

# 两种退耕还林模式对土壤微生物优势类群的影响

李姝江<sup>1</sup>, 朱天辉<sup>1,2</sup>, 刘子雄<sup>3</sup>

(1. 四川农业大学 林学院, 四川 雅安 625014; 2. 四川农业大学 长江上游林业生态  
工程省级重点实验室, 四川 雅安 625014; 3. 四川省森林病虫害防治检疫总站, 四川 成都 610081)

**摘要:**以两种退耕还林模式的桦木林地、苦竹林地和农耕地(对照)为对象,对各地土壤微生物优势类群数量的季节性动态变化、垂直分布特征及其与土壤酶活性的相关性进行了研究。结果表明,土壤微生物的优势类群为微球菌属(*Micrococcus*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、链霉菌属(*Streptomyces*)、游动放线菌属(*Actinoplanes*)、酵母菌(未定属)、木霉菌属(*Trichoderma*)这6类。两种退耕还林模式下土壤优势微生物类群数量存在差异,春、夏、秋三季均为苦竹林所占比例最大,冬季为桦木林最大。两种林地和农耕地土壤微生物优势类群数量季节性变化规律为微球菌和酵母菌在夏、冬季较大,春、秋季较少;芽孢杆菌在秋季最大,夏季最小;游动放线菌与木霉菌数量在四季中变化不大;链霉菌是夏季最高,冬季最少。各优势微生物类群数量的垂直分布特征表现为微球菌、游动放线菌、木霉菌随土壤层的加深其数量逐渐降低,芽孢杆菌、链霉菌数量则随土壤层的加深而逐渐增加,酵母菌随土壤层的加深其数量减少,但趋势不明显。两种林地对各优势微生物类群数量的根际效应为:链霉菌和木霉菌的R/S值大于1,酵母菌的R/S值小于1,微球菌和游动放线菌在桦木林的R/S值大于1而在苦竹林小于1。在优势微生物类群和土壤酶之间,微球菌与转化酶,芽孢杆菌与纤维素酶,木霉和游动放线菌与过氧化氢酶,酵母与脲酶呈显著正相关关系。

**关键词:**土壤微生物;优势类群;季节变化;分布特征

文献标识码:A

文章编号:1000-288X(2014)02-0186-06

中图分类号:S154.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.040

## Effects of Two Models of Forest Rehabilitation on Dominant Groups of Soil Microbes

LI Shu-jiang<sup>1</sup>, ZHU Tian-hui<sup>1,2</sup>, LIU Zi-xiong<sup>3</sup>

(1. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China; 2. Provincial Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering for the Upper Reaches of the Yangtze River, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China; 3. General Station of Forest Pest Management and Quarantine of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610081, China)

**Abstract:** Seasonal dynamic variations and vertical distribution characteristics of preponderant groups of soil microbes and their correlations with soil enzymatic activities were studied in *Betula lumini fera* forest, *Pleio-blastus amarus* forest and cropland(control). Results indicated that there were six preponderant species of soil microbes: *Micrococcus*, *Bacillus*, *Streptomyces*, *Actinoplanes*, yeast(the genus was not identified) and *Trichoderma*. The amounts of dominant groups of soil microbes had difference between two models of forest rehabilitation: the ratio in *P. amarus* forest was the largest in spring, summer and autumn, and the ratio of *B. lumini fera* forest was the largest in winter. Seasonal variations of dominant groups of soil microbes in two forests and cropland were that amounts of *Micrococcus* and yeast were higher in summer and winter than spring and autumn; *Bacillus* was the highest in autumn and the least in summer; *Actinoplanes* and *Trichoderma* were less change than other dominant groups with season; *Streptomyces* was the highest in summer and the least in winter. Vertical distribution characteristics of dominant groups were that amounts of *Micrococcus*, *Actinoplanes*, *Trichoderma* were reduced gradually with soil depth, but *Bacillus* and *Streptomyces* were opposite to them; and change of yeast was not significant with soil depths. Rhizosphere effects showed

收稿日期:2013-04-08

修回日期:2013-06-19

资助项目:国家“十五”重大科技攻关项目“四川盆地低山丘陵区水土流失综合治理技术与示范研究”(2001BA606A-06; 2004 BA606A-06)

作者简介:李姝江(1983—),女(汉族),四川省宜宾市人,博士,主要从事微生物学方面的研究。E-mail: lishujiangsummer@163.com。

通信作者:朱天辉(1963—),男(汉族),重庆市开县人,教授,主要从事林木病理学方面的研究。E-mail: zhutianhui@yahoo.cn。

that *R/S* values of *Streptomyces* and *Trichoderma* were more than 1; *R/S* value of yeast was less than 1; and *R/S* value of *Micrococcus* and *Actinoplanes* was more than 1 in *Betula luminifera* forest, but opposite in *Pleioblastus amarus* forest. There were significant positive correlations between *Micrococcus* and invertase, *Bacillus* and cellulase, *Actinoplanes-Trichoderma* and catalase, and yeast and urease.

**Keywords:** soil microbe; dominant group; seasonal variation; distribution characteristics

四川省地处长江上游,幅员面积占长江流域的近50%,是长江上游重要的生态经济区,也是长江中下游的重要生态屏障<sup>[1]</sup>。长期以来,由于自然灾害和人们对环境资源的不合理开发利用,使林草植被遭到严重破坏,导致四川地区出现生态环境脆弱,旱涝灾害频繁,森林、草地资源减少,水土流失严重<sup>[1]</sup>等生态问题,严重制约了该区社会经济的可持续发展。近年来,四川省率先在全国实行了退耕还林还草等一系列旨在恢复和重建长江上游生态环境的治理措施,并开展了大量关于退耕还林技术理论方面的研究。迄今为止,已有学者对该地区林草模式牧草特性<sup>[2]</sup>、土壤微生物特性<sup>[3]</sup>、细根和草根的土壤微生物量<sup>[4]</sup>等方面进行了研究,但还缺乏从微生物角度来研究不同退耕还林模式对改善生态环境方面的报道。土壤微生物是森林生态系统中的重要组成部分,参与森林生态系统的物质和能量循环,是林地中最活跃的部分,其数量组成与土壤通气性、水分状况、养分状况以及有机质含量都有密切的联系<sup>[5-6]</sup>,其活性可以在一定程度上反映土壤肥力<sup>[7-8]</sup>,是土壤质量评价的一个重要的生物学指标。为此,从2008—2009年对四川省洪雅县两种主要退耕还林模式下的土壤微生物优势类群数量及其生态分布进行了系统研究,以期揭示在相同立地条件下,不同退耕还林模式与土壤微生物优势类群活性之间、微生物优势类群与土壤酶的内在关系,为退耕还林造林树种的优化配置积累相关的微生物学资料以及为生态林业的可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

试验地位于四川省眉山市洪雅县,地理坐标为102°49′—103°47′E,29°24′—30°01′N,海拔620 m。该区属中亚热带湿润山地季风气候,最高气温36.8℃,最低气温-3.3℃,年均气温16.8℃,春、夏、秋、冬季平均气温分别为17.2、25.2、17.3、7.7℃;年日照时数1080 h,太阳辐射量为338.1 kJ/(cm<sup>2</sup>·a),无霜期352~360 d;年降水量1493.8 mm,降雨多集中在夏、秋两季。该区地貌以低山丘陵为主,土壤层平均厚度50 cm,土壤类型为酸性紫色土,pH值4.9~5.6。采样地为坡改梯形成的水平台状旱地,退耕

前以种植玉米、红薯、蔬菜为主,主要还林模式包括光皮桦木(*Betula luminifera*)—扁穗牛鞭草(*Hemarthria compressa*)、苦竹(*Pleioblastus amarus*)—扁穗牛鞭草两种,于2000年1月退耕栽植。

1.1.1 光皮桦木—牛鞭草模式 光皮桦木为亚热带山地落叶浅根阔叶树,根系发达、穿透力强,生长快;适宜生长在年均温6~17℃,年降水量800~2000 mm,且降水集中在夏、秋两季的温凉湿润气候下<sup>[9]</sup>。在此模式中,土壤有机质含量12.71 g/kg,林分密度2070 棵/hm<sup>2</sup>,林间郁闭度0.6,桦木平均胸径3.6 cm,平均树高4.2 m。由于光皮桦逐渐长大,林下的牛鞭草长势较弱。

1.1.2 苦竹—牛鞭草模式 苦竹为中国亚热带复轴混生竹类的代表竹种之一,是一种暖性喜湿,中性偏阴的竹类,地下有横向生长的竹鞭,鞭上的芽可以长成新的竹鞭或发育成笋出土成竹,竹鞭一般多分布在约20 cm深的表土层中<sup>[10]</sup>;适宜生长在年均气温18~29.8℃,年降水量1184~1467 mm,降水集中在4—9月的气候下<sup>[9]</sup>。在此模式中,土壤有机质含量14.32 g/kg,林分密度12000 株/hm<sup>2</sup>,林间郁闭度0.9,平均地径2.4 cm,平均竹高2.9 m,苦竹的枯枝落叶覆盖度约占总面积的60%,平均厚度1.9 cm。随着苦竹郁闭度的增加,林下牛鞭草长势十分弱。

1.1.3 农耕地(对照) 土壤有机质含量为17.82 g/kg;春季休闲,上面长有少量的牛鞭草;夏季栽种红薯并施农家肥;秋季时红薯生长良好并已成熟;冬季红薯收获完后,休闲。

### 1.2 土壤样品采集

在试验区选取立地条件相近的退耕还林地(光皮桦—牛鞭草、苦竹—牛鞭草)和农耕地(对照)作为研究样地,在3种样地中各设面积为10 m×10 m的采样标准地,3次重复,从2008年10月到2009年7月,按四季变化特点分3层(0—15 cm,15—30 cm,30—45 cm)从下至上采集土壤样品。

按不同季节具体的采样时间为2008年10月中旬(秋季),2009年1月中旬(冬季),2009年4月中旬(春季),2009年7月中旬(夏季)。在桦木和苦竹林的标准地里,按五点法各选择生长中等的光皮桦和苦竹5~6株(筴)作为采样点,分别在树干和竹筴周围

基部处先除去土壤表层的枯枝落叶和植被,顺其基部开挖土壤剖面,用无菌小铁铲在新挖的土壤剖面上,由下往上分 3 层取带完整根系的土块,以 0—15 cm 土样为测定对象,其抖落物作为非根际土,附在根系周围小于 1 cm 粒径的土壤作为根际土<sup>[11-12]</sup>。在农耕地中也按五点法取样。取 5 个不同点相应层次的土壤样品充分混匀后,用聚乙烯无菌塑料袋包好,并做好标记,迅速带回实验室内分析测定。每种样品充分混匀后分为 2 份,分别用来分析土壤微生物和测定土壤水分含量。

### 1.3 土壤样品分析

土壤微生物优势类群分析采用稀释平板表面涂沫法(细菌分析用牛肉膏蛋白胨培养基;真菌采用马丁氏—孟加拉红培养基;放线菌用改良高氏一号培养基)<sup>[13]</sup>进行分离,并根据微生物的培养特性、形态特征和生理生化特性等指标<sup>[13-14]</sup>进行鉴定到属;每个处理 4 个重复,最终结果取其平均值。土壤水分含量采用烘干法测定,土壤酶活性在待测定样品前期处理后,其转化酶(蔗糖酶)、脲酶、纤维素酶、过氧化氢酶活性采用关松荫法<sup>[15]</sup>分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤优势微生物类群季节性动态变化

根据微生物的培养性状、形态特征、生理生化特性等指标可把细菌的优势类群鉴定为微球菌属和芽孢杆菌属两大类,放线菌优势类群鉴定为链霉菌属和游动放线菌属两大类,真菌优势类群鉴定为酵母菌和木霉菌属两大类。

结果显示(表 1),两种退耕还林模式下优势微生物类群数量存在差异,春、夏、秋三季均为苦竹林所占比例最大,冬季为桦木林最大。另外,优势微生物类群的季节性动态变化存在一定的差异,有的随季节变化明显,而有的较稳定。在夏季,微球菌所占比例处于优势,其数量在桦木林、苦竹林、农耕地中分别占细菌总数的 94.88%,88.15%,85.29%;在春季和冬季,其数量比夏季虽然有所下降,但微球菌数量占细菌总数的比例依然超过 50%;而在 3 样地中的秋季所占比例最低。芽孢杆菌在 3 样地中则是在秋季最多,在夏季最少。链霉菌在苦竹林、农耕地中的季节变化趋势都是在夏季占放线菌的比例最大,分别为 94.45%和 84.29%,冬季最少,分别为 32.54%和 37.02%;而在桦木林中,链霉菌属在夏季仅占放线菌

总数的 30.55%,春季达到最大为 65.65%,说明链霉菌属容易受外界气候条件及土地的不同利用的影响。游动放线菌在 3 样地中因季节变化的影响较小,其比例占放线菌总数的 15%~25%。酵母菌在 3 样地中的夏季和冬季所占比例处于优势,而在春、秋季稍有下降;木霉菌在 3 样地中的季节变化趋势也基本一致,但与酵母菌的变化趋势相反。说明不同的微生物优势类群对外界气候的敏感性不同。从各优势微生物类群数量总的来看,微球菌、链霉菌和酵母菌的数量较多,芽孢杆菌、游动放线菌和木霉菌的数量相对较少。

### 2.2 土壤各优势微生物类群的垂直生态分布特征

在 3 样地土壤剖面中,各优势微生物类群垂直生态分布特征有的非常明显,有的不明显(表 1)。微球菌、链霉菌、木霉菌和游动放线菌随土壤层的加深其所占比例逐渐降低;说明这 3 类菌大多集中在土壤表层活动,这可能与样地中栽培的植物根系主要分布在土壤上层刺激其生长繁殖有关。芽孢杆菌随土壤层的加深其所占比例逐渐增加,这也许与芽孢杆菌的抗逆性较强有关;酵母菌在 3 样地中的土壤层之间的增减变化趋势不明显。

### 2.3 林木根际和非根际土壤微生物优势类群数量的季节动态变化

桦木和苦竹对 6 大微生物优势类群的根际效应有差异(表 2)。微球菌和游动放线菌在桦木林的  $R/S > 1$ ,而在苦竹林的  $R/S < 1$ ;芽孢杆菌则与微球菌和游动放线菌的变化规律相反,说明不同林木根系活动对同一微生物优势类群的影响不同。链霉菌和木霉菌在两林地的  $R/S > 1$  且两林间  $R/S$  差异不大,可能是两林木根系分泌物对这两种优势微生物的生长繁殖具有促进作用。酵母菌在两林地的  $R/S < 1$  且两林间  $R/S$  差异不大,说明这两种林木的根系分泌物可能对酵母菌有一定的抑制作用。

### 2.4 土壤微生物优势类群数量与酶活性之间的相关性分析

土壤微生物总数与土壤酶活性之间存在一定的相关性,而优势微生物类群是土壤微生物最重要的组成部分,所以优势微生物与土壤酶活性之间也应该有一定的相关性(表 3)。在优势微生物类群和土壤酶之间,微球菌属与转化酶、芽孢杆菌属与纤维素酶、木霉和游动放线菌属与过氧化氢酶、酵母与脲酶成显著正相关。说明这些优势微生物类群对这 4 种土壤酶的活性贡献较大。

表 1 土壤微生物优势类群数量百分率组成状况

季节	样地类型	土层/cm	细菌/%		放线菌/%		真菌/%	
			微球菌属	芽孢杆菌属	链霉菌属	游动放线菌属	酵母菌	木霉菌属
春季	桦木林	0—15	84.38	3.13	52.18	44.94	70.79	28.05
		15—30	80.15	3.19	76.67	16.67	48.14	19.19
		30—45	62.32	35.51	68.09	11.33	47.22	22.63
		平均	75.62	13.94	65.56	24.31	55.38	23.29
	苦竹林	0—15	81.67	11.67	76.67	21.09	53.44	46.53
		15—30	60.00	21.05	67.86	25.89	82.20	16.30
		30—45	47.83	35.51	87.22	5.56	89.00	10.00
		平均	63.17	22.74	77.25	17.51	74.88	24.28
	农耕地	0—15	80.07	6.12	67.11	30.27	87.92	11.43
		15—30	71.00	29.00	58.33	25.00	64.51	34.73
		30—45	49.00	50.00	35.00	20.00	50.00	1.01
		平均	66.69	28.37	53.48	25.09	67.48	15.72
夏季	桦木林	0—15	93.53	6.47	77.50	22.50	64.19	35.25
		15—30	94.51	3.12	81.85	12.30	93.69	5.82
		30—45	96.59	3.41	91.65	6.70	97.18	2.77
		平均	94.88	4.33	80.55	13.83	85.02	14.91
	苦竹林	0—15	93.96	6.04	90.00	10.00	87.92	11.67
		15—30	85.85	8.30	93.35	6.20	84.32	15.17
		30—45	84.65	10.90	100.00	0.00	88.12	10.00
		平均	88.15	8.41	94.45	5.40	86.79	12.28
	农耕地	0—15	98.11	1.89	70.00	20.15	92.47	5.21
		15—30	84.45	11.11	82.86	17.15	94.21	4.09
		30—45	73.30	9.20	100.00	0.00	100.00	0.00
		平均	85.29	7.40	84.29	12.43	95.56	3.10
秋季	桦木林	0—15	31.73	59.69	44.23	16.03	59.64	36.36
		15—30	15.11	70.10	53.34	12.22	74.92	14.81
		30—45	4.54	90.91	77.50	15.00	70.27	10.00
		平均	17.13	73.57	58.36	14.42	68.28	20.39
	苦竹林	0—15	33.27	61.28	46.89	40.02	67.69	31.22
		15—30	35.65	32.71	66.67	20.83	64.28	25.72
		30—45	34.53	50.72	70.00	23.62	60.00	20.00
		平均	34.48	48.24	61.19	20.10	63.99	25.65
	农耕地	0—15	33.82	22.51	56.87	17.69	45.85	46.96
		15—30	42.56	41.97	73.08	16.67	64.95	27.17
		30—45	36.11	41.74	81.67	16.67	85.28	3.45
		平均	37.50	35.41	70.54	18.15	65.36	25.86
冬季	桦木林	0—15	79.88	16.42	42.86	4.76	80.14	18.41
		15—30	46.15	46.15	58.82	11.76	88.23	10.53
		30—45	31.22	51.31	46.15	26.92	82.23	15.38
		平均	52.42	37.96	49.28	14.48	83.53	14.77
	苦竹林	0—15	75.00	16.67	25.00	28.95	76.45	22.58
		15—30	61.27	38.73	47.62	14.29	84.12	14.71
		30—45	60.00	40.00	25.00	18.75	89.13	9.09
		平均	65.42	31.80	32.54	20.66	83.23	15.46
	农耕地	0—15	27.14	72.86	47.06	8.82	82.56	16.49
		15—30	13.33	76.67	40.91	13.64	88.35	10.20
		30—45	4.30	95.70	23.08	17.69	93.25	5.41
		平均	14.92	81.74	37.02	13.38	88.05	10.70

表 2 两种模式下林木根际和非根际土壤微生物优势类群数量百分率的季节变化

微生物类群	项目	桦木林					苦竹林					
		春季	夏季	秋季	冬季	平均	春季	夏季	秋季	冬季	平均	
细菌	微球菌属	R	94.53	82.27	69.09	82.31	82.05	85.08	81.67	16.01	9.62	48.10
		S	84.38	93.53	31.73	79.88	72.38	81.67	93.96	33.27	75.00	70.98
		R/S	1.12	0.88	2.18	1.03	1.13	1.04	0.87	0.48	0.13	0.68
	芽孢杆菌属	R	4.41	17.73	30.91	7.69	15.19	8.33	16.67	62.12	89.42	44.14
		S	3.13	6.47	59.69	16.42	21.43	11.67	6.04	61.28	16.67	23.92
		R/S	1.41	2.74	0.52	0.47	0.71	0.71	2.76	1.01	5.36	1.85
放线菌	链霉菌属	R	62.36	70.22	48.81	40.85	55.56	56.54	81.50	58.93	42.62	59.89
		S	52.18	77.50	44.23	42.86	54.19	76.67	90.00	46.89	25.00	59.64
		R/S	1.20	0.91	1.10	0.95	1.03	0.74	0.91	1.26	1.70	1.00
	游动放线菌属	R	33.61	27.79	22.33	21.13	26.22	38.03	15.00	22.50	14.75	22.57
		S	44.94	22.50	16.03	4.76	22.06	21.09	10.00	40.02	28.95	25.02
		R/S	0.75	1.24	1.39	4.44	1.19	1.80	1.50	0.56	0.51	0.90
真菌	酵母菌	R	66.21	82.61	48.55	50.00	61.84	39.85	48.70	72.68	79.95	60.30
		S	70.79	64.19	59.64	80.14	68.69	53.44	87.92	67.69	76.45	71.38
		R/S	0.94	1.29	0.81	0.62	0.90	0.75	0.55	1.07	1.05	0.84
	木霉菌属	R	33.46	16.60	50.00	43.75	35.95	59.51	45.65	26.29	19.05	37.63
		S	28.05	35.25	36.36	18.41	29.52	46.53	11.67	31.22	22.58	28.00
		R/S	1.19	0.47	1.38	2.38	1.22	1.28	3.91	0.84	0.84	1.34

注:表中 R 代表根际土壤微生物优势类群,S 代表非根际土壤微生物优势类群。

表 3 土壤微生物优势类群数量与土壤酶活性间的相关系数(样本数=44)

变量	微球菌属	芽孢杆菌属	链霉菌属	游动放线菌属	酵母菌	木霉菌属
微球菌属	1.000					
芽孢杆菌属	-0.944**	1.000				
链霉菌属	0.423**	-0.485**	1.000			
游动放线菌属	0.083	-0.110	-0.406**	1.000		
酵母菌	0.007	0.051	0.190	-0.359*	1.000	
木霉菌属	0.122	-0.171	-0.182	0.473**	-0.801**	1.000
转化酶	0.339*	-0.292	0.282	-0.034	0.136	0.166
尿酶	0.281	-0.146	-0.204	-0.144	0.360*	-0.076
纤维素酶	-0.241	0.336*	-0.619**	-0.099	-0.038	0.149
过氧化氢酶	0.250	-0.182	-0.135	0.319*	-0.130	0.472*

注:\*表示在  $p < 0.05$  水平显著差异,\*\*表示在  $p < 0.01$  水平极显著差异。样本数=44。

### 3 结论

6 大微生物优势类群的季节性动态变化特性有的随季节变化明显,有的则变化不大;在 3 样地土壤剖面垂直生态分布中,各微生物优势类群层次性变化特征差异较大。两种退耕还林模式下优势微生物类群数量有差异,春、夏、秋三季均为苦竹林所占比例最大,冬季为桦木林最大。另外,在两种模式下的林木根际中,链霉菌、木霉菌、酵母菌在两林木根际的分布状况趋势相同;微球菌和游动放线菌在桦木林的根际效应较大,而在苦竹林的根际效应较小,芽孢杆菌则相反。说明微球菌和游动放线菌对桦木林有较强的

根际正效应,而芽孢杆菌则对苦竹林有较强的根际正效应,该结果对土壤改良和生物学肥力的提高有积极意义。另外,酵母菌的 R/S 值都小于 1,可能这两种林木的根系分泌物或脱落物对酵母菌有抑制作用,这与前人<sup>[16-18]</sup>的研究结论(根系分泌物和脱落物对微生物具有正、负两方面的影响)相似。从 6 大微生物优势类群数量组成来看,微球菌属、链霉菌属、酵母的数量分别在细菌、放线菌和真菌的组成中处于重要地位,但因为其个体的生物量均较小,所以其对土壤生物学肥力质量的评价影响不大,而那些数量相对较少但个体生物量较大的优势微生物类群,对土壤生物学肥力质量的评价具有十分重要的作用。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 赵安玖,胡庭兴,李贤伟. 四川省退耕还林模式初探[J]. 四川林勘设计,2001,23(4): 16-20, 32.
- [2] 刘闯,胡庭兴,李强,等. 巨桉林草间作模式中牧草光合生理生态适应性研究[J]. 草业学报,2008,17(1): 58-65.
- [3] 刘子雄,朱天辉,张健. 两种不同退耕还林模式下的土壤微生物特性研究[J]. 水土保持学报,2006,20(3): 132-135.
- [4] 荣丽,李贤伟,朱天辉,等. 光皮桦细根与扁穗牛鞭草草根分解的土壤微生物数量及优势类群[J]. 草业学报,2009,18(4): 117-124.
- [5] 周智彬,李培军. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系[J]. 应用生态学报,2003,14(8): 1246-1250.
- [6] 杨玉盛,邱仁辉,俞新妥,等. 杉木连栽土壤微生物及生化特性的研究[J]. 生物多样性,1999,7(1): 1-7.
- [7] Zelles L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil: A review[J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 29(2): 111-129.
- [8] Baltramaityte D, Rutkoviene V, Svirskiene A. Changes of soil microorganism coenosis composition and enzymic activity in different farming systems on Calc(ar) I; Epi-  
gleic Luvisol soil [J]. Zemdirbyste, Mokslo-Darbai, 2000, 72: 252-267.
- [9] 《中国森林》编辑委员会. 中国森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 1355-1359, 1920-1923.
- [10] 辉朝茂,杜凡,杨宇明. 竹类培育与利用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 59-62.
- [11] 徐秋芳,姜培坤. 毛竹竹根区土壤微生物数量与酶活性研究[J]. 林业科学研究,2001,14(6): 648-652.
- [12] 杨承栋,焦如珍. 杉木人工林根际土壤性质变化的研究[J]. 林业科学,1999,35(6): 2-9.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社,1985: 40-179.
- [14] 赵斌,何绍江. 微生物学实验[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 20-92.
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [16] 杨承栋. 森林土壤研究几个方面的进展[J]. 世界林业研究,1994,7(4): 14-20.
- [17] 厉婉华. 苏南丘陵区不同林分下根际根外土壤微生物区系及酶活性[J]. 生态学杂志,1994,13(6): 11-14.
- [18] 章家恩,刘文高,王伟胜. 南亚热带不同植被根际微生物数量与根际土壤养分状况[J]. 土壤与环境,2002,11(3): 279-282.
- [5] Williams M, Bell R, Spadavecchia L, et al. Upscaling leaf area index in an Arctic landscape through multiscale observations[J]. Global Change Biology, 2008, 14(7): 1517-1530.
- [6] 王瑞辉. 北京主要园林树种耗水性及节水灌溉制度研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [7] 罗茂焯. 城市绿地节水灌溉效益评价方法研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [8] 肖强,叶文景,朱珠,等. 利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 711-714.
- [9] 张健钦,王秀,龚建华,等. 基于机器视觉技术的叶面积测量系统实现[J]. 自然科学进展, 2004, 14(11): 1304-1310.
- [10] 陈天林,徐学选,张北赢,等. 黄土丘陵区刺槐生长季生态需水研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 54-57.
- [11] 范文军,宁站亮,刘勇诚. 我国水资源现状探讨[J]. 北方环境, 2011, 23(7): 68.
- [12] Li Bo, Song Yun, Yu Kongjian. Evaluation Method for Measurement of Accessibility in Urban Public Green Space Planning [J]. Journal of Peking University, 2008, 44(4): 618-624.
- [13] 王勇,杨培岭,任树梅. 有机抗旱剂 BGA 对大叶黄杨生长及耗水特性的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 150-157.

(上接第 185 页)