

巨桉人工林地土壤微生物类群的生态分布规律*

冯 健 张 健**

(四川农业大学林学院园艺学院, 雅安 625014)

【摘要】 研究了四川省洪雅县巨桉人工林地土壤微生物数量及其类群分布规律. 结果表明, 洪雅县巨桉人工林地土壤微生物数量具有明显的季节变化, 各样地均以秋季最多, 达到 17.42×10^6 CFU·g⁻¹, 春季次之, 夏季最少. 土壤微生物主要集中在 0~20 cm 的土层, 随着土层的加深, 微生物数量迅速减少; 在 0~60 cm 土层, 同一类群微生物数量变动范围较大, 其中好气性细菌 $0.31 \times 10^6 \sim 14.39 \times 10^6$ CFU·g⁻¹, 放线菌 $0.06 \times 10^6 \sim 0.79 \times 10^6$ CFU·g⁻¹, 真菌 $0.02 \times 10^6 \sim 0.07 \times 10^6$ CFU·g⁻¹, 厌氧细菌 $0.05 \times 10^6 \sim 3.22 \times 10^6$ CFU·g⁻¹. 巨桉人工林地微生物以细菌为主要类群, 占微生物总数的 92.83% 以上, 其次是放线菌和真菌, 其微生物组成结构合理. 与青冈次生林和农耕地相比, 巨桉人工林地微生物数量远远高于青冈次生林地, 有利于土壤微生物生长. 细菌生理类群的 Simpson 多样性指数和 Shannon-Wiener 多样性指数分别达到 0.773 和 1.896.

关键词 巨桉人工林 土壤微生物 生态分布

文章编号 1001-9332(2005)08-1422-05 **中图分类号** S718.52⁺1.3 **文献标识码** A

Ecological distribution patterns of soil microbes under artificial *Eucalyptus Grandis* stand. FENG Jian, ZHANG Jian (College of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(8):1422~1426.

In order to find out the ecological distribution patterns of soil microbes under artificial *Eucalyptus grandis* stand, the amount and distribution of soil bacteria, fungi and actinomycetes in Hongya County of Sichuan Province were investigated in 2004. The results showed that soil microbial population under *Eucalyptus grandis* stand varied with seasons, being the maximum in autumn, fewer in spring, and the minimum in summer. The numbers were decreased in order of bacteria > actinomycetes > fungi, which were mainly concentrated in 0~20 cm soil layer, and rapidly decreased with increasing soil depth. In 0~60cm soil layer, the numbers of aerobic bacteria were $0.31 \times 10^6 \sim 14.39 \times 10^6$, actinomycetes were $0.06 \times 10^6 \sim 0.79 \times 10^6$, fungi were $0.06 \times 10^6 \sim 0.79 \times 10^6$, and anaerobes were $0.05 \times 10^6 \sim 3.22 \times 10^6$ CFU·g⁻¹. Comparing with artificial *C. glauca* stand and farming land, *Eucalyptus grandis* stand had a larger number of soil microbes, suggesting that *Eucalyptus grandis* was benefit for soil microbial activity. The Simpson and Shannon-Wiener index of the physiological groups of bacteria was 0.773 and 1.896, respectively.

Key words *Eucalyptus grandis*, Soil microbes, Ecological distribution.

1 引 言

巨桉 (*Eucalyptus grandis*) 是桉树属双蒴盖亚属横脉组柳桉系中的树种, 具有生长快、干形好、轮伐期短、萌蘖能力强、自然整枝好、用途广泛、经济效益高等优点. 木材广泛用于纸浆材、锯材、房屋建材、人造板材、木片及矿柱、薪材等. 因其具有以上优良特性, 而被广泛引种. 目前, 全世界有巨桉人工林 2.0×10^6 hm². 我国引种始于 20 世纪 60 年代中期^[10]. 四川省于“七五”期间首次引入巨桉到丰都、富顺国营林场, 现已营建巨桉推广示范林 2.0×10^4 hm²^[4], 成为四川桉树的主要栽培种. 桉树的经济价值和社会价值已显现, 但其生态效应却引起争议, 有很多科学家对桉树进行了研究^[1~3, 6, 11, 12, 15]. 研究表明, 巨桉人工林地植物物种多样性并未减少,

且与其它人工林地相比还有增加.

土壤微生物是森林生态系统的重要组成部分, 它参与系统的物质循环和能量流动. 微生物在土壤中的数量、分布与活动情况, 反映了土壤肥力的高低, 对林木生长发育起重要作用. 因此, 常作为评价土壤质量、维持林地的生产力、保护环境质量以及维持系统健康的生物指标^[7, 9, 18, 19, 21]. 本文对巨桉引种栽培区的洪雅县巨桉人工林土壤微生物进行研究, 探讨其土壤微生物数量、类群及生态分布规律.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

试验地位于四川省洪雅县“桉树短周期纤维原料林经营

* 国家“十五”科技攻关重点资助项目(2001BA606A-06).

** 通讯联系人.

2005-01-17 收稿, 2005-05-06 接受.

技术体系”定位研究试验林(102°29′~103°21′E, 29°24′~29°54′N),属亚热带湿润季风气候,年均气温 16.8℃,最高气温 26.8℃,最低气温 -3.3℃,年降水量 1 493.8 mm.土壤类型为山地黄壤和紫色土.地带性植被类型为亚热带常绿阔叶林.灌木层主要植物为油茶(*Camellia oleifera*)、铃木(*Eurya* spp.)、胡颓子(*Elaeagnus pungens*)和牛奶子(*Elaeagnus umbellata*)等,草本层主要植物为铁角蕨(*Asplenium* spp.)、鸭跖草(*Commelina* spp.)、悬钩子(*Rubus* spp.)和淡竹叶(*Lophatherum gracile*)等.

2.2 样品采集

按“品”字型布点,于春、夏、秋 3 季分别采集巨桉人工林地土壤和与其相邻地块(农耕地和青冈次生林地)土样.分表层(0~20 cm)、中层(20~40 cm)、下层(40~60 cm)采集,先取下层,再取中层,最后取表层.每个土样采集 1 000 g,无菌袋收集,带回实验室冰箱(0~4℃)保存.

2.3 研究方法

土壤微生物区系分析采用涂抹法接种,稀释平板法测数.好气性细菌采用牛肉蛋白胨培养基,以稀释度为 10^{-3} ~ 10^{-5} 的土壤稀释液接种;放线菌采用改良高氏 1 号培养基,以稀释度为 10^{-2} ~ 10^{-4} 的土壤稀释液接种;真菌采用 PDA 培养基,以稀释度为 10^{-1} ~ 10^{-3} 的土壤稀释液接种;厌氧细菌采用高泽有机氮培养基,以稀释度为 10^{-3} ~ 10^{-5} 的土壤稀释液接种,3 次重复,接种后置于 25~28℃ 培养箱培养,细菌在 24~48 h、放线菌在 10~14 d、真菌在 3~5 d 计数.

对于 13 种土壤细菌功能群,好气固氮菌、根瘤菌、好气纤维素分解菌、氨化细菌、有机磷分解菌、无机磷分解菌和硅酸盐细菌用稀释平板法分离计数,厌氧纤维素分解菌、亚硝酸细菌、硝化细菌、反硝化细菌、硫化细菌和反硫化细菌用 MPN(most probable number)法分离计数,其中厌氧纤维素分解菌、反硝化细菌和反硫化细菌用厌氧培养法在 26℃ 下培养 16 d 后计数.培养基按文献^[5,16,17]配制.

2.4 多样性指数^[14,17]

Simpson 指数:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

其中, P_i 为第 i 种占总个体的比例(n_i/N), S 为生理群数.

Shannon-Wiener 指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

均匀度指数:

$$R = H' / \ln S$$

3 结果与分析

3.1 土壤微生物的季节变化

从表 1 可以看出,巨桉人工林地的微生物总数有显著的季节变化.各样地微生物总数均以秋季最高,春季次之,夏季最低;秋季与春季比值为 1.08~1.47;秋季与夏季比值为 1.11~1.59.细菌秋季与春季、夏季的比值变化分别为 1.11~1.65 和 1.09~1.54.从各样地的比值变化可以看出,各样地受季节变化影响大小不一.就微生物总量而言,1 号和 2 号样地受季节变化影响较大,说明这两块样地微生物活动活跃.1 号样地的好气性细菌随季节的变化最大,在各样地中表现最活跃,原因可能是其土壤理化性质有利于微生物生长.土壤微生物数量显著的季节变化,可能与微生物类群对水、酸碱度、热、气、养分的需求、适应及承受能力有关.季节变化引起水分、热量的变化,进一步影响植物及土壤环境的变化,如植物有机残体进入土壤、根系分泌物的释放、土壤有效养分含量的变化、土壤结构的改善、土壤含水量的变化、酸碱度的改变等,以上因素都是影响微生物数量出现季节变化的影响因子.

3.2 土壤微生物组成变化

在细菌、放线菌和真菌三大类群中,细菌是巨桉人工林地土壤微生物的主要类群,占土壤微生物总数的 92.83%~95.45%;其次是放线菌,占土壤微生物总数的 4.17%~6.66%;真菌数量最小,占土壤微生物总数的 0.38%~0.79%.原因可能是细菌在巨桉人工林地中繁殖力、竞争力,以及土壤养分有效化能力比其它类群强;而放线菌和真菌在“巨桉人

表 1 不同地块土壤微生物数量的季节动态

Table 1 Seasonal distribution of soil microbe number in different plots ($\times 10^6$ CFU·g⁻¹ dry soil)

	1			2			3			4		
	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn
好氧细菌 Aerobic bacteria	8.77	8.48	14.04	9.13	7.76	10.49	8.17	8.14	11.37	7.77	7.48	9.96
放线菌 Actinomycetes	0.84	0.70	0.73	0.55	0.47	0.67	0.64	0.63	0.66	0.77	0.72	0.79
真菌 Fungi	0.14	0.08	0.07	0.09	0.08	0.06	0.11	0.06	0.05	0.08	0.07	0.06
厌氧细菌 Anaerobic bacteria	2.05	1.67	2.59	2.23	1.64	3.22	2.42	2.19	0.80	2.28	2.42	1.00
合计 Total	11.81	10.93	17.42	11.99	9.94	14.45	11.34	11.02	12.88	10.90	10.70	11.80

表 2 不同地块土壤微生物的垂直分布

Table 2 Vertical distribution of soil microbe number in different plots ($\times 10^6$ CFU \cdot g $^{-1}$ dry soil)

样地 Plots	深度 Depth(cm)	好气性细菌 Aerobic bacteria	放线菌 Actinomycetes	真菌 Fungi	厌氧细菌 Anaerobic bacteria	合计 Total
1	0~20	14.39	0.73	0.07	2.59	17.42
	20~40	7.63	0.53	0.05	1.76	9.78
	40~60	0.71	0.07	0.03	0.51	1.31
2	0~20	10.49	0.67	0.06	3.22	14.45
	20~40	5.06	0.36	0.05	0.57	6.05
	40~60	0.84	0.06	0.03	0.70	1.61
3	0~20	11.37	0.66	0.05	0.80	12.88
	20~40	5.08	0.39	0.04	0.08	5.60
	40~60	0.31	0.08	0.02	0.05	0.46
4	0~20	9.96	0.79	0.06	1.00	11.80
	20~40	6.75	0.45	0.05	1.33	8.58
	40~60	0.52	0.18	0.02	0.73	1.45

工林-微生物-土壤”生态系统物质和能量循环中起次要作用.在巨桉人工林地中,虽然放线菌和真菌所占比例较小,但其绝对数量并不少,最多分别达 0.84×10^6 和 0.14×10^6 CFU \cdot g $^{-1}$,其作用不容忽视.由微生物各组成比例可知,巨桉人工林地土壤微生物组成合理.

3.3 不同巨桉人工林地土壤微生物数量的垂直分布

由表 2 可知,巨桉人工林地土壤中各类微生物巨桉人工林地灌木层和草本层物种丰富,分别为 23 种和 13 种,凋落物较多,土层累积有较多的有机物质、养分和水分,温度和通气状况适宜,为土壤微生物的繁殖创造了条件.同时,0~20 cm 是巨桉须根系的密集区,根系分泌物活化了土壤微生物,使得 0~20 cm 的土壤微生物数量大于 20~40 及 40~60 cm.土壤微生物的繁殖反过来又加速土壤有机质的转化.

3.4 土壤微生物数量与林分生长

1 号样地为 7 年生巨桉林分,其平均胸径为 14.35 cm,平均树高为 19.79 m;2 号样地同样为 7 年生巨桉林分,平均胸径为 12.58 cm,平均树高为 17.09 m.相比之下,巨桉胸径和树高生长快的 1 号样地的微生物数量高,而 2 号样地林分的各项生长指标均比 1 号样地低,林地微生物数量也低于 1 号样地,说明巨桉人工林生长旺盛、生物量累积高的林地,微生物数量高.一般认为,土壤微生物数量与土壤肥力成正相关,说明巨桉人工林的生物量积累并未使土壤肥力明显降低,这一结论不同于李志辉等^[8]的研究结果,有待于进一步探讨.

“植被-微生物-土壤”生态系统中,植物与微生物是最活跃的因素,二者相互作用,相互影响,最终决定植被的生长状况和土壤肥力.在水热条件充足的环境中,植被与土壤微生物的类群结构均十分复

主要集中在 0~20 cm 土层.在 0~60 cm 土层,同一类群微生物数量变动范围较大,其中,好气性细菌为 $0.31 \times 10^6 \sim 14.39 \times 10^6$ CFU \cdot g $^{-1}$,放线菌为 $0.06 \times 10^6 \sim 0.79 \times 10^6$ CFU \cdot g $^{-1}$,真菌为 $0.02 \times 10^6 \sim 0.07 \times 10^6$ CFU \cdot g $^{-1}$,厌氧细菌为 $0.05 \times 10^6 \sim 3.22 \times 10^6$ CFU \cdot g $^{-1}$.同时,随着土层深度的增加,微生物总数、好气性细菌、放线菌和真菌呈现出有规律地减少.

杂,生物种类多样,相互作用强烈,系统内有机物质转化快,生物小循环周期短,通过绿色植物的光合作用固定的太阳能多;而在水热条件差,特别是在严重干旱、植被稀少的地区,构成“植被-微生物-土壤”生态系统的植物与微生物的种类简单,系统内物质转化及生物小循环均在低水平上运行,生态系统脆弱,可能导致系统生态功能恶化甚至系统崩溃^[13].因此,研究“林木-微生物-土壤”系统中微生物的数量与类群变化是评价人工林生态功能、选择适宜造林树种一个重要方面.研究表明,巨桉人工林地土壤微生物数量巨大,组成丰富;而巨桉人工林地上植被也非常丰富,灌木和草本层共有 36 种,Shannon-Wiener 指数分别为 2.72 和 2.20, Simpson 指数分别为 0.90 和 0.83,表明巨桉人工林地植被组成和土壤微生物的类群结构较复杂,生物种类多样,生态效益良好.

3.5 不同土地利用方式对土壤微生物的影响

从表 3 可以看出,不同土地利用方式下土壤中各种微生物数量存在明显差异,总体上均以细菌为主,放线菌次之,真菌最少.细菌数量是真菌、放线菌等数量的数百倍.细菌、真菌数量以 1 号巨桉人工林地最多,青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)次生林地最少;放线菌数量是 4 号巨桉人工林地最多,青冈次生林地最少.细菌对氨化过程起到重要作用,而一般认

为放线菌与土壤腐殖质含量有关,它能同化无机氮,分解碳水化合物及脂类、单宁等难分解的物质,在土壤中对物质转化也起一定作用^[20],且放线菌数量与林木病害防治有密切关系.1和4号巨桉人工林地下土壤细菌、放线菌数量均明显高于青冈次生林地,其中细菌数量分别为青冈次生林地的2.11和1.39倍;放线菌数量分别为青冈次生林的1.14和1.23倍,表明巨桉人工林地土壤有利于这两类微生物的繁殖和生长,对加速林木生长有积极作用.真菌在土壤碳素和能源循环过程中作用巨大.巨桉人工林地真菌数量分别为青冈次生林的1.75和1.5倍.可见,无论细菌、放线菌还是真菌,巨桉人工林地的数量均高于青冈次生林地,说明巨桉人工林地比青冈次生林地土壤更有利于微生物生长.

表3 不同土地利用方式下土壤微生物数量

Table 3 Soil microbial number under different land-use patterns ($\times 10^5$ CFU $\cdot g^{-1}$ dry soil)

	好气性细菌 Aerobic bacteria	放线菌 Actinomyetes	真菌 Fungi	厌氧细菌 Anaerobic bacteria	合计 Total
样地1 Plot 1	14.39	0.73	0.07	2.59	17.42
样地4 Plot 4	9.96	0.79	0.06	1.00	11.80
青冈次生林地 <i>C. glauca</i> second growth land	7.45	0.64	0.04	0.44	8.56
农耕地 Farming land	10.73	1.05	0.05	1.69	13.52

与农耕地相比,巨桉人工林地土壤微生物数量既有比农耕地数量多的,也有比农耕地数量少的.该样地在栽植巨桉以前为农耕地,栽植巨桉后细菌数量变化不确定;而放线菌数量有降低的趋势,真菌数量有升高趋势.这可能与农耕地的施肥效应及不同季节栽种不同作物有关,并对土壤微生物造成一定影响.

3.6 不同土地利用方式对细菌生理类群的影响

表4所列13种细菌生理类群在土壤微生物生态功能中起重要作用.它们参与N、P和S等的转化,把难于被植物利用的元素形式转化为易被植物利用的形式,为植物提供营养^[8].同时,它们的多样性指数(D 、 H' 、 R)可以反映群落类型和群落结构的差异及群落演替的动态.

从表4可以看出,巨桉人工林和青冈次生林的细菌生理类群的结构和优势种群有明显不同.巨桉人工林地13种细菌生理类群的数量较多,达 60.52×10^5 CFU $\cdot g^{-1}$;而青冈次生林只有 20.84×10^5 CFU $\cdot g^{-1}$.说明巨桉人工林地中有利于营养物质转化的细菌在增加.巨桉人工林地以根瘤菌、氨化细菌、有机磷分解菌、无机磷分解菌、亚硝化细菌和硝

化细菌为优势类群,表明巨桉人工林地比青冈次生林地更有利于物质的转化,其转化效率更高.

表4 不同土地利用方式下细菌生理类群数量

Table 4 Numbers of bacteria physiological groups under different land-use patterns ($\times 10^5$ CFU $\cdot g^{-1}$ dry soil)

细菌生理类群 Bacteria physiological groups	样地4 Plot 4	青冈次生林 <i>C. glauca</i> second growth land
好气固氮菌 Aerobic nitrogen fixing bacteria	3.91	2.16
根瘤菌 Rhizobia	6.13	2.51
好气性纤维素分解菌 Aerobic cellulose-decomposing bacteria	0.26	0.13
氨化细菌 Ammonifying bacteria	4.30	3.63
有机磷分解菌 Organic phosphorus-decomposing bacteria	4.43	4.23
无机磷分解菌 Inorganic phosphorus-decomposing bacteria	4.26	1.64
硅酸盐细菌 Silicate bacteria	-	2.98
厌氧纤维素分解菌 Anaerobic cellulose-decomposing bacteria	2.22	0.65
亚硝化细菌 Nitrite bacteria	26.08	-
硝酸细菌 Nitrobacteria	4.56	0.06
反硝化细菌 Denitrifying bacteria	3.91	5.83
硫化细菌 Sulfurizing bacteria	0.22	-
反硫化细菌 Desulfurizing bacteria	0.22	-
合计 Total	60.52	20.84

从表5可以看出,巨桉人工林地的 D 、 H' 、 R 值都很高,表明巨桉人工林地的细菌生理类群种类丰富、分布均匀,生态组成合理.相比而言,青冈次生林的 D 、 H' 、 R 值较大,这可能是由于其组成种类少,造成 Simpson、Shannon-Wiener 指数和均匀度更高一些.这也是多样性指数在分析生物多样性方面的缺陷之一.

表5 不同土地利用方式下细菌生理类群多样性指数

Table 5 Diversity indices of bacteria physiological groups under different land-use patterns

	多样性指数 Diversity index		
	D	H'	R
样地4 Plot 4	0.773	1.896	0.763
青冈次生林 <i>C. glauca</i> second growth land	0.818	2.110	0.916

4 结 论

4.1 巨桉人工林土壤微生物数量具有明显的季节变化,且微生物生长活跃.其组成合理,以细菌为主要类群,占微生物总数的92.83%以上;其次是放线菌;真菌数量最少.巨桉人工林地土壤微生物具有明显的垂直变化,随土层的加深,微生物数量明显减少.从微生物生态学角度看,巨桉人工林地具有良好的生态效益.这与一些学者认为的桉树生态效益差相反.原因可能是四川地区降雨量大,且年降雨天数多,这不仅使巨桉人工林地含水量增加,改变了土壤环境,为微生物生长提供了良好的条件,也降低了巨桉可能存在的化感作用.

4.2 有人认为桉树是“抽肥机”、“抽水机”,桉树的快速生长大大消耗了土壤肥力.本研究表明,土壤微

生物数量与巨桉生长成正相关,且栽植巨桉人工林后土壤养分并未明显降低,是否可以认为巨桉的生物量积累并未使土壤肥力明显降低,有待进一步研究。

4.3 巨桉人工林与其它树种人工林相比,其植物物种多样性并无明显差异,巨桉人工林并未显著减少植物物种多样性;且其土壤微生物数量巨大,组成合理。这反映了巨桉人工林生态系统良好,对在四川地区推广巨桉作为退耕还林(草)工程和脆弱生态系统治理树种具有现实意义。

4.4 本实验对巨桉人工林地土壤微生物进行了系统研究,但由于工作量较大,对放线菌和真菌只探讨了其数量的变化,而未对种群进行鉴定分析,这方面的工作有待于进一步完成。

参考文献

- Bowman DMJS, Walsh A, Milne DJ. 2001. Forest expansion and grassland contraction within a *Eucalyptus savanna* matrix between 1941 and 1994 at Lotchfield national park in the Australian monsoon tropics. *Global Ecol Biogeogr*, **10**: 535~548
- Chen Q-B(陈秋波). 2001. A review of researches on biodiversity in *Eucalyptus* plantations. *Chin J Trop Crops* (热带作物学报), **22** (4): 82~90 (in Chinese)
- El-Amin EA, Diab IE, Ibrahim SI. 2001. Influence of *Eucalyptus* cover on some physical and chemical properties of a soil in Sudan. *Commun Soil Sci Plant Anal*, **32**(13~14): 2267~2278
- Hu T-Y(胡天宇). 1999. Research on the introduction of *Eucalyptus grandis* provenance. *J Sichuan Agric Univ* (四川农业大学学报), **17**(1): 44~49 (in Chinese)
- Jiao R-Z(焦如珍), Yang C-D(杨承栋), Tu X-N(屠星南). 1997. The change of undergrowth, soil microorganism, enzyme activity and nutrient in different developing stage of the Chinese fir plantation. *For Res* (林业科学研究), **10**(4): 373~379 (in Chinese)
- Katinka XR, Loneragan WA, Yates CJ. 2003. Comparative population dynamics of *Eucalyptus* in an urban bushland in south-western Australia. *Div Dist*, **9**(6): 469~484
- Li Y-M(李延茂), Hu J-C(胡江春), Wang S-L(汪思龙). 2004. Function and application of soil microorganisms in forest ecosystem. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(10): 1943~1946 (in Chinese)
- Li Z-H(李志辉), Li Y-L(李跃林), Yang M-S(杨民胜). 2000. The ecological distribution regulations of soil microbes group in *Eucalyptus* plantations of Zixing City. *J Cent South For Univ* (中南林学院学报), **20**(3): 24~28 (in Chinese)
- Long J(龙健), Huang C-Y(黄昌勇), Teng Y(滕应). 2003. Preliminary on soil microbes and soil biochemical activities in mining wasteland. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **23**(3): 496~503 (in Chinese)
- Qi S-X(祁述雄). 1995. *China Eucalyptus*. Beijing: China Forestry Press. 10~15 (in Chinese)
- Roux J, Coutinho TA, Mujuni D. 2000. Diseases of plantation *Eucalyptus* in Uganda African. *South Afric J Sci*, **97**: 16~18
- Roux J, Coutinho TA, Wingfield MJ. 2000. Diseases of plantation *Eucalyptus* in Republic of Congo South African. *South Afric J Sci*, **96**: 454~456
- Shao Y-Q(邵玉琴), Zhao J(赵吉), Yue B(岳冰). 2002. Vertical distribution of soil microbial number and biomass in artificial *Pinus tabulae* form in wood of Huang Fu chuan Basin. *Acta Sci Nat Univ Inner Mongolia* (内蒙古大学学报·自然科学版), **33** (5): 541~545 (in Chinese)
- Shen F-F(沈法富), Han X-L(韩秀兰), Fan S-L(范术丽). 2004. Changes in microbial flora and bacterial physiological group diversity in rhizosphere soil of transgenic Bt cotton. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **24**(3): 432~437 (in Chinese)
- Sicardi M, García-Prézac, Frioni L. 2004. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. *Appl Soil Ecol*, **27**(2): 125~133
- Soil microorganism laboratory, Institute of Soil, Chinese Academy of Sciences(中国科学院南京土壤研究所微生物室). 1985. *Research Methods of Soil Microorganism*. Beijing: Science Press. 86~97 (in Chinese)
- Sun H-X(孙海新), Liu X-L(刘训理). 2004. Microbes studies of tea rhizosphere. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **24**(7): 1353~1357 (in Chinese)
- Sun R-L(孙瑞莲), Zhu L-S(朱鲁生), Zhao B-Q(赵秉强). 2004. Effect of long-term fertilization on soil microorganism and its role in adjusting and controlling soil fertility. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(10): 1907~1910 (in Chinese)
- Xu G-H(许光辉), Zheng H-Y(郑洪元). 1986. *Analytical Handbook of Soil Microorganism*. Beijing: China Agricultural Press. 155~160 (in Chinese)
- Xu J-W(许景伟), Wang W-D(王卫东), Li C(李成). 2000. The correlation among soil microorganism, enzyme and soil nutrient in different types of mixed stands of *Pinus thunbergii*. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), **22**(1): 51~55 (in Chinese)
- Zhong W-H(钟文辉), Cai Z-C(蔡祖聪). 2004. Methods for studying soil microbial diversity. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15** (5): 899~904 (in Chinese)

作者简介 冯健,男,1978年生,硕士研究生.主要从事微生物生态学、生物技术研究. E-mail: fengjian-0205@163.com