

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第10期 Vol.31 No.10 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 10 期

2011 年 5 月 (半月刊)

目 次

大熊猫取食竹笋期间的昼夜活动节律和强度·····	张晋东, Vanessa HULL, 黄金燕, 等 (2655)
高枝假木贼的胎生萌发特性及其生态适应·····	韩建欣, 魏 岩, 严 成, 等 (2662)
准噶尔盆地典型地段植物群落及其与环境因子的关系·····	赵从举, 康慕谊, 雷加强 (2669)
喀斯特山地典型植被恢复过程中表土孢粉与植被的关系·····	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友, 等 (2678)
青藏高原高寒草甸土壤 CO ₂ 排放对模拟氮沉降的早期响应·····	朱天鸿, 程淑兰, 方华军, 等 (2687)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤水分和植被空间格局·····	邱开阳, 谢应忠, 许冬梅, 等 (2697)
雪灾后粤北山地常绿阔叶林优势树种幼苗更新动态·····	区余端, 苏志尧, 解丹丹, 等 (2708)
四川盆地四种柏木林分类型的水文效应·····	龚固堂, 陈俊华, 黎燕琼, 等 (2716)
平茬对半干旱黄土丘陵区柠条林地土壤水分的影响·····	李耀林, 郭忠升 (2727)
连栽杉木林林下植被生物量动态格局·····	杨 超, 田大伦, 胡日利, 等 (2737)
近 48a 华北区太阳辐射量时空格局的变化特征·····	杨建堂, 刘 勤, 严昌荣, 等 (2748)
中型景观尺度下杨树人工林林分特征对树干病害发生的影响——以河南省清丰县为例·····	王 静, 崔令军, 梁 军, 等 (2757)
耕作措施对冬小麦田杂草生物多样性及产量的影响·····	田欣欣, 薄存瑶, 李 丽, 等 (2768)
官山保护区白颈长尾雉栖息地适宜性评价·····	陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 等 (2776)
花椒园节肢动物群落特征与气象因子的关系·····	高 鑫, 张晓明, 杨 洁, 等 (2788)
沙漠前沿不同植被恢复模式的生态服务功能差异·····	周志强, 黎 明, 侯建国, 等 (2797)
大豆出苗期和苗期对盐胁迫的响应及耐盐指标评价·····	张海波, 崔继哲, 曹甜甜, 等 (2805)
不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化·····	董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等 (2813)
短期 NaCl 胁迫对不同小麦品种幼苗 K ⁺ 吸收和 Na ⁺ 、K ⁺ 积累的影响·····	王晓冬, 王 成, 马智宏, 等 (2822)
套袋微域环境对富士苹果果皮结构的影响·····	郝燕燕, 赵旗峰, 刘群龙, 等 (2831)
畜禽粪便施用对稻麦轮作土壤质量的影响·····	李江涛, 钟晓兰, 赵其国 (2837)
土霉素胁迫下拟南芥基因组 DNA 甲基化的 MSAP 分析·····	杜亚琼, 王子成, 李 霞 (2846)
甲藻孢囊在长山群岛海域表层沉积物中的分布·····	邵魁双, 巩 宁, 杨 青, 等 (2854)
湖南省城市群生态网络构建与优化·····	尹海伟, 孔繁花, 祈 毅, 等 (2863)
基于多智能体与元胞自动机的上海城市扩展动态模拟·····	全 泉, 田光进, 沙默泉 (2875)
城市道路绿化带“微峡谷效应”及其对非机动车道污染物浓度的影响·····	李 萍, 王 松, 王亚英, 等 (2888)
专论与综述	
北冰洋微型浮游生物分布及其多样性·····	郭超颖, 王桂忠, 张 芳, 等 (2897)
种子微生物生态学研究进展·····	邹媛媛, 刘 洋, 王建华, 等 (2906)
条件价值评估的有效性与可靠性改善——理论、方法与应用·····	蔡志坚, 杜丽永, 蒋 瞻 (2915)
问题讨论	
中国生态学期刊现状分析·····	刘天星, 孔红梅, 段 靖 (2924)
研究简报	
四季竹耐盐能力的季节性差异·····	顾大彤, 郭子武, 李迎春, 等 (2932)
新疆乌恰泉地震前后泉水细菌群落的变化·····	杨红梅, 欧提库尔·玛合木提, 曾 军, 等 (2940)
两种猎物对南方小花蝽种群增长的影响及其对二斑叶螨的控害潜能·····	黄增玉, 黄林茂, 黄寿山 (2947)
学术信息与动态	
全球变化下的国际水文学研究进展: 特点与启示——2011 年欧洲地球科学联合会会员大会述评·····	卫 伟, 陈利顶 (2953)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2011-05



封面图说: 藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 属猴科 (*Cercopithecidae*) 猕猴属 (*Macaca*) 又名四川短尾猴、大青猴, 为我国特有灵长类之一, 被列为国家二级保护野生动物; 近年来, 由于人类活动加剧, 栖息环境恶化, 导致藏酋猴种群数量和分布日趋缩小; 本照片摄于四川卧龙国家级自然保护区 (拍摄时间: 2010 年 3 月)。

彩图提供: 中国科学院生态环境研究中心张晋东博士 E-mail: zhangjd224@163.com

种子微生物生态学研究进展

邹媛媛¹, 刘 洋¹, 王建华², 宋 未^{1,*}

(1. 首都师范大学生命科学学院, 北京 100048; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院种子科学研究中心, 北京 100193)

摘要: 植物种子微生物生态学是研究与种子相联合的微生物的组成、功能、演替、它们之间关系及其与宿主之间相互关系的科学。种子中蕴含着丰富的微生物资源, 它们对种子以及植物的健康具有重要的影响。不同种类植物种子联合的微生物群落由于受到种子本身及外界环境因素的影响而有所差异。论述了种子微生物生态学的概念、主要研究方法、种子微生物生态系统中的微生物种类、相关影响因素, 以及种子微生物生态学研究的发展方向。种子微生物生态学的研究对生产实践有重要意义, 同时也将丰富种子生物学的内容, 对种子科学的发展起到促进作用。

关键词: 种子微生物生态学; 微生物群落; 种子营养成分; 基因型; 种子际

Advances in plant seed-associated microbial ecology

ZOU Yuanyuan¹, LIU Yang¹, WANG Jianhua², SONG Wei^{1,*}

1 College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing 100048, China

2 Seed Science Center, College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: Many microorganisms can be found in seeds, and they can affect the health of the seeds as well as the developing plants. The study of seed microbial ecology focuses on plant seed-associated microbial community composition, their function, succession dynamics and the interactions between microorganisms and plants. In this review, we introduce the advances that have been made in this field, including key concepts, the main types of microorganisms, research methods, and physiological and environmental factors that are important for the plant seed microbial community. Research has used culture-independent methods based on molecular biotechnology, combined with traditional culture-dependent methods. The nutrient composition of seeds, which includes sugars, fats and proteins, is important for microorganism growth. Certain nutrient components may attract microorganisms to colonize inside or on the exterior of seeds. Microbial groups, such as bacteria, actinomycetes and fungi, have been found in seeds of some plant species. By 2004, more than 100 species and 50 genera of bacteria had been found in the seeds of plant species, such as *Hordeum vulgare*, *Oryza sativa*, *Zea mays*, *Setaria italic*, *Glycine max*, *Brassica napus*, *Gossypium* spp., and some trees species. More than 180 species and 70 genera of fungi have been found in crop species, such as *Sorghum bicolor*, *Cicer arietinum*, *Cajanus cajan* and *Arachis hypogaea*. Most of these fungi have been reported to be seed pathogens. Microbial communities can be affected by seed shape, and it has proved to be more difficult to isolate bacteria from hard, waxy seeds than from normal seeds. Seeds with different nutrient compositions harbor different microbial communities. Dynamic changes of the microbial community could be linked with changes in seed nutrient composition that occur in the developing seed. Different parts of the seed, such as the embryo, endosperm and seed coat, can harbor different specialized microbial communities. Furthermore, particular seed genotypes are associated with particular microbial community structures and activities. The spermosphere, a dynamic microbial succession zone surrounding the germinating seed, is strongly affected by seed exudations and the soil microorganism communities, and is an important part of seed microbial ecology. We conclude our review by proposing future research areas in seed-associated microbial ecology. This includes gaining a more detailed knowledge of specific plant seed-

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30770069); 北京市自然科学基金项目 (5092004)

收稿日期: 2010-10-28; **修订日期:** 2011-03-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songwei@mail.cnu.edu.cn

associated microbial communities, as well as a greater understanding the relationship between internal seed conditions, external environmental conditions and the microbial activity. Further study should also focus on the mechanisms underlying seed-microorganism interactions, and consider the application of molecular biotechnology and biometrics in seed microbial ecology.

Key Words: seed-associated microbial ecology; microbial community; seed nutrient; genotype; spermosphere

种子是种子植物的繁殖器官,它既是植物遗传信息的保存者和传递者,也是植物在逆境胁迫中保证物种繁衍的适应性策略^[1]。由于种子是基本的农业生产资料,与人类生活关系密切,因此种子科学一直是农业科学研究的重要内容,其中种子生物学是种子科学的基础学科,主要包括种子生理学和种子生态学两个重要部分。种子生理生态学和种子病理学等相关研究表明植物种子中存在着丰富的微生物类群,它们与种子生理具有一定的相关性,对种子以及植物的健康具有非常重要的影响^[2-3]。目前,关于与植物联合的微生物的研究很多,植物微生物生态学^[4]正逐渐发展,而关于种子微生物生态学的研究报道还相对较少^[5]。

1 种子微生物生态学的概念

陈延熙教授于1980年提出,植物的体表和体内存在多种微生物,组成了稳定的微生物群落,它们与植物体共同组成一个“植物自然生态系”^[6]。后因“微生物生态学”^[7]概念的确定,1990年对于该体系的研究则定名为植物微生物生态学^[4],其定义为任何植物个体都是其组织细胞与其体内微生物组成的复合体。植物微生物生态学即是研究这些微生物的组成、功能、演替,和它们之间及其与寄主间相互关系的生命科学分支^[4]。种子是植物个体发育的一个特定阶段,含有丰富的淀粉、脂类和蛋白质等物质。大量的研究表明植物种子微生物生态系统拥有丰富的微生物种群,它们不仅存在于种子表面,也存在于胚中,植物内生菌最早就是1898年由Vogl在黑麦草(*Lolium temulentum*)种子中发现的^[8]。种子的萌发过程激发了这些微生物及其它土壤微生物的繁殖,不同的微生物对种子萌发和幼苗生长的作用也不相同^[9]。对植物种子体表、体内以及周围受到种子萌发影响的区域内的微生物进行研究对生产实践和科学研究具有重要意义,种子微生物生态学即是研究这些微生物的组成、功能、演替、它们之间的关系及其与宿主种子和成熟植物体间相互关系的科学。

2 种子微生物生态学研究的主要方法

如同环境中的微生物生态学的研究,种子微生物生态学的研究方法主要有传统的培养分离方法^[8,10-19]和基于分子生物学技术的非培养方法^[20]。传统的培养方法研究微生物种类得到的信息非常有限,目前利用培养基分离得到的微生物只是自然界中微生物的极少一部分^[21]。而由于培养方法能够得到实体菌株,因此仍是微生物资源开发利用的主要方法。非培养方法多是利用分子生物学方法得到样本中微生物的相关基因序列,如细菌16S rDNA序列^[22],ITS序列^[23]等,在此基础上对样本所含微生物群落进行各种分析,更全面的了解微生物的组成信息。主要的分子生物学技术有16S rDNA克隆文库构建^[22],扩增核糖体DNA限制性酶切分型(ARDRA)^[24],片段长度多态性扩增(AFLP)^[25],末端限制性片断长度多态性(T-RFLP)^[26],变性浓度梯度凝胶电泳(DGGE)^[27],温度梯度凝胶电泳(TGGE)^[27],以及核糖体序列标签连续分析方法(SARST)^[28]等。目前,已有许多将这两种方法相结合进行研究而获得更为全面的信息的报道^[5, 29]。

3 种子微生物生态系统中的微生物类群

至今,已发现种子表面和胚中存在多种微生物类群,包括细菌、放线菌和真菌等。细菌方面主要集中于重要农作物及有应用价值的某些植物种类,据初步统计,到2004年已报道在大麦(*Hordeum vulgare*)、水稻(*Oryza sativa*)、玉米(*Zea mays*)、粟米(*Setaria italica*)、大豆(*Glycine max*)、油菜(*Brassica napus*)、棉花(*Gossypium* spp.)等植物的种子中与种子联合的细菌有50多个属,100多个种,多数为革兰氏阴性菌,不同种类植物种子存在的细菌类群也不相同(表1)^[5, 8, 10-20]。真菌方面对种子病原菌的报道较多,Carbagnoli等^[30]在白芥末(*Sinapis alba*)种子中发现真菌甘蓝黑斑交链孢霉(*Alternaria brassicicola*),甘蓝长尾交链孢霉(*A.*

Brassicae), 胡萝卜黑腐交链孢霉 (*A. Radicina*)、尖镰孢霉 (*Fusarium oxysporum*)、十字花科黑胫菌 (*Phoma lingam*) 和 *Pseudocercospora capsellae* 等几种真菌。Girish 等^[31] 在 高粱 (*Sorghum bicolor*)、珍珠稷、鹰嘴豆 (*Cicer arietinum*)、木豆 (*Cajanus cajan*)、落花生 (*Arachis hypogaea*) 等农作物种子中一共发现共 182 种 71 个属真菌,其中,曲霉 (*Aspergillus* spp.) 在落花生中较多,弯孢霉菌 (*Curvularia* spp.) 在 高粱和珍珠稷中较多,镰孢霉 (*Fusarium*) 和交链孢霉 (*Alternaria* spp.) 在 高粱中较多,在木豆中次之。

表 1 与植物种子联合的细菌

		Table 1 Seed-associated bacteria			
植物类型 Plant types	植物名称 Plant names	种子微生态系统中的细菌类群 Bacteria in seed-associated microbial ecology system		存在部位 Existing sites	参考文献 References
		属 Genera	种 Species		
禾谷类 Cereal	大麦	<i>Acinetobacter</i> (不动杆菌属)	<i>Acinetobacter</i> sp. (不动杆菌)*	Sf, En	[20]
		<i>Burkholderia</i> (伯克霍尔德氏菌属)	<i>Burkholderia</i> sp. (伯克霍尔德氏菌)*	Sf	[20]
		<i>Pantoea</i> (泛菌属)	<i>Pantoea agglomerans</i> (成团泛菌)*	Sf, En	[20]
	水稻	<i>Pseudomonas</i> (假单胞菌)	<i>Pseudomonas</i> sp. (假单胞菌)*	Sf	[20]
		<i>Acidovorax</i> (食酸菌属)	<i>Acidovorax avenae</i> (燕麦食酸菌)	En	[8]
		<i>Acinetobacter</i> (不动杆菌属)	<i>Acinetobacter baumannii</i> (鲍氏不动杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> (乙酸钙不动杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Agrobacterium</i> (土壤杆菌属)	<i>Agrobacterium</i> spp. (土壤杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Arthrobacter</i> (节杆菌属)	<i>Arthrobacter atrocyaneus</i> (黑蓝节杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌属)	<i>Bacillus cereus</i> (蜡样芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Bacillus filicolonicus</i> (丝状菌落芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Bacillus licheniformis</i> (地衣芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Bacillus megaterium</i> (巨大芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Bacillus pumilus</i> (短小芽孢杆菌)	En	[8, 11]
		<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌属)	<i>Bacillus sphaericus</i> (球形芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Bacillus subtilis</i> (枯草芽孢杆菌)	En	[8]
			<i>Brevibacillus</i> (短小芽孢杆菌属)	Sf, En	[10]
		<i>Brevibacillus</i> (短小芽孢杆菌属)	<i>Brevibacillus brevis</i> (短短小芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Brevibacillus laterosporus</i> (侧孢短小芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Burkholderia</i> (伯克霍尔德氏菌属)	Sf, En	[10]
		<i>Burkholderia</i> (伯克霍尔德氏菌属)	<i>Burkholderia glumae</i> (荚壳伯克霍尔德氏菌)	Sf, En	[10]
			<i>Burkholderia gladioli</i> (唐菖蒲伯克霍尔德氏菌)	Sf, En	[10]
			<i>Burkholderia multivorans</i> (多噬伯克霍尔德氏菌)	Sf, En	[10]
		<i>Cellulomonas</i> (纤维单胞菌属)	<i>Cellulomonas flavigena</i> (产黄纤维单胞菌)	Sf, En	[10]
		<i>Clavibacter</i> (棍状杆菌属)	<i>Clavibacter michiganense</i> (密执安棍状杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Chryseobacterium</i> (金黄杆菌属)	<i>Chryseobacterium indologenes</i> (产吡啶金黄杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Corynebacterium</i> (棒杆菌属)	<i>Corynebacterium aquaticum</i> (水生棒状杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Corynebacterium flavesens</i> (微黄棒杆菌)	En	[11]
		<i>Curtobacterium</i> (短小杆菌属)	<i>Curtobacterium</i> sp. (短小杆菌)	En	[8]
		<i>Enterobacter</i> (肠杆菌属)	<i>Enterobacter cloacae</i> (阴沟肠杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Enterobacter sakazakii</i> (阪崎氏肠杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Exiguobacterium</i> (微小杆菌属)	<i>Exiguobacterium acetylicum</i> (乙酰微小杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Flavimonas</i> (黄色单胞菌属)	<i>Flavimonas oryzae</i> (栖稻黄色单胞菌)	Sf, En	[10]
		<i>Kluyvera</i> (克吕沃尔氏菌属)	<i>Kluyvera ascorbata</i> (抗坏血酸克吕沃尔氏菌)	Sf, En	[10]
		<i>Kocuria</i> (考克氏菌属)	<i>Kocuria kristinae</i> (克氏考克氏菌)	Sf, En	[10]
		<i>Methylobacterium</i> (甲基杆菌属)	<i>Methylobacterium aquaticum</i>	En	[8]
			<i>Methylobacterium rhodesianum</i> (罗氏甲基杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Microbacterium</i> (微杆菌属)	<i>Microbacterium arborescens</i> (树状微杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Microbacterium barkeri</i> (巴氏微杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Microbacterium liquefaciens</i> (液化金杆菌)	Sf, En	[10]

续表		种子微生态系统中的细菌类群 Bacteria in seed-associated microbial ecology system		存在部位 Existing sites	参考文献 References
植物类型 Plant types	植物名称 Plant names	属 Genera	种 Species		
豆类 Soybean	大豆		<i>Microbacterium saperdae</i>	Sf, En	[10]
		<i>Paenibacillus</i> (类芽孢杆菌属)	<i>Paenibacillus amylolyticus</i> (解淀粉类芽孢杆菌)	En	[8]
			<i>Paenibacillus macerans</i> (浸麻类芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
			<i>Paenibacillus polymyxa</i> (多粘类芽孢杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Pantoea</i> (泛菌属)	<i>Pantoea agglomerans</i> (成团泛菌)	Sf, En	[10]
			<i>Pantoea ananatis</i> (菠萝泛菌)	Sf, En	[8, 11]
		<i>Pectobacterium</i> (果胶杆菌属)	<i>Pectobacterium carotovorum</i> (胡萝卜软腐病果胶杆菌)	Sf, En	[10]
		<i>Pseudomonas</i> (假单胞菌属)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (铜绿假单胞菌)	Sf, En	[10]
			<i>Pseudomonas putida</i> (恶臭假单胞菌)	Sf, En	[10]
		<i>Salmonella</i> (沙门氏菌属)	<i>Salmonella choleraesuis</i> (猪霍乱沙门氏菌)	Sf, En	[10]
		<i>Sphingomonas</i> (鞘氨醇单胞菌属)	<i>Sphingomonas capsulate</i> (荚膜鞘氨醇单胞菌)	Sf, En	[10]
			<i>Sphingomonas melonis</i>	Sf, En	[10]
			<i>Sphingomonas paucimobilis</i> (少动鞘氨醇单胞菌)	Sf, En	[10]
			<i>Sphingomonas yabuuchiae</i>	En	[8]
		<i>Staphylococcus</i> (葡萄球菌属)	<i>Staphylococcus saprophyticus</i> (腐生葡萄球菌)	Sf, En	[10]
		<i>Stenotrophomonas</i> (寡养单胞菌属)	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> (嗜麦芽寡养单胞菌)	Sf, En	[10]
		<i>Xanthomonas</i> (黄单胞菌属)	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Dieffenbachia</i>	Sf, En	[10]
			<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Strelitzia</i>	Sf, En	[10]
			<i>Xanthomonas translucens</i> (半透明黄单胞菌)	En	[8]
		<i>Aeromonas</i> (气单胞菌属)	<i>Aeromonas</i> sp. (气单胞菌)	En	[12]
		<i>Agrobacterium</i> (土壤杆菌属)	<i>Agrobacterium radiobacter</i> (星斑土壤杆菌)	En	[12]
		<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌属)	<i>Bacillus</i> spp. (芽孢杆菌)	En	[12]
		<i>Chryseomonas</i> (金色单胞菌属)	<i>Chryseomonas luteola</i> (浅金黄单胞菌)	En	[12]
		<i>Flavimonas</i> (黄色单胞菌属)	<i>Flavimonas oryzae</i> (栖稻黄色单胞菌)	En	[12]
产油类 Oil plants	油菜	<i>Sphingomonas</i> (鞘氨醇单胞菌属)	<i>Sphingomonas paucimobilis</i> (少动鞘氨醇单胞菌)	En	[12]
		<i>Alcaligenes</i> (产碱菌属)	<i>Alcaligenes piechaudii</i> (皮氏产碱菌)	En	[13]
		<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌属)	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (解淀粉芽孢杆菌)	En	[13]
			<i>Bacillus brevis</i> (短小芽孢杆菌)	En	[13]
			<i>Bacillus megaterium</i> (巨大芽孢杆菌)	En	[13]
		<i>Chryseobacterium</i> (金黄杆菌属)	<i>Chryseobacterium indologenes</i> (产吡啶金黄杆菌)	En	[13]
		<i>Comamonas</i> (丛毛单胞菌属)	<i>Comamonas acidovorans</i> (食酸丛毛单胞菌)	En	[13]
		<i>Erwinia</i> (欧文氏菌属)	<i>Erwinia amylovora</i> (解淀粉欧文氏菌)	En	[13]
		<i>Kurthia</i> (库特氏菌属)	<i>Kurthia gibsonii</i> (吉氏库特氏菌)	En	[13]
		<i>Micrococcus</i> (微球菌属)	<i>Micrococcus luteus</i> (藤黄微球菌)	En	[13]
		<i>Pantoea</i> (泛菌属)	<i>Pantoea agglomerans</i> (成团泛菌)	En	[13]
		<i>Pseudomonas</i> (假单胞菌属)	<i>Pseudomonas chlororaphis</i> (绿针假单胞菌)	En	[13]
	棉花		<i>Pseudomonas fluorescens</i> (荧光假单胞菌)	En	[13]
			<i>Pseudomonas marginalis</i> (边缘假单胞菌)	En	[13]
			<i>Pseudomonas putida</i> (恶臭假单胞菌)	En	[13]
			<i>Pseudomonas syringae</i> (丁香假单胞菌)	En	[13]
		<i>Rahnella</i> (拉恩氏菌属)	<i>Rahnella aquatilis</i> (水生拉恩氏菌)	En	[13]
		<i>Agrobacterium</i> (土壤杆菌属)	<i>Agrobacterium radiobacter</i> (星斑土壤杆菌)	Sf, En	[14, 15]
		<i>Curtobacterium</i> (短小杆菌属)	<i>Curtobacterium flaccumfaciens</i> (萎蔫短小杆菌)	Sf, En	[14, 15]
		<i>Enterobacter</i> (肠杆菌属)	<i>Enterobacter</i> sp.	En	[14]

续表

植物类型 Plant types	植物名称 Plant names	种子微生态系统中的细菌类群 Bacteria in seed-associated microbial ecology system		存在部位 Existing sites	参考文献 References
		属 Genera	种 Species		
其它 Others	甜菜 Others	<i>Microbacterium</i> (微杆菌属)	<i>Microbacterium</i> sp.	En	[14]
		<i>Micrococcus</i> (微球菌属)	<i>Micrococcus luteus</i> (藤黄微球菌)	Sf	[15]
			<i>Micrococcus</i> sp.	En	[14]
		<i>Paenibacillus</i> (类芽孢杆菌属)	<i>Paenibacillus macerans</i> (浸麻类芽孢杆菌)	Sf	[15]
			<i>Paenibacillus</i> sp.	En	[14]
		<i>Xanthobacter</i> (黄色单胞菌属)	<i>Xanthobacter agilis</i> (敏捷黄色杆菌)	Sf	[15]
			<i>Xanthobacter</i> sp.	En	[14]
		<i>Aureobacterium</i> (金杆菌属)	<i>Aureobacterium saperdae</i> (天牛金杆菌)	En	[16]
		<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌属)	<i>Bacillus alcalophilus</i> (嗜碱芽孢杆菌)	En	[16]
			<i>Bacillus cereus</i> (蜡样芽孢杆菌)	En	[16]
			<i>Bacillus firmus</i> (坚强芽孢杆菌)	En	[16]
			<i>Bacillus laterosporus</i> (侧孢短小芽孢杆菌)	En	[16]
			<i>Bacillus megaterium</i> (巨大芽孢杆菌)	En	[16]
		<i>Cellulomonas</i> (纤维单胞菌属)	<i>Cellulomonas</i> sp. (纤维单胞菌)	En	[16]
		<i>Comamonas</i> (丛毛单胞菌属)	<i>Comamonas</i> sp. (丛毛单胞菌)	En	[16]
		<i>Enterobacter</i> (肠杆菌属)	<i>Enterobacter sakazakii</i> (阪崎氏肠杆菌)	En	[16]
		<i>Erwinia</i> (欧文氏菌)	<i>Erwinia amylovora</i> (解淀粉欧文氏菌)	En	[16]
			<i>Erwinia salicis</i> (柳欧文氏菌)	En	[16]
		<i>Microbacterium</i> (微杆菌属)	<i>Microbacterium arbrorescens</i> (树状微杆菌)	En	[16]
			<i>Microbacterium imperial</i> (蛾微杆菌)	En	[16]
			<i>Microbacterium lacticum</i> (乳微杆菌)	En	[16]
		<i>Micrococcus</i> (微球菌属)	<i>Micrococcus nishinomiyaensis</i> (西宫皮生球菌)	En	[16]
			<i>Micrococcus sedentarius</i> (坐皮肤球菌)	En	[16]
			<i>Micrococcus roseus</i> (玫瑰色考克氏菌)	En	[16]
		<i>Pseudomonas</i> (假单胞菌属)	<i>Pseudomonas alkaligenes</i> (产碱假单胞菌)	En	[16]
			<i>Pseudomonas facilis</i> (敏捷食酸菌)	En	[16]
			<i>Pseudomonas mendocina</i> (门多萨假单胞菌)	En	[16]
			<i>Pseudomonas vesicularis</i> (泡囊短波单胞菌)	En	[16]
	番茄	<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌)	<i>Bacillus</i> sp.	Sp	[17]
		<i>Pseudomonas</i> (假单胞菌)	<i>Pseudomonas</i> sp.	Sp	[17]
	5 种阔叶杂草	<i>Alcaligenes</i> (产碱菌属)	<i>Alcaligenes</i> sp.	En	[18]
	(苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i> , 曼陀罗 <i>Datura stramonium</i> , <i>Lpomoea hederacea</i> , <i>Polygonum pensylvanicum</i> , <i>Xanthium strumarium</i>)	<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌属)	<i>Bacillus</i> sp.	En	[18]
		<i>Erwinia</i> (欧文氏菌属)	<i>Erwinia</i> sp.	En	[18]
		<i>Flavobacterium</i> (黄杆菌属)	<i>Flavobacterium</i> sp.	En	[18]
		<i>Lactobacillus</i> (乳杆菌属)	<i>Lactobacillus</i> sp.	En	[18]
		<i>Pseudomonas</i> (假单胞菌属)	<i>Pseudomonas</i> sp.	En	[18]
	桉树	<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌属)	<i>Bacillus megaterium</i> (巨大芽孢杆菌)	En	[19]
		<i>Enterococcus</i> (肠球菌属)	<i>Enterococcus mundtii</i> (蒙氏肠球菌)	En	[19]
		<i>Frankiaceae</i> (弗兰克氏菌)	<i>Frankiaceae</i> sp.	En	[19]
		<i>Methylobacterium</i> (甲基杆菌属)	<i>Methylobacterium</i> sp.	En	[19]
			<i>Methylobacterium variabile</i>	En	[19]
			<i>Methylobacterium gregens</i>	En	[19]

续表

植物类型 Plant types	植物名称 Plant names	种子微生态系统中的细菌类群 Bacteria in seed-associated microbial ecology system		存在部位 Existing sites	参考文献 References
		属 Genera	种 Species		
		<i>Paenibacillus</i> (类芽胞杆菌属)	<i>Paenibacillus humicus</i>	En	[19]
		<i>Paracoccus</i> (副球菌属)	<i>Paracoccus</i> sp.	En	[19]
		<i>Sphingomonas</i> (鞘氨醇单胞菌属)	<i>Sphingomonas phyllosphaerae</i>	En	[19]
	挪威云杉	<i>Pseudomonas</i> (假单胞菌)	<i>Pseudomonas</i> sp.	En	[5]
		<i>Rahnella</i> (拉恩氏菌)	<i>Rahnella</i> sp.	En	[5]

* 非培养方法检测; En: 种子内生; Sf: 种子表面; Sp: 种子际

4 影响种子微生物生态系统的相关因素

4.1 种子的形态、营养成分对种子微生物类群的影响

种子的不同形态结构对种子微生物生态系统有一定影响。早在 1976 年, Mundt 和 Hinkle^[32] 用培养方法对 27 种表面灭菌的植物胚珠和种子中的细菌进行分离培养, 结果表明在同样的培养条件下, 从玉米、大豆、萝卜 (*Raphanus sativus*)、黑麦 (*Secale cereale*)、苜蓿 (*Medicago sativa*)、甜椒 (*Capsium frutescens*) 等种子中分离到 19 个属共 46 种细菌, 而表面坚硬和光滑的含羞草、黄桑种子中很难分离到细菌。棉花种子的种皮形态粗糙, 其中的胚珠纤维细胞具有深孔结构, 纤维细胞中的细菌数量可达 $10-10^6$ 个/g 鲜重, 而不同植株的种子大小不同, 胚珠细胞数目不同, 因此具有不同数量的内生菌^[14]。

种子的营养物质主要包括糖类、脂肪和蛋白质, 这是微生物赖以生存的物质条件, 它们以不同的比例贮藏种子的各组织中, 种子的营养成分与其固有细菌的类群可能存在一定相关性。谷物种子含糖量最高, 如大麦和小麦 (*Triticum aestivum*) 含糖量达到 70% 以上; 油料作物种子中脂肪含量很高, 如蓖麻 (*Ricinus communis*) 种子中含油量可达到 60% 以上, 所含糖类则很少, 可忽略不计; 不同植物种子的含水量也不相同, 由于蛋白质和糖类等分子中含有大量亲水基团, 因此, 蛋白质和糖类含量高的种子比油脂含量高的种子更容易吸湿, 具有较多水分^[1]。水稻、大豆、棉花等种子中所含的营养物质比例不同, 种子微生物的研究表明它们的微生物类群也不相同 (表 1)。

4.2 寄生于种子不同组织部位的微生物类群的差异

对种子的不同组织分别进行研究发现其中的微生物类群不同。Cankar 等^[5] 用培养方法和非培养方法对挪威云杉 (*Picea abies*) 树种的种皮、胚乳和胚的内生菌进行了鉴定和统计, 结果显示种子不同部位的内生菌类群并不相同。在种皮中检测到假单胞菌和拉恩氏菌两种主要细菌类群, 而在胚乳和胚中只检测到拉恩氏菌。Kutschera^[33] 在扫描电镜下观察向日葵 (*Helianthus annuus*) 种子萌发过程中细菌在子叶上的定殖, 发现包裹种子的果皮 (与种皮紧贴) 外表面上定殖的细菌最多, 而胚中则未发现细菌。

4.3 种子发育和萌发过程中微生物的类群的动态变化

种子在发育过程中, 与其联合的微生物类群是呈动态变化的, 其种类和组成会发生改变, 某些种类微生物会发生运动和转移的现象。随着种子的发育, 淀粉等营养物质的积累和变化会影响到其固有^[34] 微生物种类的组成。Mano 等^[35] 研究表明, 水稻种子比植株含有更多具有耐高渗透压的内生菌, 在种子成熟后期, 具有淀粉酶活力的内生菌明显增多。Majewska 等^[36] 跟踪检测了黑麦草 (*Lolium perenne*) 花序及种胚发育过程中内生真菌 (*Neotyphodium lolii*) 菌丝分布的情况, 观察到内生真菌的菌丝能通过母体孢子叶原基组织转移到种子中。也有研究表明细菌进入种子可能是通过脉管组织、花粉管、成熟种子的种脐以及种皮裂缝等种种途径^[32]。Coombs 等^[37] 将一株放线菌进行 gfp 标记后接种到萌发的小麦种子, 研究了接种菌株在种子中的动态变化, 在植株的早期发育阶段对胚、胚乳和幼根组织进行荧光检测, 结果发现在种子萌发后 24 h, 只在胚中检测到标记菌株, 3d 后, 胚中的荧光信号增强, 在胚乳和幼根细胞中检测到标记菌株出现, 推测细菌最开始从内外颖壳的间隙进入到胚, 在种子吸水的过程中进入胚乳。Ferreira 等^[19] 从桉树 (*Eucalyptus*) 种子中分离内生菌时发现芽孢杆菌、肠球菌、泛菌、甲基杆菌等会随着种子萌发在植物组织中纵向转移, 并促进了成熟植株体

内生菌群落的构建。

4.4 种子基因型与其所联合的微生物群落的相关性

自 20 世纪 70 年代以来,已有一系列研究发现植物的基因型对其根际定殖的微生物群落结构具有重要影响。Neal 等^[38]的研究了不同基因型小麦品种的根际微生物类群的差异,发现一条染色体被置换的小麦品种的根际微生物类群不同于未发生变异的品种,提出了植物基因型的变化决定了定殖于根际的微生物类群变化的观点。Michiels 等^[39]发现,植物的基因型决定了根际分泌物的组分和量,并与在根际定殖的细菌如固氮细菌的数量和活性有相关性。Mavingui 等^[40]应用 PFLP 技术研究了小麦根面、根际和非根际的多粘芽孢杆菌(*Bacillus polymyxa*)的群落结构,发现非根际的散土和根际土壤中的多粘芽孢杆菌的种群多样性明显地高于根面上定殖的多粘芽孢杆菌,说明植物根面对定殖细菌具有相当高的选择压,并推测这种选择压在植物和细菌方面都是在‘亚种’水平上起作用的。本研究组曾发现,抗病性不同的水稻品种根面定殖的细菌种群和数量有明显差异,抗病性强的水稻品种根际定殖的细菌中具有拮抗性的细菌数量比抗病性弱的品种多,并且对病原菌的拮抗谱也较宽^[41]。

种子作为植物的一个特殊发育阶段,是携带着亲本基因的雏形植物(Microphyte)^[42]。近年来关于种子基因型对其联合的微生物的影响的也有些研究报道,Smith 等^[43]结合番茄(*Lycopersicon esculentum*)遗传图谱研究生防菌蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)对番茄感染囊珠腐霉(*Pythium torulosum*)的抑制作用,发现番茄基因组中 3 个数量性状位点(QTL)与蜡样芽孢杆菌在种子上的生长情况、对腐霉叶煤纹病的抑制以及出苗率相关;Simon 等^[17]研究发现,不同番茄基因型对其种子固有细菌和接种细菌生长的影响也各异;Adams 和 Kloepper^[14]研究了棉花植物的基因型对其种子以及幼苗的茎和根组织中固有细菌种群的影响。研究结果表明,不论源于种子还是土壤,棉花植株在种子萌发后立即具有承载内生细菌群落容量的能力,并发现在种子萌发和幼苗发育过程中,不同棉花栽培品种的遗传学、形态学和生理学方面特性的差异会导致定殖的内生菌群落结构的差异。

作者曾通过构建 16S rDNA 文库对我国杂交水稻不同组合的子代及其各自亲本的种子内生细菌群落结构多样性进行了研究。实验结果显示水稻的基因型与其种子的内生细菌群落结构具有一定的相关性。

除植物病原菌外,目前对于与种子联合的固有微生物信息及其分布规律的了解还很有限,研究种子基因型与其固有微生物群落相关性信息,必将有助于深入揭示植物基因型与其联合的固有微生物相关性,并将为应用其优势有益菌种作为微生物接种剂,促进植物生长发育和产量提高发挥重要作用。

4.5 种子际固有微生物群落

“种子际”^[34]是指距离种子表面 1—10 mm 内受到种子萌发影响的区域^[44],是种子萌发过程中形成的微生物活跃区域,富于微生物群落的形成和功能的瞬时演替特性,对根际微生物的定殖和植物的生长发育具有独特的生态学意义^[45]。种子际固有微生物群落是种子微生物生态的重要组成部分,它们与种子萌发过程的分泌物和土壤微生物群落密切相关。种子萌发过程中有机物的分泌释放是植物与病原微生物以及土壤微生物之间相互作用主要的驱动力^[34, 44],而定殖在种子上的微生物类群在一定程度上决定于土壤微生物群落的组成^[34, 45]。本研究组曾对种子际的相关内容进行过综述报道^[44],并通过构建 16S rDNA 文库和 PCR-DGGE 技术研究了玉米和水稻种子际的细菌群落结构,发现在种子萌发的不同时段,种子际的细菌群落结构具有差异。

5 种子微生物生态学研究的发展方向

近年来植物微生物生态学以及种子生物学的研究日益深入,试验方法不断发展和完善,促进了种子微生物生态学的研究,但目前对该领域的相关知识的了解还很有限,需要从以下几个方面进一步深入:(1) 不同种类植物种子联合的微生物群落结构;(2) 植物种子的内在因素(如植物基因型、种子内的营养物质、种子发育时期等)对种子微生物生态的影响和机理;(3) 外界环境(如种子所处的土壤环境,人为处理条件等)对种子微生物生态的影响和作用机理;(4) 种子微生物生态系统中各种微生物之间的相互作用;(5) 作为植物相

关微生物的一个重要来源,种子联合的微生物转移到植物体内并影响植物生长的过程和作用机理;此外,将先进的分子生物学技术和统计学分析方法有效地应用到种子微生物生态学研究领域也是需要探讨的问题。

微生物对种子健康和植物的生长发育具有重要影响,种子微生物生态学的发展对种子健康检测,植物病害防治,微生物接种等生产实践具有重要意义。同时由于种子微生物生态学与种子生物学的多个研究领域有重要联系,关注种子微生物生态学的研究必将丰富种子生物学的内容,并将对种子科学的发展起到促进作用。

References:

- [1] Cheng H Y, Deng Z J. The morphology and composition of the seed//Song S Q, Cheng H Y, Jiang X C, Deng Z J, Long C L, Tang A J, Fu J R, Huang Z Y, Yu S L, Wang R L eds. Seed Biology. Beijing: Science Press, 2008: 1-40.
- [2] Grum M, Camloh M, Rudolph K, Ravnika M. Elimination of bean seed-borne bacteria by thermotherapy and meristem culture. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 1998, 52(1/2): 79-82.
- [3] Gitaitis R, Walcott R. The epidemiology and management of seedborne bacterial diseases. Annual Reviews of Phytopathology, 2007, 45: 371-397.
- [4] Mei R H. The concept of vegetation micro-ecology. Chinese Journal of Microecology, 1991, 3(2): 94-96.
- [5] Cankar K, Kraigher H, Ravnika M, Rupnik M. Bacterial endophytes from seeds of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst). FEMS Microbiology Letters, 2005, 244(2): 341-345.
- [6] Cai Y C. Vegetation micro-ecology and application of Vegetation micro-ecology preparation. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(2): 106-108.
- [7] Kang B. Advances of normal micro-ecology. Journal of Dalian Medical University, 1984, 6(1): 116-126.
- [8] Mano H, Morisaki H. Endophytic bacteria in the rice plant. Microbes and Environments, 2008, 23(2): 109-117.
- [9] Wilkinson K G, Dixon K W, Sivasithamparan K. Interaction of soil bacteria, mycorrhizal fungi and orchid seed in relation to germination of Australian orchids. New Phytologist, 1989, 112(3): 429-435.
- [10] Cottyn B, Regalado E, Lanoot B, de Cleene M, Mew T W, Swings J. Bacterial populations associated with rice seed in the tropical environment. Phytopathology, 2001, 91(3): 282-292.
- [11] Bacilio-Jiménez M, Aguilar-Flores S, del Valle M V, Pérez A, Zepeda A, Zenteno E. Endophytic bacteria in rice seeds inhibit early colonization of roots by *Azospirillum brasilense*. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(2): 167-172.
- [12] Oehle N W, Karr D B, Kremer R J, Emerich D W. Enhanced attachment of *Bradyrhizobium japonicum* to soybean through reduced root colonization of internally seedborne microorganisms. Canadian Journal of Microorganisms, 2000, 46(7): 600-606.
- [13] Granér G, Persson P, Meijer J, Alström S. A study on microbial diversity in different cultivars of *Brassica napus* in relation to its wilt pathogen, *Verticillium longisporum*. FEMS Microbiology Letters, 2003, 224(2): 269-276.
- [14] Adams P D, Kloepper J W. Effect of host genotype on indigenous bacterial endophytes of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Plant and Soil, 2002, 240(1): 181-189.
- [15] McKellar M E, Nelson E B. Compost-induced suppression of *Pythium* damping-off is mediated by fatty-acid-metabolizing seed-colonizing microbial communities. Applied and Environmental Microbiology, 2003, 69(1): 452-460.
- [16] Kanivets V I, Pishchur I N. Bacterial microflora on disinfected sugar beet seeds. Microbiology, 2001, 70(3): 316-318.
- [17] Simon H M, Smith K P, Dodsworth J A, Guenther B, Handelsman J, Goodman R M. Influence of tomato genotype on growth of inoculated and indigenous bacteria in the spermosphere. Applied and Environmental Microbiology, 2001, 67(2): 514-520.
- [18] Kremer R J. Identity and properties of bacteria inhabiting seeds of selected broadleaf weed species. Microbial Ecology, 1987, 14(1): 29-37.
- [19] Ferreira A, Quecine M C, Lacava P T, Oda S, Azevedo J L, Araújo W L. Diversity of endophytic bacteria from *Eucalyptus* species seeds and colonization of seedlings by *Pantoea agglomerans*. FEMS Microbiology Letters, 2008, 287(1): 8-14.
- [20] Normander B, Prosser J I. Bacterial origin and community composition in the barley phytosphere as a function of habitat and presowing conditions. Applied and Environmental Microbiology, 2000, 66(10): 4372-4377.
- [21] Tyson G W, Chapman J, Hugenholtz P, Allen E E, Ram R J, Richardson P M, Solovyev V V, Rubin E M, Rokhsar D S, Banfield J F. Community structure and metabolism through reconstruction of microbial genomes from the environment. Nature, 2004, 428(6978): 37-43.
- [22] Sun L, Qiu F B, Zhang X X, Dai X, Dong X Z, Song W. Endophytic bacterial diversity in rice (*Oryza sativa* L.) roots estimated by 16S rDNA sequence analysis. Microbial Ecology, 2008, 55(3): 415-424.
- [23] Brown M V, Schwalbach M S, Hewson L, Fuhrman J A. Coupling 16S-ITS rDNA clone libraries and automated ribosomal intergenic spacer analysis to show marine microbial diversity: development and application to a time series. Environmental Microbiology, 2005, 7(9): 1466-1479.

- [24] Massol-Deya A A, Odelsonn D A, Hickey R F, Tiedje J M. Bacterial community fingerprinting of amplified 16S and 16 —23S ribosomal DNA gene sequence and restriction endonuclease analysis (ARDRA) // Akkermans A D L, van Elsas J D, de Bruijn F J, eds. Molecular Microbial Ecology Manual. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999, (3.3.2): 1-8.
- [25] Janssen P, Coopman R, Huys G, Swings J, Bleeker M, Vos P, Zabeau M, Kersters K. Evaluation of the DNA fingerprinting method AFLP as a new tool in bacterial taxonomy. Microbiology, 1996, 142(7): 1881-1893.
- [26] Liu W T, Marsh T L, Cheng H, Forney L J. Characterization of microbial diversity by determining terminal restriction fragment length polymorphisms of genes encoding 16S rRNA. Applied Environmental Microbiology, 1997, 63(11): 4516-4522.
- [27] Muyzer G, Smalla K. Application of denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology. Antonie van Leeuwenhoek, 1998, 73(1): 127-141.
- [28] Neufeld J D, Yu Z T, Lam W, Mohn W W. Serial analysis of ribosomal sequence tags (SARST): a high-throughput method for profiling complex microbial communities. Environmental Microbiology, 2004, 6(2): 131-144.
- [29] van Overbeek L, van Elsas J D. Effects of plant genotype and growth stage on the structure of bacterial communities associated with potato (*Solanum tuberosum* L.). FEMS Microbiology Ecology, 2008, 64(2): 283-296.
- [30] Garbagnoli C, Irigoyen E D. Microflora associated with seeds of white mustard (*Sinapis alba* L.) in Argentina. Fitopatologia, 1999, 34: 122-132.
- [31] Girish A G, Singh S D, Chakrabarty S K, Prasada Rao R D V J, Surender A, Varaprasad K S, Bramel P J. Seed microflora of five ICRIAT mandate crops. Seed Science and Technology, 2001, 29(2): 429-443.
- [32] Mundt J O, Hinkle N F. Bacteria within ovules and seeds. Applied and Environmental Microbiology, 1976, 32(5): 694-698.
- [33] Kutschera U. Bacterial colonization of sunflower cotyledons during seed germination. Journal of Applied Botany, 2002, 76(3/4): 96-98.
- [34] Nelson E B. Microbial dynamics and interactions in the spermosphere. Annual Review of Phytopathology, 2004, 42: 271-309.
- [35] Mano H, Tanaka F, Watanabe A, Kaga H, Okunishi S, Morisaki H. Culturable surface and endophytic bacterial flora of the maturing seeds of rice plants (*Oryza sativa*) cultivated in a paddy field. Microbes and Environments, 2006, 21(2): 86-100.
- [36] Majewska-Sawka A, Nakashima H. Endophyte transmission via seeds of *Lolium perenne* L.: immunodetection of fungal antigens. Fungal Genetics and Biology, 2004, 41(5): 534-541.
- [37] Coombs J T, Franco C M M. Visualization of an endophytic *Streptomyces* species in wheat seed. Applied and Environmental Microbiology, 2003, 69(7): 4260-4262.
- [38] Neal J L, Larson R I, Atkinson T G. Changes in rhizosphere populations of selected physiological groups of bacteria related to substitution of specific pairs of chromosomes in spring wheat. Plant and Soil, 1973, 39(1): 209-212.
- [39] Michiels K, Vanderleyden J, van Gool A. Azospirillum-plant root associations; a review. Biology and Fertility of Soils, 1989, 8(4): 356-368.
- [40] Mavingui P, Laguerre G, Berge O, Heulin T. Genetic and phenotypic diversity of *Bacillus polymyxa* in soil and in the wheat rhizosphere. Applied and Environmental Microbiology, 1992, 58(6): 1894-1903.
- [41] Song W, Yang H L, Sun X L, Wang Y S, Wang Y D, Chen Z H. The rice endophytic diazotroph and PGPR // Malik K A, Mirza M S, Ladha J K eds. Nitrogen Fixation with Non-Legumes. Kluwer Dordrecht: Academic Publishers, 1998: 41-48.
- [42] Guan K L. Seed Physiological Ecology. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 1-2.
- [43] Smith K P, Handelsman J, Goodman R M. Genetic basis in plants for interactions with disease-suppressive bacteria. Proceedings National Academy Sciences of the United States of America, 1999, 96(9): 4786-4790.
- [44] Liu L, Liu Y, Qiu F B, Zhang X X, Song W. Advances of studies on micro-ecology in the spermosphere. Microbiology, 2008, 35(11): 1811-1816.
- [45] Buyer J S, Roberts D P, Russek-Cohen E. Microbial community structure and function in the spermosphere as affected by soil and seed type. Canada Journal of Microbiology, 1999, 45(2): 138-144.

参考文献:

- [1] 程红焱, 邓志军. 种子的形态结构和组成 // 宋松泉, 程红焱, 姜孝成, 邓志军, 龙春林, 唐安军, 傅家瑞, 黄振英, 于胜利, 王如玲. 种子生物学. 北京: 科学出版社, 2008: 1-40.
- [4] 梅汝鸿. 植物微生态学的定义. 中国微生态学杂志, 1991, 3(2): 94-96.
- [6] 蔡元呈. 植物微生态学 with 植物微生态制剂的应用. 中国生态农业学报, 2002, 10(2): 106-108.
- [7] 康白. 正常微生物生态学研究进展. 大连医科大学学报, 1984, 6(1): 116-126.
- [42] 管康林. 种子生理生态学. 北京: 中国农业出版社, 2009: 1-2.
- [44] 刘琳, 刘洋, 邱服斌, 张晓霞, 宋未. 植物种子际微生态学研究进展. 微生物学通报, 2008, 35(11): 1811-1816.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 10 May, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Circadian activity pattern of giant pandas during the bamboo growing season	2655
..... ZHANG Jindong, Vanessa HULL, HUANG Jinyan, et al	
The vivipary characteristic of <i>Anabasis elatior</i> and its ecological adaptation	2662
..... HAN Jianxin, WEI Yan, YAN Cheng, et al	
Relationships between plant community characteristics and environmental factors in the typical profiles from Dzungaria Basin	2669
..... ZHAO Congju, KANG Muyi, LEI Jiaqiang	
The relationship between pollen assemblage in topsoil and vegetation in karst mountain during different restoration period of typical vegetation community	2678
..... HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyong, et al	
Early responses of soil CO ₂ emission to simulating atmospheric nitrogen deposition in an alpine meadow on the Qinghai Tibetan Plateau	2687
..... ZHU Tianhong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al	
Spatial pattern of soil moisture and vegetation attributes along the critical area of desertification in Southern Mu Us Sandy Land	2697
..... QIU Kaiyang, XIE Yingzhong, XU Dongmei, et al	
Dynamics of dominant tree seedlings in montane evergreen broadleaved forest following a snow disaster in North Guangdong	2708
..... OU Yudian, SU Zhiyao, XIE Dandan, et al	
A comparative analysis of the hydrological effects of the four cypress stand types in Sichuan Basin	2716
..... GONG Gutang, CHEN Junhua, LI Yanqiong, et al	
Effect of cutting management on soil moisture in semi-arid Loess Hilly region	2727
..... LI Yaolin, GUO Zhongsheng	
Dynamics of understory vegetation biomass in successive rotations of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) plantations	2737
..... YANG Chao, TIAN Dalun, HU Yueli, et al	
Spatial and temporal variation of solar radiation in recent 48 years in North China	2748
..... YANG Jianying, LIU Qin, YAN Changrong, et al	
Impact of stand features of short-rotation poplar plantations on canker disease incidence at a mesoscale landscape: a case study in Qingfeng County, Henan Province, China	2757
..... WANG Jing, CUI Lingjun, LIANG Jun, et al	
Effects of different soil tillage systems on weed biodiversity and wheat yield in winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) field	2768
..... TIAN Xinxin, BO Cunyao, LI Li, et al	
Habitat suitability evaluation of Elliot's pheasant (<i>Syrnaticus ellioti</i>) in Guanshan Nature Reserve	2776
..... CHEN Junhao, HUANG Xiaofeng, LU Changhu, et al	
Relationships between arthropod community characteristic and meteorological factors in <i>Zanthoxylum bungeanum</i> gardens	2788
..... GAO Xin, ZHANG Xiaoming, YANG Jie, et al	
The differences of ecosystem services between vegetation restoration models at desert front	2797
..... ZHOU Zhiqiang, LI Ming, HOU Jianguo, et al	
Response to salt stresses and assessment of salt tolerability of soybean varieties in emergence and seedling stages	2805
..... ZHANG Haibo, CUI Jizhe, CAO Tiantian, et al	
Dynamic change of salt contents in rhizosphere soil of salt-tolerant plants	2813
..... DONG Liping, CAO Jing, LI Xianting, et al	
Effect of short-term salt stress on the absorption of K ⁺ and accumulation of Na ⁺ , K ⁺ in seedlings of different wheat varieties	2822
..... WANG Xiaodong, WANG Cheng, MA Zhihong, et al	
Effects of the micro-environment inside fruit bags on the structure of fruit peel in 'Fuji' apple	2831
..... HAO Yanyan, ZHAO Qifeng, LIU Qunlong, et al	
Enhancement of soil quality in a rice-wheat rotation after long-term application of poultry litter and livestock manure	2837
..... LI Jiangtao, ZHONG Xiaolan, ZHAO Qiguo	
MSAP analysis of DNA methylation in <i>Arabidopsis</i> (<i>Arabidopsis thaliana</i>) under Oxytetracycline Stress	2846
..... DU Yaqiong, WANG Zicheng, LI Xia	
Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from Changshan Archipelago in the North Yellow Sea	2854
..... SHAO Kuishuang, GONG Ning, YANG Qing, et al	
Developing and optimizing ecological networks in urban agglomeration of Hunan Province, China	2863
..... YIN Haiwei, KONG Fanhua, QI Yi, et al	
Dynamic simulation of Shanghai urban expansion based on multi-agent system and cellular automata models	2875
..... QUAN Quan, TIAN Guangjin, SHA Moquan	
"Micro-canyon effect" of city road green belt and its effect on the pollutant concentration above roads for non-motorized vehicles	2888
..... LI Ping, WANG Song, WANG Yaying, et al	
Review and Monograph	
The abundance and diversity of nanoplankton in Arctic Ocean	2897
..... GUO Chaoying, WANG Guizhong, ZHANG Fang, et al	
Advances in plant seed-associated microbial ecology	2906
..... ZOU Yuanyuan, LIU Yang, WANG Jianhua, et al	
Improving validity and reliability of contingent valuation method through reducing biases and errors: theory, method and application	2915
..... CAI Zhijian, DU Liyong, JIANG Zhan	
Discussion	
The analysis of Chinese ecological academic journals	2924
..... LIU Tianxing, KONG Hongmei, DUAN Jing	
Scientific Note	
Seasonal variations in salt tolerance of <i>Oligostachyum lubricum</i>	2932
..... GU Daxing, GUO Ziwu, LI Yingchun, et al	
Variation of a spring bacterial community from Wuqia Sinter in Xinjiang during the pre- and post-earthquake period	2940
..... YANG Hongmei, OTKUR Mahmut, ZENG Jun, et al	
Comparison of the effect of two prey species on the population growth of <i>Orius similis</i> Zheng and the implications for the control of <i>Tetranychus urticae</i> Koch	2947
..... HUANG Zengyu, HUANG Linmao, HUANG Shoushan	

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 10 期 (2011 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 10 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元