

新疆天然胡杨林土壤微生物多样性的研究

乔海莉¹ 田呈明¹ 骆有庆¹ 冯晓峰² 孙建华³ 赵新丽⁴

(¹ 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 ² 新疆森林病虫害防治检疫总站

³ 新疆巴音郭楞蒙古自治州森林病虫害防治检疫站 ⁴ 新疆轮台县森林病虫害防治检疫站)

摘要:为了探明新疆天然胡杨林土壤微生物类群的生态分布情况,该文研究了幼龄林、中壮林、过熟林、衰亡林4个不同发育阶段胡杨林内的土壤细菌、真菌及放线菌的数量和类群组成。结果表明:4种林地内土壤微生物的数量和种类组成有明显差异,不同土壤层的微生物数量随着土层深度的增加逐渐减少,其中以31~40 cm范围内为最少。细菌在不同胡杨林的各个土层中均有分布,数量明显高于放线菌和真菌,而在部分林地内的土层中,没有分离到放线菌和真菌。在林地内共分离出土壤真菌11属,其中,曲霉属为4个不同发育阶段胡杨林土壤中的优势菌属。

关键词:土壤微生物,真菌,胡杨,新疆

中图分类号:S792.11;S718.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2007)05-0127-05

QIAO Hai-li¹; TIAN Cheng-ming¹; LUO You-qing¹; FENG Xiao-feng²; SUN Jian-hua³; ZHAO Xin-li⁴.

Diversity of soil microorganism in the natural *Populus euphratica* forests in Xinjiang, northwestern China. *Journal of Beijing Forestry University* (2007) 29(5) 127-131 [Ch, 12 ref.]

¹ Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

² Forest Pest Control Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumchi, 830000, P. R. China;

³ Forest Pest Control Station of Bayingolin Mongolia Autonomous District of Xinjiang, Korla City, 841000, P. R. China;

⁴ Forest Pest Control Station of Luntai County of Xinjiang, 841600, P. R. China.

In order to better understand the distribution of soil microorganism in the *Populus euphratica* forests in Xinjiang of northwestern China, this paper studies and compares the population and quantity of bacteria, fungi and actinomycetes in the soil of four kinds of *P. euphratica* forests, which are young forests, middle-aged forests, over-mature forests and effete forests. The results showed that there were evident differences in the microorganism biomass and composition rates of four growing stages of natural *P. euphratica* forests in Xinjiang, and the dominant and special microorganism existed in all different layers of soil section. The vertical distribution showed that the microorganism biomass decreased with the increase of soil depth, and the population of microorganism was the least in 31-40 cm depth of soil. The microorganism consisted of bacteria, which were the chief content and distributed widely, and actinomycetes as well as fungi, which were scarce in some layers of soil section. *Aspergillus* was the dominant genus among the 11 genera of fungi isolated from soil in the different growing stages of *P. euphratica* forests.

Key words soil microorganism, fungi, *Populus euphratica*, Xinjiang

胡杨(*Populus euphratica*)又称异叶杨,是杨属中最原始、最古老的树种,具有抗热、抗寒、抗风沙、抗

盐碱、抗旱和抗瘠薄的特性,是极端干旱的沙漠地区唯一的乔木树种,有“生而千年不死,死而千年不倒,

收稿日期:2007-01-31

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:“十一五”科技支撑课题(2006BAD08A1001)、长江学者和创新团队发展计划(IRT0607)。

第一作者:乔海莉,博士生。主要研究方向:森林有害生物综合治理。电话:010-62337716 Email: qhl193314@sina.com 地址:100083 北京林业大学林学院。

责任作者:骆有庆,教授,博士生导师。主要研究方向:森林害虫可持续控制理论与技术。电话:010-62337716 Email: yqluo@bjfu.edu.cn 地址:同上。

倒而千年不朽”的美誉^[1]。

胡杨主要分布于我国西部地区及中亚、西亚、地中海地区。我国天然胡杨林面积的 91.1%分布在新疆地区,而新疆 95%以上的胡杨林分布在塔里木河流域,是迄今为止地球上分布最集中、保存最完整,最具代表性的原始胡杨林。胡杨作为中国西北荒漠生态系统的主体,对于遏制沙漠扩展、改善生态环境、保护生物多样性、保障工农业生产具有不可替代的地位。正是由于胡杨林在治理和改善西部生态环境中的重要作用,以及胡杨资源所面临的严重破坏,联合国粮农组织(FAO)将胡杨确定为全世界最急需优先保护的林木基因资源之一^[2]。然而,分布于生态脆弱区“流着泪”的胡杨,不仅遭受着环境日益恶化的肆虐,也正面临着有害生物的侵袭。同时,随着塔里木油气田的开发,大量的包装材料携带的有害生物加剧了胡杨林的受灾风险。因此保护胡杨林,使其健康持续发展是一项艰巨的任务。本文通过对天然胡杨林土壤微生物的数量、类群与活动的研究,为进一步揭示胡杨林土壤肥力的变化、养分的转化以及胡杨林的健康评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于新疆巴音郭楞蒙古自治州境内的天然胡杨林自然保护区,地处塔里木盆地北缘,介于东经 84°15′~85°30′,北纬 40°55′~41°17′之间,总面积达 39.54 万 hm²^[1]。年平均气温 10.6~11.5℃,年降水量 25~75 mm,年均蒸发量为 2 000~3 000 mm,空气相对湿度仅为 40%~50%。全年多风沙,最大风速 27 m/s,8 级以上大风日数达 41~46 d/a。林内植被除胡杨外,还伴生有灰杨(*P. pruinosa*)、多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、骆驼刺(*Alhagi pseudalhagi*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)等,其中旱生、沙生和盐生植物占绝对优势^[1]。林下土壤为荒漠胡杨林土,次生盐渍化明显,易风蚀,大都为细质沙土,是绿洲到荒漠地区的过渡带。

1.2 样品采集

在新疆塔里木河流域(轮台县、库尔勒市、尉犁县)的天然胡杨林内,根据林分生长发育规律,将天然胡杨林划分为 4 个不同发育阶段采集土壤样品。每个林地内各挖 3 个土壤剖面,按 0~10 cm、11~20 cm、21~30 cm、31~40 cm 4 个垂直层次采集土样^[3],将每个土壤剖面同一层次的土样混合均匀后装入无菌塑料袋中,带回实验室分析。4 个不同发育阶段胡

杨林的划分如下^[2]：

- 1)幼龄林:自种子萌发至 10 年生的幼林,树高 3 m 左右,直径 4 cm 左右,叶为线状披针型。
- 2)中壮林:11~30 年生,为胡杨高和直径生长的高峰期,树高 3~8 m(或 10 m),直径 4~10 cm,叶为异叶。
- 3)过熟林:31~80 年生,树高 14~20 m,直径 30~70 cm,树干粗糙,树皮厚,部分成条状剥落甚至自动脱落,木材心腐,常有枯梢。
- 4)衰亡林:80~100 年以上生,树冠枯顶或全部枯死,倒木横陈,僵木直立,经久不倒,林内土壤沙化。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤含水量测定

称取待测土样 10~11 g(记下准确重量),经 105℃烘干 8 h,置于干燥器中,待冷却后称重,按公式计算含水量:土壤含水量=(湿土重-干土重)/湿土重×100%^[4]。

1.3.2 土壤微生物测定

培养基:细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌用改良高氏 1 号培养基,真菌用马丁氏培养基。

微生物的稀释分离法^[5-8]为:称取 10 g 土样,加入盛有 90 mL 无菌水的 500 mL 三角烧瓶中,在磁力搅拌器上震荡 10 min 后,吸取 1 mL 土壤悬浮液,注入到 9 mL 无菌水的试管中,制成 10⁻²的土壤悬液,然后按 10 倍法依次稀释至 10⁻⁶。真菌、放线菌、细菌分别取 10⁻³、10⁻⁴和 10⁻⁶的稀释液 0.2 mL,接于相应的平板培养基上,每个稀释度做 2~4 个重复,均匀涂布后置于 28℃下培养,5~10 d 后统计菌落数。根据公式:每克干土中菌数(个/g)=菌落平均数×稀释倍数/(1-土壤含水量),计算每克干土中的微生物数量。真菌种类的形态观察^[9]与鉴定采用 PDA 培养基培养。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物的数量分布

不同发育阶段胡杨林中,土壤微生物数量存在一定的差异(表 1),总的变化趋势是细菌数量在 4 种胡杨林中均占绝对优势,放线菌其次,而真菌的数量最少。这与农田及森林土壤中,上述 3 种微生物类群数量的分布特征基本一致。

从不同发育阶段胡杨林的土壤微生物总数来看,幼龄林的微生物数量最多,达到了 1.7×10⁸ 个/g;其次是过熟林,微生物总数略小于幼龄林;中壮林的微生物总数约为幼龄林的 1/2 倍;衰亡林最少,总数量不超过 6.8×10⁷ 个/g。不同发育阶段胡杨林中

表 1 不同发育阶段胡杨林土壤微生物数量分布

TABLE 1 Quantitative distribution of soil microorganism in different growing stages of <i>P. euphratica</i> forests							
	细菌		放线菌		真菌		微生物
	数量/ (10 ⁷ 个·g ⁻¹)	比例/ %	数量/ (10 ⁵ 个·g ⁻¹)	比例/ %	数量/ (10 ⁴ 个·g ⁻¹)	比例/ %	总数/ (10 ⁷ 个·g ⁻¹)
幼龄林	16.81	97.34	46.37	2.69	10.88	0.63	17.27
中壮林	8.07	97.70	14.95	1.81	52.17	6.32	8.26
过熟林	11.81	98.01	24.27	2.01	0.77	0.06	12.05
衰亡林	6.76	99.85	1.29	0.19	0.13	0.02	6.77

细菌和放线菌的数量,均表现为幼龄林>过熟林>中壮林>衰亡林.这一点与微生物总数表现的规律一致,但真菌的分布规律有别于细菌和放线菌,数量表现为中壮林>幼龄林>过熟林>衰亡林.

2.2 土壤剖面中微生物的数量分布

不同发育阶段胡杨林土壤微生物在土壤中的垂直分布也存在一定的差异(表 2).

表 2 不同发育阶段胡杨林土壤微生物的垂直分布

	TABLE 2 Vertical distribution of soil microorganism in different developing stages of <i>P. euphratica</i> forests				
	土层/ cm	细菌/ (10 ⁷ 个·g ⁻¹)	放线菌/ (10 ⁵ 个·g ⁻¹)	真菌/ (10 ⁴ 个·g ⁻¹)	总数/ (10 ⁷ 个·g ⁻¹)
幼龄林	0~10	5.57	10.38	4.27	5.67
	11~20	3.31	9.54	2.08	3.40
	21~30	4.64	19.29	1.97	4.83
	31~40	3.29	7.16	2.56	3.37
中壮林	0~10	2.47	2.71	49.83	2.54
	11~20	3.01	3.69	1.98	3.05
	21~30	2.14	7.10	0	2.21
	31~40	0.45	1.45	0.36	0.46
过熟林	0~10	2.22	0.38	0.38	2.23
	11~20	4.98	22.98	0.13	8.82
	21~30	3.57	0.39	0.26	7.44
	31~40	1.04	0.52	0	1.05
衰亡林	0~10	3.07	0.90	0	3.08
	11~20	1.08	0.39	0	1.08
	21~30	1.99	0	0.13	1.99
	31~40	0.62	0	0	0.62

从微生物总数来看,幼龄林和衰亡林均表现为 0~10 cm>21~30 cm>11~20 cm>31~40 cm,中壮林和过熟林微生物总数的变化有所不同,但 4 个不同林地都有一个共同特点,即 31~40 cm 土层中的微生物数量最少,且同一发育阶段胡杨林的微生物,在不同土壤剖面均表现为细菌的数量显著多于放线菌,并都高于真菌.

幼龄林中,细菌和真菌数量均是在 0~10 cm 土层中稍多一些,在其他 3 个土层中,数量较少且相差不大;放线菌在 21~30 cm 土层中数量相当高,达到了 19.29×10⁵ 个/g,而在其他土层中,数量均下降了

1 倍左右.中壮林中,细菌的数量分布为 11~20 cm>0~10 cm>21~30 cm>31~40 cm;放线菌在 21~30 cm 土层中的数量最多,在 31~40 cm 土层中分布最少,而其他 2 个土层中数量基本相当;真菌在中壮林中的分布比较特别,除在 21~30 cm 土层中没有分布外,在 31~40 cm 土层中的数量也很少,主要集中在 0~10 cm 土层中,为 49.83×10⁴ 个/g.过熟林中,真菌的分布数量较少,均达不到 0.5×10⁴ 个/g;在 11~20 cm 与 21~30 cm、0~10 cm 与 31~40 cm 土层中,细菌数量也相差不大,但以中间 2 个土层数量高于表层与深层;放线菌在 11~20 cm 土层中,分布数量很高,为 22.98×10⁵ 个/g,在其他土层中,数量相对少很多,均达不到 1×10⁵ 个/g.衰亡林中,各个微生物数量都很少,除细菌在各个土层都有分布且数量较多外,放线菌和真菌在某些土层中均有短缺现象.

2.3 土壤微生物的种类组成

3 种土壤微生物在不同发育阶段胡杨林中的分布,均表现为幼龄林、中壮林微生物种类多于过熟林和衰亡林,只是所占比例有所差异(图 1).就细菌而言,中壮林和幼龄林中的种类数相差不大;衰亡林中的细菌种类数次之;过熟林中的细菌最少,仅为中壮林的 1/3.比较各类胡杨林中的放线菌种类,同样表现为幼龄林和中壮林种类多于另外 2 种类型胡杨林.其中,幼龄林中的放线菌最多,占种类总数的 44.4%;中壮林中的放线菌相对较少,其数量不到幼龄林的一半;过熟林和衰亡林中的放线菌更少一些,其数量均不足 10 种.从真菌种类分布情况来看,中壮林中的种类最多;其次是幼龄林,真菌种类数量占到中壮林的 1/2;过熟林中的真菌数量更少,占微生物种类总数的比例也很小,仅为 26.3%;衰亡林中仅有 1 种真菌,占微生物种类总数的比例最小.

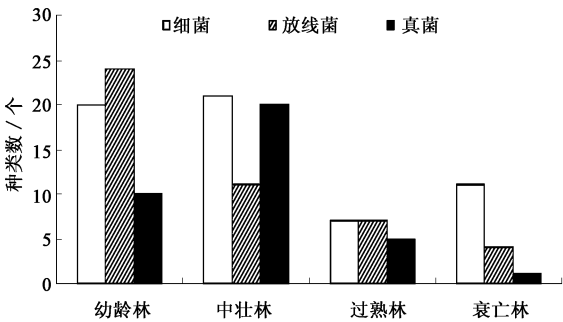


图 1 不同发育阶段胡杨林土壤微生物的种类组成
FIGURE 1 Species composition of soil microorganism in different growing stages of *P. euphratica* forests

2.4 土壤真菌的组成及其相对密度

真菌是森林土壤生物量的重要组成部分^[10].从

胡杨林地土壤中,共分离到 11 个属的真菌.其中,曲霉属是各类胡杨林土壤中共有的优势菌属,分布广、相对密度较大.真菌种群的组成与相对密度在不同胡杨林土壤中存在较大的差别,并分别具有各自特有的优势菌属(表 3).幼龄林土壤中分离出的真菌归属于 5 个属,其优势菌为鬼伞属、曲霉属和交链孢属,相对密度分别达 41.28%、29.36%和 16.51%;中壮林土壤真菌种类最多,共 11 属,其优势类群为曲霉属、假丝酵母属、青霉属和明枝霉属,相对密度以曲霉属为最高;过熟林土壤真菌共 4 属,其中,曲霉属和交链孢属的相对密度均为 33.33%,青霉属和假丝酵母属均为 16.67%;而衰亡林中仅有曲霉属中的 1 种真菌,其他真菌未分离到.

表 3 不同发育阶段胡杨林土壤真菌类群的组成及其相对密度 %

TABLE 3 Composition and relative density of soil fungi in different growing stages of <i>P. euphratica</i> forests				
菌属	幼龄林	中壮林	过熟林	衰亡林
曲霉属 (<i>Aspergillus</i>)	29.36	30.82	33.33	100
交链孢属 (<i>Alternaria</i>)	16.51	7.53	33.33	—
青霉属 (<i>Penicillium</i>)	—	14.38	16.67	—
拟青霉属 (<i>Paecilomyces</i>)	—	1.37	—	—
茎点霉属 (<i>Phoma</i>)	—	2.74	—	—
分孢属 (<i>Meria</i>)	—	2.05	—	—
木霉属 (<i>Trichoderma</i>)	—	1.37	—	—
假丝酵母属 (<i>Candida</i>)	—	18.49	16.67	—
鬼伞属 (<i>Coprinus</i>)	41.28	2.74	—	—
明枝霉属 (<i>Hyalodendron</i>)	10.09	17.81	—	—
未鉴定菌	2.76	0.70	—	—

注:相对密度=每个种分离物总数/该林地分离的微生物总数×100%.

分析土壤剖面不同层次的真菌分布频率,具有以下特点:0~10 cm 土层有 11 属,出现频率较高的为曲霉属、交链孢属、假丝酵母属和明枝霉属,其中假丝酵母属是该土层特有的优势菌属;11~20 cm 土层中分布的真菌有 6 属,其中曲霉属的出现频率明显高于其他类群,青霉属和鬼伞属也较多出现;21~30 cm 土层以明枝霉属和鬼伞属为优势真菌,其余类群出现频率基本相当;31~40 cm 土层的真菌已减少到 3 属,除鬼伞属外,其余 2 种真菌的相对密度和种群数量都明显低于其他土层(表 4).

3 结论与讨论

1) 塔克拉玛干沙漠边缘的天然胡杨林处于中国西部的极端干旱荒漠区,林内土壤是绿洲到荒漠地区的过渡带.研究发现,胡杨林土壤微生物与荒漠沙地的土壤微生物存在较大差异,塔克拉玛干沙漠腹地流沙上的微生物数量很少^[11],仅占胡杨林土壤微生物总数的 1/3 000.这是因为,荒漠沙地中的水

表 4 胡杨林土壤真菌的垂直分布
TABLE 4 Vertical distribution of soil fungi in *P. euphratica* forests

菌属	0~10 cm	11~20 cm	21~30 cm	31~40 cm
曲霉属	+++	++++	++	+
交链孢属	++	+	—	—
青霉属	+	++	+	—
拟青霉属	+	—	—	—
茎点霉属	+	—	—	—
分孢属	+	—	—	—
木霉属	+	+	—	—
假丝酵母属	++	—	—	—
鬼伞属	+	++	+++	++++
明枝霉属	++	+	+++	++
未鉴定菌	+	—	++	—

注:“++++”表示分离频率在 50%以上;“+++”表示分离频率在 30%~50%之间;“++”表示分离频率在 10%~30%之间;“+”表示分离频率小于 10%.

分和有机质含量限制了微生物的活性,而胡杨林内植被相对丰富以及被放牧的牛羊遗留下来的粪便,均致使胡杨林内的土壤微生物数量显著高于植被稀少的荒漠沙地.尽管胡杨林土壤与流沙中各种微生物类群的数量分布比例都表现为:细菌>放线菌>真菌;但是,流沙中 3 大微生物类群的数量均是下层多于表层,这一点与胡杨林土壤微生物的垂直分布正好相反.因此,胡杨林土壤微生物作为一种自然资源,应该加强保护和深入地研究,这对于提高胡杨林的生产力水平,防止土壤沙化具有十分重要的作用.

2) 天然胡杨林与人工胡杨林内,土壤微生物的数量存在一定的差异.经统计,天然胡杨林不同发育阶段林地内,土壤微生物的数量在 6.77~17.27×10⁷ 个/g 之间,比新疆阿拉尔市 1982 年建成的人工胡杨林内土壤微生物总数高出 5.75~148.88 倍^[12].因此,在保护天然胡杨林土壤微生物群落多样性的同时,还应加强对人工胡杨林土壤肥力的管理,使土壤微生物资源不断丰富,为胡杨林生态系统的稳定发展发挥更大的作用.

3) 在胡杨林土壤中,细菌的数量和所占比例占绝对优势(占微生物总数的 97%以上),放线菌次之(为 2%左右),真菌最少(不到 1%).因真菌是异养型微生物,适宜在偏酸性的土壤条件下生长发育,而胡杨林土壤偏碱性,养分少,所以限制了真菌的发展.这一分布比例也符合农田及森林土壤微生物类群的一般分布规律.同时,幼龄林和过熟林土壤微生物的数量明显高于中壮林和衰亡林,种类组成也是幼龄林最多,衰亡林最少.随着林龄的增加,土壤微生物的垂直分布也存在一定差异,总体分布规律是随着土层深度的增加,微生物的数量递减.其中,细菌在所有林地和所测土层中都有分布,放线菌和真菌在某些林地内的土层中有短缺现象.这可能除了

与各发育阶段胡杨林的土壤含水量有直接关系外,地面植被的不同也造成了微生物数量的不同分布.

4) 在林地土壤微生物种群中,真菌起很重要的作用,其组成和相对密度在不同发育阶段胡杨林的土壤剖面中,存在较大差别.除曲霉属为4种发育阶段胡杨林土壤中的优势菌属外,其他真菌类群在不同林地内均有不同的分布规律.其中,中壮林内的土壤真菌在数量和种类上都多于其他林地,这可能是由于本试验所选的中壮林样地距离河流较近,土壤受到河流淡化或洪水的洗盐作用,因而含盐量相对较低,为土壤真菌的繁殖提供了条件.土壤中真菌的功能和生化特性及对土壤形成、养分循环中的作用还有待进一步研究.

5) 土壤微生物各类群数量的多少与不同发育阶段胡杨林内地面植被种类的多少、植被盖度的大小、地下水位的高低及土壤的特点有直接关系.幼龄林地下水位较高,地面植被较为丰富,因而土壤微生物的种类和数量都比较丰富.而衰亡林地土壤沙化严重,地面植被极其稀少,因此,微生物难以在此生境生存,数量和种类相对就很稀少.

6) 土壤微生物各类群数量与土壤肥力及林地健康状况有密切的关系.随着林龄的增加,土壤微生物各类群数量逐渐减少,因而土壤肥力降低,地表更加裸露,沙质地表的风蚀作用就更加严重.因此,从土壤微生物生态学角度来看,衰亡胡杨林的健康状况显著差于其他类型胡杨林.加之幼龄林、中壮林和过熟林内灌木和草本植物较为丰富,更进一步从“植被-微生物-土壤”³者之间的关系说明,其林地的健康状况优于衰亡林地,可作为评价胡杨林土壤退化和生态系统健康状况的重要指标之一.

参 考 文 献

[1] 程小玲, 刘淑清. 浅议塔里木胡杨保护区胡杨林的保护[J]. 中南林业调查规划, 2004, 23(1):33-35.
CHENG X L, LIU S Q. An elementary comment on diversifolious poplar protection in Talimu diversifolious poplar protection zone[J]. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2004, 23(1):33-35.
[2] 王世绩, 陈炳浩, 李护群. 胡杨林[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
WANG S J, CHEN B H, LI H Q. *Euphrates poplar forests* [M]. Beijing: China Enviromental Science Press, 1995.
[3] 邵玉琴, 雍世鹏, 廖仰南, 等. 人工植被固沙工程系统稳定性的土壤微生物生物量的初步分析[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1995, 26(1):80-84.
SHAO Y Q, YONG S P, LIAO Y N, *et al.* The preliminary analysis on microbial biomass of ecosystem stability in artificial plantation-fixed sand dunes[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*,

1995, 26(1):80-84.
[4] 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.
Department of Microbiology, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Researching methods of soil microorganism* [M]. Beijing: Sciences Press, 1985.
[5] 陈仁华, 武夷山不同森林类型土壤微生物分布状况的研究[J]. 福建林业科技, 2004, 31(4):44-47.
CHEN R H. Studies of the distribution status of soil microbiota of various forest types in Wuyishan[J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2004, 31(4):44-47.
[6] 冯健, 张健, 梁剑. 巨桉人工林地土壤微生物类群的初步研究[J]. 四川农业大学学报, 2005, 23(3):300-304.
FENG J, ZHANG J, LIANG J. Primary study on the dominant of microorganisms in *Eucalyptus grandis* plantation [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2005, 23(3):300-304.
[7] 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):132-149.
LIU Z X, ZHU T H, ZHANG J. Characteristics of soil microbes for two models of forest rehabilitation [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3):132-149.
[8] 罗明, 单娜娜, 文启凯, 等. 几种固沙植物根际土壤微生物特性研究[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(6):618-622.
LUO M, CHAN N N, WEN Q K, *et al.* Microbial characteristics of rhizospheric soil of some sand-fixing plants [J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2002, 8(6):618-622.
[9] H L 巴尼特, B B 亨特. 半知菌属图解[M]. 3版. 沈崇尧, 译. 北京: 科学出版社, 1977.
BARNETT H L, HUNTER B B. *Illustrated genera of imperfect fungi* [M]. 3rd ed. SHEN C Y, tran. Beijing: Science Press, 1997.
[10] 田呈明, 梁英梅. 华北落叶松人工林土壤真菌区系研究[J]. 西北林学院学报, 1996, 11(增刊):137-142.
TIAN C M, LIANG Y M. Mycoflora of litter and soil in man-made forest of prince ruppercht's larch [J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 1996, 11(Supp.):137-142.
[11] 顾峰雪, 文启凯, 潘伯荣, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被下土壤微生物的初步研究[J]. 生物多样性, 2000, 8(3):297-303.
GU F X, WEN Q K, PAN B R, *et al.* A preliminary study on soil microorganisms of artificial vegetation in the center of Taklimakan Desert[J]. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(3):297-303.
[12] 范君华, 刘明, 高疆生, 等. 塔里木河上游不同林地土壤养分和微生物以及酶活性变化初探[J]. 中国农学通报, 2005, 21(1):184-187.
FAN J H, LIU M, GAO J S, *et al.* Preliminary study on soil nutrients, microorganisms and enzyme activities of characteristic fruit tree and *Populus euphratica* stands in upriver of Tarum River [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(1):184-187.

(责任编辑 董晓燕 李 蕊)