三、反硝化细菌的测定	102

四、好氧性自生固氮细菌的测定	103
五、厌氧性自生固氮细菌的测定	105
六、硫化细菌的测定	105
七、反硫化细菌的测定	106
八、磷细菌的测定	106
九、钾细菌的测定	108
十、铁细菌的测定	108
十一、纤维分解菌的测定	109
十二、光合细菌的测定	111
十三、甲烷产生菌的测定	112
十四、有机污染物降解菌的测定	113
十五、重金属抗性菌的测定	114
第八章 根圈微生物分析	116
第一节 根圈细菌的分析	116
一、根圈的分区	116
二、根圈细菌的分离	117
三、根圈优势菌株的分群	118
第二节 植物组织内微生物的分离	120
一、植物材料的选择	120
二、组织表面消毒	121
三、分离方法	122
第三节 豆科植物根瘤中根瘤菌的分离	123
一、有效根瘤与无效根瘤	123
二、根瘤菌的分离与验证	124
三、根瘤菌的互接种族	127
第四节 非豆科植物根瘤内生菌的分离	127
一、常用根瘤中放线菌的分离	128
二、弗兰克氏菌的分离	129
三、联合固氮菌的分离	130
第五节 内生菌根真菌的检测	132
一、内生菌根菌的收集与筛析	132
二、内生菌根菌侵染的观测	133
三、内生菌根菌的繁殖与样品保存	136
第六节 模拟根圈代谢分析	138
一、人工根际的模拟体系	138
二、水稻根际中气体代谢的测定装置	140
第九章 土壤微生物的传统分类鉴定	143
第一节 土壤微生物分类地位与原则	143

一、微生物在生物分类学中的位置	143
二、微生物的分类单位及命名	143
三、细菌、放线菌和真菌的主要异同及其分类原则	145
第二节 土壤细菌的分类鉴定	146
一、细菌的特征及其分类依据	146
二、细菌鉴定的一般程序	146
三、细菌鉴定的基本方法	147
第三节 土壤放线菌的分类鉴定	190
一、放线菌及其分类原则	190
二、放线菌特征及鉴定的基本方法	191
三、土壤链霉菌属的种群归并法	200
第四节 土壤真菌的分类鉴定	201
一、真菌的特征及其分类依据	201
二、真菌形态显微观察法	205
三、真菌培养特征的观察	209
第十章 土壤微生物的现代分类方法	210
第一节 DNA 中 GC 含量的测定	210
第二节 DNA-DNA 杂交分析	214
第三节 DNA-rRNA 杂交分析	217
第四节 16S rRNA 序列分析	220
第五节 数值分类法	225
第六节 细胞脂肪酸分析法	229
第七节 微生物的快速鉴定及自动化分析技术	230
第十一章 土壤微生物分类检索系统	238
第一节 细菌常用分类系统简介与检索	238
一、伯杰氏分类法	238
二、克拉西里尼科夫分类法	247
三、其他分类检索	248
第二节 放线菌分类系统简介与检索	253
一、瓦克斯曼科及属的检索	253
二、克拉西里尼科夫的分类表	253
三、伯杰氏第八版的检索	254
四、放线菌目分科分属的检索	256
第三节 土壤中常见真菌的特征与检索	257
一、藻状菌纲	257
二、子囊菌纲	258
三、半知菌纲	259
四、接合菌亚门的检索	260

五、子囊菌亚门的检索	260
六、半知菌亚门的检索	262
第十二章 微生物菌种的保藏	263
第一节 菌种保藏的基本原理	263
第二节 菌种保藏的常用方法	263
一、斜面传代保藏法	263
二、琼脂穿刺保藏法	264
三、矿物油封藏法	264
四、载体保藏法	264
五、悬液保藏法	267
六、冷冻干燥保藏法	268
七、液氮超低温保藏法	269
第三节 菌种保藏的注意事项	270
第四节 菌种保藏机构与菌种索取	271
一、菌种保藏的国家级机构	271
二、菌种保藏的国际性机构	272
三、菌种的索取与交流	272
第十三章 微生物菌种的选育	274
第一节 出发菌株和诱变剂	274
一、菌悬液的制备	274
二、诱变剂的种类与使用	274
第二节 菌种诱变育种的方法	275
一、物理诱变剂的处理	275
二、化学诱变剂处理	277
三、其他诱变处理	282
四、复合诱变处理	282
第三节 变异菌株的筛选	283
一、形态、色素、酶活和拮抗性变异菌株的筛选	283
二、发酵特性变异菌株的筛选	284
三、营养缺陷型变异菌株的筛选	284
第四节 药物处理注意事项	287
第五节 菌种的退化与复壮	288
一、常见的菌种退化现象	288
二、常用的菌种复壮措施	288
第十四章 土壤微生物原位观察和鉴别	290
第一节 土壤生境中的微生物检测	290
一、土壤细菌的显微镜直接计数法	290
二、土壤微生物区系的埋片观察法	291

三、光学显微镜直接检测土壤颗粒法	293
四、水稻根圈微生物生态观察法	295
五、植物根系与微生物相互作用观察法	296
六、根系观察箱法	297
七、琼脂膜法	298
八、毛细管法	299
九、尼龙网法	300
十、电子显微镜法	300
十一、土壤切片观察法	301
第二节 显微放射自显影法	303
第三节 微生物菌株标记鉴别法	306
一、免疫血清鉴别法	306
二、荧光抗体法	310
三、菌株的抗药性标记鉴别法	314
四、发光酶基因标记法	316
五、荧光蛋白标记法	317
第四节 土壤微生物的荧光原位杂交分析	319
第十五章 土壤微生物生物量的测定	322
第一节 土壤样品采集与预处理	322
第二节 土壤微生物生物量碳分析	322
一、熏蒸提取——容量分析法	323
二、熏蒸提取——仪器分析法	325
第三节 土壤微生物生物量氮分析	327
一、熏蒸提取——全氮测定法	327
二、熏蒸提取——茚三酮比色法	329
第四节 土壤微生物生物量磷分析	331
一、熏蒸提取——全磷测定法	331
二、熏蒸提取——无机磷测定法	333
第五节 土壤微生物生物量硫分析	335
第六节 底物诱导呼吸法	337
第七节 三磷酸腺苷 (ATP) 法	338
第八节 土壤麦角甾醇分析法	340
第九节 土壤几丁质分析	342
第十六章 土壤微生物多样性分析	344
第一节 土壤微生物功能多样性	344
第二节 土壤微生物结构多样性	346
第三节 土壤微生物遗传多样性	348
一、土壤样品总 DNA 的提取	348

二、变性梯度凝胶电泳分析	351
三、PCR-单链构象多态性分析	354
四、末端限制性片段长度多态性分析	357
第十七章 土壤生物化学过程强度测定	360
第一节 土壤呼吸作用	360
一、密闭静置培养测 CO ₂ 法	360
二、通气培养测 CO ₂ 法	362
三、田间收集 CO ₂ 法	363
第二节 土壤氨化作用	364
一、土壤培养法	365
二、氨化菌培养液培养法	366
第三节 土壤硝化作用	367
一、土壤培养法	367
二、培养基接种土壤悬液法	368
三、纯菌培养法	370
四、环流法	370
第四节 土壤反硝化作用	372
一、硝酸盐消失法	372
二、气相色谱法	374
第五节 土壤固氮作用	376
一、土壤培养测全氮法	377
二、无氮培养液培养法	378
三、乙炔还原法	379
第六节 土壤磷素的转化作用	383
第七节 土壤铁素的转化作用	385
一、淹水土壤中 Fe 还原活性的测定法	386
二、环流土壤中 Fe 氧化活性的测定法	387
第八节 淹水条件下的硫酸盐还原作用	388
一、SO ₄ -S 的定量测定法	388
二、游离 H ₂ S 和硫化物态 S 的定量测定法	389
第九节 纤维素分解作用	391
一、埋布片法	391
二、尼龙袋法	392
第十节 酚分解作用	392
第十一节 腐殖质分解作用	394
第十八章 土壤酶活性测定	395
第一节 氧化还原酶	395
一、脱氢酶	395

二、多酚氧化酶	397
三、过氧化氢酶	398
四、过氧化物酶	399
五、硝酸还原酶	400
六、亚硝酸还原酶	401
七、硫酸盐还原酶	402
第二节 水解酶	404
一、脲酶	404
二、蛋白酶	406
三、 α -淀粉酶和 β -淀粉酶	407
四、脂肪酶	408
五、转化酶(蔗糖酶)	409
六、纤维素分解酶	411
七、磷酸酶	412
八、芳基硫酸酯酶	413
九、 β -葡萄糖苷酶	415
十、荧光素二乙酸酯酶	417
第三节 转移酶和裂解酶	418
一、果聚糖蔗糖酶	418
二、L-组氨酸氨裂解酶	419
第十九章 数据生物统计分析	422
第一节 几个常用的统计值	422
一、平均数	422
二、标准差	422
三、标准误	423
四、变异系数 (C_v)	424
第二节 两个平均值的比较——显著性 t 检验	424
第三节 多个样本平均值的比较——方差分析法	425
第四节 回归分析	427
一、回归分析计算	427
二、相关系数的计算及其显著性检验	428
三、计算回归线的精确度和置信限	428
四、回归直线作图	428
第五节 常用多元统计分析	429
一、聚类分析	429
二、主成分分析	434
主要参考文献	446
附录	459

一、常用酸碱溶液的配制	459
二、常用酸碱指示剂的配制	460
三、常用消毒剂的配制	461
四、常用固态化合物溶液浓度的配制	462
五、标准 pH 比色管的制备	462
六、乙醇稀释法	463
七、常用计量单位	464
八、相对密度、糖度换算表	465
九、稀释法测数统计表	466
十、标准筛孔对照表	468
十一、土壤样品登记表	469
十二、土壤含水量测定记录表	469
十三、土壤微生物分析记录表	469
十四、微生物生理类群稀释分析记录表	470
十五、细菌鉴定卡片	470
十六、放线菌鉴定卡片	472
十七、真菌鉴定卡片	474
十八、菌种保藏登记卡片	475
中国微生物菌种保藏管理条例	476
拉汉微生物名称	479

第一章 实验室设置和基本设备

第一节 实验室设置

土壤与环境微生物学研究的常规工作有培养基的配制和灭菌、微生物的分离和培养、显微镜观察、生理生化反应的测定及器具的洗涤和灭菌等。进行这些工作时最好有专门的房间。一般应设预备室、灭菌室、接种室、恒温室、洗涤室和实验室。实验室因工作性质的不同又可分为归并菌种的实验室、生理生化实验室和微生物分子生物学实验室等。这些实验室要求墙壁和地板清洁卫生，不积灰尘，室内陈设不宜过多。

一、预备室

预备室用于配制培养基和处理土样等。室内有试剂柜和存放器具或材料等物品的柜子及宽桌面的实验台、电炉以及相应的水电设施。

二、专用实验室

(1) 灭菌室

主要用于培养基的灭菌以及分离培养微生物所用各种器具的灭菌。室内应备有加压蒸汽灭菌器、干热灭菌器（烘箱）等。

(2) 接种室

接种室系分离、接种及纯化菌种等无菌操作的专用实验室。为此，要求室内空气清洁，房间不宜太高，天花板和四壁均要涂油漆或在四壁铺瓷砖，不留缝隙和积灰尘的棱角；地板要光滑，最好能用水冲洗，要求双重窗，在室顶部和近地面处有空气过滤的气孔。室外是二重过道，其一起缓冲作用，其二用于更换无菌工作服。室内除工作台、圆凳以及酒精灯等必用器具外，不宜放置过多的物品。

接种室及其过道都要装上紫外线杀菌灯。每次工作前须用紫外线灯照射，照射时间依紫外线强度和离桌面距离而定，如30W的紫外线灯，离桌面1m，照射15min即可，必要时可用5%来苏尔液擦洗桌面和地板或喷洒全室。工作完毕应立即清理，保持整洁。小量无菌操作可在接种箱中或超净工作台上进行。