

芽胞杆菌

BACILLUS
第三卷

芽胞杆菌生物学

Biology of Bacillus

刘 波 陶天申 车建美 等 著
朱育菁 蓝江林 郑雪芳



科学出版社

芽胞杆菌

第三卷

芽胞杆菌生物学

刘 波 陶天申 车建美 等 著
朱育菁 蓝江林 郑雪芳

科学出版社

北 京

内 容 简 介

《芽胞杆菌》系列丛书是基于科学研究的专业学术著作。本书是《芽胞杆菌》丛书的第三卷《芽胞杆菌生物学》，全书共分七章。第一章到第三章介绍了芽胞杆菌的生物学、酶学和分子生物学特性，包括形态、生长、营养需要、培养特性、酶学特性、系统发育标记基因、功能基因分析、基因克隆、绿色荧光蛋白基因转导、全基因组测序等。第四章和第五章介绍了芽胞杆菌生态学和植物内生芽胞杆菌多样性，包括种群生长曲线、种群生长竞争、种群空间分布型、群落多样性指数、植物内生芽胞杆菌分布多样性等。第六章和第七章介绍了芽胞杆菌用于生物防治及其作用机理，以植物病虫害生防菌、果蔬保鲜菌、动物益生菌、发酵床猪粪降解菌为例子，阐述了植物病害生防菌筛选、定殖、抑病、诱导等作用，解析芽胞杆菌活性功能作用机理，包括了致弱机理、藕合机理、保鲜机理、益生机理、抗病机理、促长机理、降解机理等。全书共列出 1000 多篇文献供参考。

本书可供从事农业、工业、环境、医学、生态等与微生物相关领域的科研人员、企业技术人员、高校教师和研究生等参考。

图书在版编目(CIP)数据

芽胞杆菌, 第 3 卷, 芽胞杆菌生物学/刘波等著. —北京: 科学出版社, 2016.7
ISBN 978-7-03-047414-8

I. ①芽… II. ①刘… III. ①芽胞杆菌属-生物学-研究 IV. ①Q939.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 036322 号

责任编辑: 李秀伟 郝晨扬/责任校对: 郑金红 张怡君

责任印制: 肖 兴/封面设计: 刘新新

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 7 月第一次印刷 印张: 53 3/4

字数: 1 270 000

定价: 328.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

BACILLUS

Volume III Biology of Bacillus

Edited by

Liu Bo Tao Tianshen Che Jianmei
Zhu Yujing Lan Jianglin Zheng Xuefang

Science Press
Beijing

Summary

BACILLUS is the book series based on scientific studies of the professional academic works. The present book is *BACILLUS*, Vol. III *Biology of Bacillus*, Which is divided into seven chapters. The first chapter is biological characteristics of *Bacillus*, including *Bacillus* morphological characteristics, nutritional needs, culture conditions, growth characteristics, physiology and biochemistry, etc. The second chapter is enzymological characteristics of *Bacillus*, including the research progress of *Bacillus* enzyme, enzyme detection method, enzyme production investigation, enzymology characteristics, production characteristics of enzymes e.g. protease, amylase, pectinase, chitinase, xylanase, pullulan, phytase. The third chapter is molecular biological characteristics of *Bacillus*, including the research methods of molecular biology, phylogeny marker genes, functional gene analysis, gene cloning, green fluorescent protein gene transduction, whole genome sequencing. The fourth chapter is ecology characteristics of *Bacillus*, including principle and method of microbial ecology, population growth curve, population growth competition, spatial distribution pattern, population diversity index, species distributions in Xinjiang, Taiwan, Wuyi mountain. The fifth chapter is diversity of endophytic *Bacillus*, including diversity of endophytic *Bacillus* species in grass, eggplant, banana, orange, rice, water hyacinth, selfheal, longan. The sixth chapter is biological control of plant disease using *Bacillus* species, including isolation of *Bacillus* species to control plant diseases, colonization of *Bacillus* species inside plants, soil properties and plant rhizosphere, effects of *Bacillus* species on plant physiological and biochemical characteristics, effect of *Bacillus* species on plant enzyme induction, effect of *Bacillus* species on prevention and control of tomato bacterial wilt, watermelon wilt disease, banana fusarium wilt. The seventh chapter is functional mechanism of *Bacillus* species activity, including attenuation mechanism of *Ralstonia solanacearum*, biological conjugation mechanism of insecticidal toxins, fruit fresh keeping mechanism, mechanism of animals probiotic, biological control mechanism of pig disease in microbial fermentation bed, mechanism of environmental probiotic. There are more than 1000 references cited in the book.

The book is to be referenced in the fields of agriculture, industry, environment, medicine, ecology and other microorganism for scientific personnel in institutes, technical personnel in enterprises, teachers and graduate students in colleges and universities.

作者简介

个人简历: 刘波, 男, 汉族, 1957年生, 福建惠安人, 中共党员。1987年获福建农学院(现福建农林大学)博士学位, 1992~1994年在德国波恩大学从事博士后研究, 1994~1995年美国密歇根大学短期访问学者, 1996~2006年德国波恩大学每年1~3个月短期合作研究访问学者。现任福建省农业科学院院长, 二级研究员;



农业部科学与技术委员会委员, 中国农学会高新技术农业应用专业委员会副理事长, 中国植物病理学会常务理事, 中国微生物学会理事, 福建省科协副主席, 福建省农业工程学会理事长, 福建省农学会副会长, 福建省微生物学会副理事长, 福建省生物化学及分子生物学学会副理事长; 《中国农业科学》、《农业环境科学学报》、《中国生物防治学报》、《植物保护》、《食品安全质量检测学报》、《生物技术进展》、《亚热带植物科学》等期刊编委; 《福建农业学报》、《东南园艺》主编; 德国波恩大学植物病理研究所博士生导师, 福建农林大学博士生导师, 福州大学、福建师范大学硕士生导师, 中德生防合作研究、中美柑橘黄龙病合作研究、中以示范农场合作项目等中方首席科学家。

研究经历: 长期从事农业微生物生物技术、芽胞杆菌系统发育、农业生物药物(微生物农药、微生物肥料、微生物保鲜、微生物降解、动物益生菌、环境益生菌等)、微生物脂肪酸生态学、微机测报网络、设施农业等研究。主持中德国际合作项目、中美国际合作项目、中以国际合作项目、国家 863 计划项目、国家自然科学基金、国家科技支撑计划、福建省科技重大攻关项目等科研课题 150 多个。建立了福建省农业科学院农业微生物创新团队, 承担了福建省生物农药工程研究中心(福建省发展和改革委员会, 以下简称“发改委”)、福建省农业生物药物工程技术研究中心(福建省科学技术厅, 以下简称“科技厅”)、国家外专局国家农业引智技术——生物防治技术推广示范基地、农业部微生物资源与利用重点实验室东南区域农业微生物资源利用科学观测实验站等的建设。以芽胞杆菌的采集、收集、保存、筛选、鉴定、分类、基因等研究为主线, 进行农业生物药物(农业微生物制剂)研发, 开发生物杀虫菌剂、生物杀菌剂、植物疫苗、饲用益生菌剂、污染物降解菌剂、动物病害生防菌剂、果蔬保鲜剂、植物蛋白乳酸菌发酵剂等。

围绕绿色农业中种植业和养殖业的生物药物研发应用问题, 研究用于生猪健康养殖的芽胞杆菌, 包括饲用益生菌、猪粪降解菌和猪病抑制菌, 建立新型微生物发酵床生猪

养殖体系，饲用益生菌替代抗生素促进猪的生长，猪粪降解菌分解猪粪防止养殖污染和除去养殖臭味，猪病抑制菌接入生猪健康养殖的微生物防治床用于防控猪病，养猪过程采用原位发酵技术，使得猪粪成为优质的微生物肥料。利用养猪生成的微生物肥料，接入防病功能微生物，形成用于植物病害生物防治的生物肥药，如芽胞杆菌防治作物青枯病和枯萎病、淡紫拟青霉防治作物线虫病、木霉防治作物根腐病等土传病害。利用 Tn5 插入方法构建青枯雷尔氏菌无致病力菌株、通过导入尖孢镰刀菌无毒基因构建尖孢镰刀菌无致病力菌株，研制用于植物免疫抗病的植物疫苗，对茄科、瓜类、香蕉等作物进行种苗接种和移栽接种，产生抗病作用，替代化学药剂和补充种苗的嫁接技术。筛选果品采后保鲜和蔬菜种苗保鲜功能芽胞杆菌，进行果蔬采后保鲜和种苗调运中的保鲜，替代化学保鲜剂。筛选乳酸杆菌发酵植物蛋白，研发植物蛋白乳酸菌饮品。农业生物药物的研究从产前、产中、产后环节考虑，为整个绿色农业中的产业链提供系统的农业生物药物（微生物制剂）研制与应用模式，并紧密地结合农业龙头企业，将农业微生物制剂（农业生物药物）的研究成果直接应用于农业生产。

1987~1991 年：1987 年年底博士毕业，1988 年来到福建省农业科学院植物保护研究所，创立了电脑测报研究室；作为生物防治研究的博士，从事害虫天敌的研究，应用昆虫生态知识，设计病虫微机测报网络，研究害虫和天敌的相互关系，达到保护天敌控制害虫的目的。结合留学德国的后续研究，作为第二作者，与德国波恩大学 Sengonca 教授一起，在德国用英文出版了《柑橘粉虱寄生蜂生物学》（ISBN 3-89873-983-X）著作，在昆虫学研究上留下足迹。

1992~1994 年：在德国波恩大学从事博士后研究，起初从事昆虫天敌研究，后来接触到昆虫病理学的研究领域，开始了生物农药——苏云金芽胞杆菌的研究，提出了生物毒素生物耦合技术（bioconjugation technique），利用基团耦联剂（conjugator），将苏云金芽胞杆菌杀虫毒素与阿维菌素毒素进行体外生物耦合，形成单体双毒素结构的 BtA，以拓宽生物农药的杀虫谱和提高杀虫速率，降低害虫抗药性。作为第一作者与德国波恩大学 Sengonca 教授合作，在德国用英文出版了《新型生物农药 BtA 生物耦合技术的研究》（ISBN 3-86537-288-0）著作，进入生物农药研究领域。

1994~2003 年：1994 年从德国回来，随后前往美国作短期访问学者，1995 年从美国返回。1996 年调入福建省农业科学院生物技术中心工作，创立了农业环保技术研究室（Laeptb）。建立了与德国波恩大学植物病理研究所二十多年（1996~2016 年）的合作关系，在国内建立了中德生防合作研究实验室，联合申请到三轮的德国科学基金（Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG）和德国国际合作基金（Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ），并承担了国家自然科学基金、国家 863 计划项目、国家科技支撑计划项目等，在继续研究生物耦合技术的基础上，拓展了生物农药的研究领域，从芽胞杆菌作为生物杀虫剂的研究进入芽胞杆菌作为生物杀菌剂的研究领域，在研究作物青枯病生物杀菌剂——蜡状芽胞杆菌 ANTI 8098A 的过程中，发现了芽胞杆菌对青枯雷尔氏菌的致弱作用，进行了致弱机理和致弱物质的研究，出版了《青枯雷尔氏菌多态性研究》（ISBN 7-5335-2553-1）著作，进入植病生防研究领域。

2004~2007 年：2004 年，福建省农业科学院微生物、动物、植物生物技术三大学科

合并，组建了生物技术研究所，微生物生物技术研究领域成立了生物毒素研究室和生物发酵技术与生物反应器研究室，组合形成生物农药研究中心，承担了福建省生物农药工程研究中心的建设；在原有生物农药研究的基础上，拓展了芽胞杆菌作为饲用益生素的研究，利用绿色荧光蛋白基因标记致病大肠杆菌，通过感染小白鼠和小白鼠服用益生素抗病的相互关系研究，建立益生素作用模型；进行了芽胞杆菌作为化学农药降污菌剂的研究；系统收集芽胞杆菌资源，对其进行保存、鉴定和利用，出版了 380 多万字的《芽胞杆菌文献研究》（ISBN 7-80653-754-6）著作；随着研究的深入，开始了植物免疫特性的研究，进行了青枯雷尔氏菌无致病力菌株免疫抗病特性的研究。与作者的博士后周涵韬博士一起出版了《基因克隆的研究与应用》（ISBN 7-5023-4920-0）、《生化物质分析方法咨询手册》（第一卷 气相色谱法、第二卷 液相色谱法、第三卷 紫外分光光度法）（ISBN 7-5640-0622-6）著作，进入了农业微生物生物技术研究领域。

2008~2010 年：2008 年，根据福建省农业科学院研究所结构的调整，成立了福建省农业科学院农业生物资源研究所，生物农药研究中心改为农业微生物研究中心，转至农业生物资源研究所。2008 年作为福建省农业科学院农业微生物学科的首席专家，组建了院农业微生物学科创新团队，从事微生物基础生物学及农业生物药物的研究与应用。建立了微生物资源的采集、筛选、保存、鉴定、分类平台，组建了微生物形态、生理、生态、分子生物学、基因组学、脂肪酸生态学研究平台，打造了微生物发酵技术、活性物质分析、功能微生物筛选研究平台。注重生物藕合技术、生物致弱机理、免疫抗病机理、植物内生菌、抗病物质分析、脂肪酸生态学、基因组学等研究。开发生物农药、生物肥药、植物疫苗、生物饲料、生物保鲜、生物降污、生物转化等农业生物药物（农业微生物制剂）。这个时期出版了《微生物发酵床零污染养猪技术的研究与应用》（ISBN 978-7-8023-3876-0）、《植物饮品原料研究文献学》（ISBN 978-7-1220-7149-1）等著作。

2011~2014 年：深入研究芽胞杆菌的资源采集、系统分类、生物学、脂肪酸组学、基因组学、物质组学、酶学、发酵工艺学等，研发生物农药、生物肥料、生物保鲜、生物降污、益生菌、生物转化等农业生物药物产品，组建芽胞杆菌生产性工程化实验室。发表了芽胞杆菌新种 9 种，如兵马俑芽胞杆菌（*Bacillus bingmayongensis* DSM 25427^T sp. nov., Liu et al., 2014）、仙草芽胞杆菌（*Bacillus mesonae* DSM 25968^T sp. nov., Liu et al., 2014）、慈湖芽胞杆菌（*Bacillus cihuensis* DSM 25969^T sp. nov., Liu et al., 2014）。这个时期出版了《微生物脂肪酸生态学》（ISBN 978-7-5116-0360-9）（中国农业科学技术出版社）、《农药残留微生物降解技术》（ISBN 978-7-5335-3953-5）（福建科学技术出版社）、《尖孢镰刀菌生物学及其生物防治》（ISBN 978-7-03-038346-4）（科学出版社）等著作。

研究成果：完成了“蚜茧蜂人工大量繁殖技术”、“稻飞虱综合治理”、“数据库自动编程系统”、“水稻病虫微机测报网络”、“生物杀虫剂 BtA 的研究与应用”、“生物杀菌剂 ANTI-8098A 的研究与应用”、“尖孢镰刀菌生物学及其生物防治”、“农业科技推广互联网的建立与应用”、“茶叶病虫系统调控技术的研究”、“微生物发酵床健康养猪技术”、“微生物脂肪酸生态学”、“微生物保鲜技术研究”、“作物病害植物疫苗研究”等课题。在德国博士后工作期间，发明了新型昆虫嗅觉仪，提高了昆虫利

它素的测定精度和效率。研究成果“植物生长调节剂”、“苏云金杆菌培养基”、“气升式发酵生物反应器”、“生物杀虫剂 BtA 的藕合技术”、“微生物发酵床大栏养猪技术”、“微生物保鲜剂”、“植物蛋白乳酸芽胞杆菌饮品”等获国家专利 30 多项。获国家科学技术进步奖二等奖 1 项（参加：生物农药 BtA 〈2010〉）；农业部中华农业科技奖一等奖 1 项（主持：重要土传病害生防菌剂创制与应用〈2013〉），福建省科学技术奖二等奖 5 项（主持：水稻病虫微机网络测报技术〈1996〉、高效生物杀虫剂 BtA 的研制与应用〈2006〉、农作物青枯生防菌剂 ANTI-8098A 的研究与应用〈2008〉、无害化养猪微生物发酵床工程化技术研究与应用〈2010〉、龙眼褐变致腐机理及微生物保鲜关键技术的研究与应用〈2011〉）、福建省科学技术奖三等奖 3 项（主持：蚜茧蜂人工大量繁殖技术〈1992〉、计算机管理自动编程系统〈1994〉、农作物线虫生防菌淡紫拟青霉〈2015〉）。获中国青年科技奖（1992）、全国优秀留学回国人员（1996）、福建省省级优秀专家（1997）、福建省“五一”劳动奖章（1999、2010），享受国务院政府特殊津贴（1997），入选国家“百千万”人才第一、二层次管理（1997）和福建省杰出科技人才（2009）。在国内外学术刊物上发表论文 300 多篇，其中 SCI 期刊论文 40 多篇；出版专著 18 本，其中英文专著 2 本。目前，作为中德合作项目、中美合作项目、中以合作项目、国家自然科学基金、国家 863 计划项目、国家科技支撑计划、农业部行业科技专项、国家引智办项目、福建省农业重点项目等的主持人或子项目主持人，从事农业微生物生物技术、芽胞杆菌系统分类、农业生物药物、环保农业技术的研究和应用。

《芽胞杆菌·第三卷 芽胞杆菌生物学》

著者名单

(按姓氏汉语拼音排序)

曹 宜	硕士、助理研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
车建美	博士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
陈 峥	博士、助理研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
陈梅春	博士、实习研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
陈倩倩	博士生、实习研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
陈燕萍	硕士、助理研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
葛慈斌	硕士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
黄素芳	副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
蓝江林	博士、研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
林抗美	研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
林营志	博士、副研究员	福建省农业科学院数字农业研究所
刘 波	博士、研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
刘 芸	硕士、助理研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
刘国红	博士、实习研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
潘志针	硕士、实习研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
阮传清	博士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
史 怀	硕士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
苏明星	硕士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
唐建阳	研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
陶天申	教授	武汉大学生命科学学院
王阶平	博士、研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
肖荣凤	硕士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
郑梅霞	硕士、实习研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
郑雪芳	博士、副研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
朱育菁	博士、研究员	福建省农业科学院农业生物资源研究所
Cetin Sengonca	Ph D, Professor	University of Bonn, Germany
Yongping Duan	Ph D, Professor	USDA Horticultural Research Laboratory, Florida, USA

研究机构

1. 福建省农业科学院农业生物资源研究所
2. 中德生防合作研究实验室（福建省农业科学院/德国波恩大学植物病理研究所）
3. 中美园艺植物病害综合治理合作研究实验室（福建省农业科学院/美国佛罗里达园艺实验室）
4. 国家引进外国智力成果生物防治技术示范推广基地（国家外国专家局）
5. 东南区域农业微生物资源利用科学观测实验站（农业部微生物资源与利用重点实验室）
6. 福建省农业生物药物工程技术研究中心（福建省科技厅）
7. 福建省生物农药工程研究中心（福建省发改委）
8. 芽胞杆菌生产性工程化实验室（福建省农业科学院）
9. 农业微生物创新团队（福建省农业科学院）

资助项目

《芽胞杆菌》得到国家、福建省等部门科技项目的资助，特表衷心感谢。项目如下。

1. 国家自然科学基金项目（2014）——中国芽胞杆菌资源分类及系统发育研究（31370059）
2. 农业部公益性行业（农业）科研专项（2013）——功能性微生物制剂在农业副产物资源化利用中的研究与示范（201303094）
3. 科技部国际合作项目（2012）——规模化养猪污染微生物治理关键技术联合研发（2012DFA31120）
4. 科技部科技支撑计划项目（2012）——规模化养殖场发酵床微生物制剂研究及其废弃物多级循环利用技术的集成示范（2012BAD14B00）
5. 科技部 973 计划前期项目（2011）——芽胞杆菌种质资源多样性及其生态保护功能基础研究（2011CB111607）
6. 农业部 948 重点项目（2011）——高效新型微生物资源引进与创新（2011-G25）
7. 科技部科技支撑计划项目（2008）——热带亚热带外向型农业区新农村建设关键技术集成与示范：闽东南外向型社会主义新农村建设（2008BAD96B07）
8. 自然科学基金项目（2008）——生防菌对青枯雷尔氏菌致弱机理的研究（30871667）
9. 科技部 863 计划项目（2006）——细菌、真菌类生物杀虫剂研究和创制（2006AA10A211）
10. 科技部 863 计划项目（2006）——茄科作物青枯病和枯萎病生防菌剂的研究与应用：芽胞杆菌工程菌的构建及生防菌剂的创制（2006AA10A212）

11. 国家自然科学基金项目（2005）——新型生物杀虫剂 BtA 的藕合机理的研究（30471175）
12. 福建省科技厅科技创新平台建设项目（2007）——福建省农业生物药物研究与应用平台（2007N02010）
13. 福建省发改委农业科技重点项目（2004）——农作物重要毁灭性及检疫性病害枯萎病的流行监控及生物防治技术的研究（闽发改农业[2004]605）
14. 福建省财政厅科技专项（2009）——农业微生物研究中心重大装备建设（2009）
15. 福建省农业科学院科技创新团队项目（2008）——农业微生物基础生物学与农业生物药物的研究与应用（STIF-Y03）

序

拜读了刘波博士等的《芽胞杆菌》即将出版的前三卷：《芽胞杆菌·第一卷 中国芽胞杆菌研究进展》、《芽胞杆菌·第二卷 芽胞杆菌分类学》和《芽胞杆菌·第三卷 芽胞杆菌生物学》，十分高兴，这是我国第一部大型系统的芽胞杆菌著作集，必将在推动我国芽胞杆菌研究和应用方面起重要作用。十分遗憾的是，我从事苏云金芽胞杆菌研究和应用 50 年，零散参考过国内外大量芽胞杆菌文献，这三卷著作列举的很多文献我都没见过，如果早期有这样系统的著作参考，我的论文、专利和成果会更丰硕。

1872 年，德国微生物学家科恩（Cohn）根据细菌的形态特征，首次建立了细菌分类系统，第一次命名了芽胞杆菌属（*Bacillus*），将细长弧菌（*Vibrio subtilis*）重新定名为枯草芽胞杆菌（*Bacillus subtilis*），并作为芽胞杆菌的模式种，从此芽胞杆菌属种类的数量经历了从少到多，再从多到少，最后从少到多的漫长演变过程。1923~1939 年出版的第一至第五版《伯杰氏鉴定细菌学手册》（*Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*）只有一个芽胞杆菌属，1923 年第一版收录了 75 种，1925 年第二版保留了 75 种，1930 年第三版收录了 93 种，1934 年第四版收录了 93 种，1939 年第五版收录了 146 种。而在第六至第八版的《伯杰氏鉴定细菌学手册》中，从芽胞杆菌属中划分出多个芽胞杆菌近缘属，使得芽胞杆菌属中种的数量锐减，1948 年第六版只收录了 33 种，1957 年第七版收录了 25 种，1974 年第八版收录了 22 种。

1984~1986 年，《伯杰氏鉴定细菌学手册》更名为《伯杰氏系统细菌学手册》（*Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*）。1984 年第一版分 4 卷出版，1994 年将原 1~4 卷中有关属以上分类单元进行修改补充后汇集成一册，称为《伯杰氏鉴定细菌学手册》第九版，在该版中形成内芽胞的细菌划分为 35 属，共收录了 409 种，包括 91 个同物异名。2001 年，《伯杰氏系统细菌学手册》第二版分 5 卷出版，收录了 26 个芽胞杆菌属及其近缘属，共 359 种。随着 20 世纪末分子分类法和化学分类法的应用，以及微生物其他研究技术的发展和方法的改进，分类地位的划分更加准确，芽胞杆菌种属中种的鉴定数量越来越多。尽管不同文献收录种的数量有差异，但总趋势是数量增加，如 2005 年出版的《细菌名称确认名录》（*Approved Lists of Bacterial Names*）中，记载了芽胞杆菌属的 175 种，2006 年 NCBI 数据库的芽胞杆菌属中收录了 182 种，2006 年德国微生物菌种保藏中心（DSMZ）收集到芽胞杆菌属中的 171 种，刘波（2006）出版的《芽胞杆菌文献研究》中，收录了芽胞杆菌属的 244 种。

该著作集涉及的芽胞杆菌分类系统，是将“具有命名地位的原核生物名称的名录”网站（List of Prokaryotic Names with Standing in Nomenclature, LPSN）中截至 2014 年 12 月底的更新版本，补充到尚未编入《伯杰氏系统细菌学手册》第二版第 3 卷厚壁菌门（Firmicutes）的芽胞杆菌及其近缘属中。在厚壁菌门中包括了芽胞杆菌相关科 5 科

71 属 752 种。

芽胞杆菌在工业、农业、环境、医学等方面的基础研究、应用基础、产业开发和应用中具有极其重要的作用。芽胞杆菌形成的芽胞，具有很强的抗干燥、高温和紫外线，耐盐、碱、酸和重金属的能力，它们能产生多种用途的次生代谢产物，有益产物在工业中用于生产抗生素、酶制剂等，对有害产物中的炭疽毒素、肠毒素等在医学方面进行了许多研究，在环境方面用于有机废弃物和重金属降解、去污等，在农业中广泛用于生物农药、肥料、保鲜剂等产品的生产中。芽胞杆菌与人类关系密切，加之种类多、分布广、抗逆性强、容易培养、遗传操作方便，是进行基因组学等组学基础研究和产物表达的好材料。

我曾经建议刘波博士写一本关于芽胞杆菌的著作，没想到他在科技部、农业部、国家自然科学基金委员会和福建省有关部门的支持下，带领团队致力于芽胞杆菌的研究和应用，取得了一系列的重要成果，相继出版了《芽胞杆菌文献研究》（第一卷、第二卷）、《新型生物农药 BtA 的研发》、*Biotechnological Development of GCSC-BtA as a New Type of Biocide*、《微生物脂肪酸生态学》、《农药残留微生物降解技术》、《尖孢镰刀菌生物学及其生物防治》、《青枯雷尔氏菌多态性研究》等一批著作，充分展现了他的潜心钻研，广阔思路，而且他组织能力十分惊人，科研毅力无可比拟。

《芽胞杆菌·第一卷 中国芽胞杆菌研究进展》共 11 章。第一章简要介绍了细菌的分类系统、芽胞杆菌分类地位和应用，以及中国学者在这方面的研究概况。第二至第十一章分别以芽胞杆菌属、种为单元，介绍了中国学者在脂环酸芽胞杆菌属、兼性芽胞杆菌属、无氧芽胞杆菌属等 10 个芽胞杆菌属及其近缘属中 58 个种的研究进展，包括菌株分离鉴定、生物学特性、代谢产物、发酵技术等，以及在病虫害生物防治、微生物肥料和有机废弃物、农药、重金属等降解与转化方面的应用研究，共列出 8306 篇文献供参考。

《芽胞杆菌·第二卷 芽胞杆菌分类学》共 6 章。第一章阐述了微生物分类学和芽胞杆菌分类学的起源，芽胞杆菌的特征描述等。第二章阐述了芽胞杆菌分类学文献，芽胞杆菌种类命名，芽胞杆菌资源描述规范，芽胞杆菌分类学方法，芽胞杆菌新种发现与发表。第三章阐述了芽胞杆菌分类系统建立，芽胞杆菌分类系统演变，芽胞杆菌分类系统沿革等。第四章阐述了芽胞杆菌传统类群划分，芽胞杆菌经典分类学特性，芽胞杆菌分子分类学特性，芽胞杆菌脂肪酸分类学特性。第五章阐述了基于脂肪酸生物标记芽胞杆菌系统发育，基于全基因组芽胞杆菌属种类系统发育，基于物质组学芽胞杆菌属种类系统发育。第六章阐述了芽胞杆菌 5 科 71 属 752 种，并规范了 752 个芽胞杆菌的中文译名，共列出 896 篇文献供参考。

这次出版的《芽胞杆菌·第三卷 芽胞杆菌生物学》共分 7 章。第一章到第三章介绍了芽胞杆菌的生物学、酶学和分子生物学特性，包括形态、生长、营养需要、培养特性、酶学特性、系统发育标记基因、功能基因分析、基因克隆、绿色荧光蛋白基因转导、全基因组测序等。第四章和第五章介绍了芽胞杆菌生态学和植物内生芽胞杆菌多样性，包括种群生长曲线、种群生长竞争、种群空间分布型、群落多样性指数、植物内生芽胞杆

菌分布多样性等。第六章和第七章介绍了芽胞杆菌用于生物防治及其作用机理，以植物病虫害生防菌、果蔬保鲜菌、动物益生菌、发酵床猪粪降解菌为例子，阐述了植物病害生防菌筛选、定殖、抑病、诱导等作用，解析芽胞杆菌活性功能作用机理，包括了致弱机理、耦合机理、保鲜机理、益生机理、抗病机理、促长机理、降解机理等。全书共列出1000多篇文献供参考。

继《芽胞杆菌》前三卷完稿，得知刘波博士和他的团队还将陆续出版《芽胞杆菌·第四卷 芽胞杆菌脂肪酸组学》、《芽胞杆菌·第五卷 芽胞杆菌物质组学》、《芽胞杆菌·第六卷 芽胞杆菌基因组学》、《芽胞杆菌·第七卷 芽胞杆菌资源学》、《芽胞杆菌·第八卷 芽胞杆菌发酵工艺学》等，期望这些巨著早日问世，为我国微生物学，特别是芽胞杆菌的研究和发展做出重要贡献。

喻子牛



华中农业大学农业微生物学国家重点实验室

2014年11月11日于武昌狮子山

前 言

1872 年,德国微生物学家科恩(Cohn)命名了芽胞杆菌属(*Bacillus*),将枯草芽胞杆菌(*Bacillus subtilis*)作为芽胞杆菌属的模式种。芽胞杆菌的芽胞是休眠体,不是繁殖体,所以芽胞杆菌采用“胞”字而不是用“孢”字。绝大多数是一个菌体细胞仅形成一个芽胞位于菌体细胞内,由核心(core)、皮层(cortex)、芽胞衣(spore coat)和外壁(exosporium)组成。核心又称为芽胞的原生质体,内含 DNA、RNA、保护 DNA 的酸溶性小分子芽胞蛋白,以及合成蛋白质和产生能量的系统。此外,还有大量的吡啶二羧酸(DPA)布满整个芽胞,占芽胞干重的 10%~15%,但一般不存在于不形成芽胞的细菌细胞。DPA 在芽胞中以钙盐的形态存在于内层的细胞膜和外层芽胞衣间的皮层中。皮层处于核心和芽胞衣之间,含有丰富的肽聚糖。芽胞衣主要由蛋白质组成,此外,还有少量的碳水化合物和类脂,可能还有大量的磷。最外层是外壁,其主要成分是蛋白质、一定量的葡萄糖和类脂。由于芽胞具有厚而含水量低的多层结构,因此折光性强、对染料不易着色。芽胞对热、干燥、辐射、化学消毒剂和其他理化因素有较强的抵抗力,这可能与芽胞独具的高含量吡啶二羧酸有关。

芽胞杆菌对外界有害因子抵抗力强,广泛分布于土壤、水、空气、动物肠道、植物体内等处。芽胞杆菌的特性包括:①繁殖快速,代谢快、繁殖快,4h 可增殖 10^6 倍;②生命力强,干燥状态可耐低温 -60°C 、耐高温 280°C ,耐强酸、耐强碱、耐高压、耐高盐、耐高氧(嗜氧繁殖)、耐低氧(厌氧繁殖)、抗紫外线等;③菌体积大,体积比一般病原菌细胞大 4 倍,占据空间优势,抑制有害菌的生长繁殖。

芽胞杆菌与人类关系密切,如炭疽芽胞杆菌引起人、畜的炭疽病;蜡样芽胞杆菌引起食物中毒。对人有益的芽胞杆菌有枯草芽胞杆菌,产生工业或医疗用的蛋白酶、淀粉酶;多黏类芽胞杆菌生产多黏菌素;地衣芽胞杆菌生产杆菌肽;著名的细菌杀虫剂——苏云金芽胞杆菌能杀死 100 多种鳞翅目的农林害虫,现已扩大到杀蚊、蝇、甲虫的幼虫;日本甲虫芽胞杆菌、幼虫芽胞杆菌和缓病芽胞杆菌可用于防治蛴螬等地下害虫。芽胞杆菌分解有机物能力强,在自然界的元素循环中起重要作用。有些种如多黏类芽胞杆菌有固氮的能力。

芽胞杆菌的突出功能包括:①保湿性强,形成强度极为优良的天然材料聚谷氨酸,为土壤的保护膜,防止肥分及水分流失;②分解力强,增殖的同时,会释放出高活性的分解酶,将难分解的大分子物质分解成可利用的小分子物质;③代谢物丰富,合成多种有机酸、酶、生理活性物质等,以及其他多种容易被利用的养分;④抑菌能力强,具有占据空间优势,抑制动植物病原等有害微生物生长繁殖的作用;⑤除臭能力强,可以分解产生恶臭气体的有机物质、有机硫化物、有机氮等,大大改善场所的环境。

芽胞杆菌由于产生芽胞具有较强的抵抗外界环境压力的能力,能够抵抗其生存环境中干燥、高热、高盐、高碱、高酸、高紫外线辐射所造成的伤害,便于工业化生产,被

广泛应用于生物农药、生物肥料、生物保鲜、生物降污、益生菌、酶制剂、生化物质等产品的生产。可应用于：①生物肥料制作，用于发酵有机肥、农家肥、复合肥等；②生物农药生产，如苏云金芽胞杆菌用于防治鳞翅目害虫等；③土壤污染修复剂生产，降解土壤有机废弃物、钝化土壤重金属、降解土壤农药和化肥残留等；④生物保鲜剂生产，利用短短芽胞杆菌制作龙眼果实保鲜剂等；⑤城市垃圾处理，利用芽胞杆菌降解居家垃圾、处理厨余垃圾、净化城市污水等；⑥饲用益生菌生产，制作动物饲料添加剂、水产环境水质净化剂等，如枯草芽胞杆菌可用于畜牧水产饲料添加剂，地衣芽胞杆菌用于水产水环境净化等；⑦生化物质生产，芽胞杆菌可用于酶类如脂肪酶、蛋白酶、植酸酶等生产，用于氨基酸、丁二醇、抗生素等生产。芽胞杆菌各属拥有各自的生物学特性，通过基因选育等生物工程学，可以将自然界的菌种人工选育出特定功能强势的菌种，应用于工农业生产各个方面。在抗生素污染问题越来越严重的今天，有益的芽胞杆菌的应用研究，可能是解决抗生素问题的一个有效方案。

芽胞杆菌分类学发展迅速，1923~1939年出版的第一至第五版《伯杰氏鉴定细菌学手册》(*Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*)中，都将芽胞杆菌归为一个属，即芽胞杆菌属(*Bacillus*)，1948~1974年出版的第六至第八版《伯杰氏鉴定细菌学手册》中，芽胞杆菌出现了近缘属的分化，1984~1986年，《伯杰氏鉴定细菌学手册》更名为《伯杰氏系统细菌学手册》(*Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*)。第一版《伯杰氏系统细菌学手册》于1984年起分4卷出版；将芽胞杆菌类细菌分为35个属，收录了芽胞杆菌属及其近缘属在内的芽胞杆菌共409种，其中有91个种是同物异名。第二版《伯杰氏系统细菌学手册》于2001年起分5卷出版，收录了芽胞杆菌属及其近缘属26个、共359种芽胞杆菌，这些种中不包括同物异名。随着微生物研究技术、方法的改进和发展，越来越多的芽胞杆菌种类被发现，如2005年《细菌名称确认名录》(*Approved Lists of Bacterial Names*)记载的芽胞杆菌种名有175个，2006年NCBI数据库上收集的芽胞杆菌属的种名有182个，2006年德国微生物菌种保藏中心(DSMZ)收集的芽胞杆菌属的种名有171个，刘波(2006)在出版的《芽胞杆菌文献研究》中，将芽胞杆菌归为一个属(*Bacillus*)，共244种。本书涉及的芽胞杆菌分类系统，是将“具有命名地位的原核生物名称的名录”网站(List of Prokaryotic Names with Standing in Nomenclature, LPSN)中截至2014年12月底的更新版本，补充到尚未编入《伯杰氏系统细菌学手册》第二版第3卷厚壁菌门(Firmicutes)的芽胞杆菌及其近缘属中。因此，在厚壁菌门中包括了传统的芽胞杆菌5个相关科，71个相关属，752种。

我们研究团队完成了12个国家8500多份土样采集与保存，分离保存了28000多株芽胞杆菌，收集引进了260多个芽胞杆菌标准菌株，启动了芽胞杆菌62个属180多个种的全基因组测序，开展了芽胞杆菌属120多个种的物质组的测定，完成了芽胞杆菌2800多个菌株脂肪酸组的测定，实施了芽胞杆菌属120多个种10种酶的测定，鉴定出芽胞杆菌潜在新种50多种(将陆续发表)，发表了芽胞杆菌9个新种。将逐步出版芽胞杆菌系列专著，包括《芽胞杆菌·第一卷 中国芽胞杆菌研究进展》、《芽胞杆菌·第二卷 芽胞杆菌分类学》、《芽胞杆菌·第三卷 芽胞杆菌生物学》、《芽胞杆菌·第四卷 芽胞杆菌脂肪