

## 基于林分结构和竹笋产量的有机材料覆盖雷竹林退化程度评价

刘丽<sup>1,2</sup>, 陈双林<sup>1</sup>, 李艳红<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400; 2. 杭州市余杭区实用技术学校, 浙江余杭 311121)

**摘要:** 为建立有机材料覆盖雷竹 *Phyllostachys praecox* 林退化程度评价体系, 在浙江省临安市雷竹栽培区设置 15 个样点, 在林分结构和竹笋产量等 14 项因子调查的基础上, 进行主成分分析。研究表明, 立竹年龄结构、立竹胸径和竹笋产量可作为雷竹林退化程度评价的主要指标; 试验区有机材料覆盖雷竹林退化程度可分为 4 类 6 级: 重度退化(I 级)、中度退化(II, III 级)、轻度退化(IV, V 级)和正常(VI 级)。重度、中度、轻度退化雷竹林所占比例分别为 13.34%, 26.66%, 46.67%, 未退化雷竹林仅占 13.33%。有机材料覆盖易造成雷竹林立竹年龄结构不合理, 立竹胸径减小, 立竹整齐度、分布均匀度降低, 竹林出现退化, 竹笋产量显著下降。表 5 参 20

**关键词:** 森林培育学; 雷竹; 林分结构; 竹笋产量; 主成分分析; 退化程度

中图分类号: S718.52; S795 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)01-0015-07

## Stand structure and bamboo shoot number production based assessment of degradation degree of *Phyllostachys praecox* covered with organic materials

LIU Li<sup>1,2</sup>, CHEN Shuang-lin<sup>1</sup>, LI Yan-hong<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, The Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Applied Technology School of Yuhang, Yuhang 311121, Zhejiang, China)

**Abstract:** A principal component analysis of 14 factors including the stand structure and bamboo shoot number in multiple plots was conducted to establish an assessment system of degradation degree of *Phyllostachys praecox* covered with organic materials. The 15 experiment points were set in *P. praecox* cultivation region of Lin'an City. The results indicated that the age structure, average diameter of breast height (DBH) and bamboo shoot output were important indexes in assessing the degradation degree of *P. praecox*. The test area were classified into six grades and four categories in terms of the degradation degree of *P. praecox*, namely, heavy degradation (grade I), medium degradation (grades II and III), slight degradation (grade IV, V) and normal (VI). Percentage of the four categories was 13.34%, 26.66%, 46.67% and 13.33% respectively. *P. praecox* covered with organic materials would lead to improper age structure, decrease in DBH, uniformity and evenness, degradation of forest and decreased bamboo shoot yield. [Ch, 5 tab. 20 ref.]

**Key words:** silviculture; *Phyllostachys praecox*; stand structure; yield of bamboo shoot; principal component analysis; degradation degree

收稿日期: 2008-12-26; 修回日期: 2009-03-12

基金项目: 浙江省林业厅资助项目(06A03); 浙江省杭州市科技攻关专项(20070632B31)

作者简介: 刘丽, 从事竹林生态研究。E-mail: liuli0109@163.com。通信作者: 陈双林, 研究员, 从事竹林生态研究。E-mail: cslbamboo@126.com

生态退化是目前全球面临的主要环境问题之一,已引起各国政府和学者的高度重视,生态系统退化和退化生态系统恢复已成为当前生态学研究热点<sup>[1]</sup>。对退化程度的诊断是生态系统退化研究中首先遇到和必须解决的问题,而当前对生态系统退化程度诊断的研究大多仍停留在定性阶段,这在一定程度上制约着生态恢复实践和恢复生态学的发展<sup>[2]</sup>。目前,关于退化生态系统研究多集中在荒漠生态系统和草原生态系统<sup>[3]</sup>,涉及到竹林生态系统的很少。雷竹 *Phyllostachys praecox* 是中国优良的散生笋用竹种,具有成林速度快,出笋早,笋味佳,产量高,经济效益好等特点,在中国许多雷竹适生区有规模化引种栽培。为了获取高的经济产出,浙江省雷竹主要栽培区普遍实施林地有机材料覆盖竹笋早出技术措施,在一定时间内雷竹林竹笋产量和经济效益得到了显著提高<sup>[4-5]</sup>,但是,随着覆盖年限增加,雷竹林出现了不同程度的退化现象,且有日趋严重的趋势<sup>[6-7]</sup>,主要表现在林分立竹平均胸径和相同径级立竹枝下高明显减小,新竹留养困难,年龄结构不合理,竹笋产量显著下降<sup>[8-9]</sup>,土壤养分失衡<sup>[10-11]</sup>,土壤重金属含量增加<sup>[12-13]</sup>,土壤酶活性异常<sup>[14-15]</sup>,土壤微生物区系变化<sup>[7,16]</sup>等。目前,针对有机材料覆盖雷竹林退化程度的评价少有涉及。本研究应用主成分分析法,采用林地有机材料覆盖雷竹林林分结构和竹笋产量等14项指标来评价有机材料覆盖雷竹林林分退化程度,旨在为退化雷竹林恢复提供理论依据。

## 1 试验地概况

试验地位于浙江省临安市太湖源镇(30°24'N, 119°32'E),属中亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明。年平均气温为15.9℃,最高气温41.3℃,最低气温-13.3℃,≥10℃年积温4 999.7℃,年无霜期234 d,年降水量1 400 mm。地形地貌为低山丘陵,土壤为红壤、黄红壤和水稻土3种类型。

试验区属临安市雷竹重点产区,全镇雷竹林面积有0.4万hm<sup>2</sup>,是雷竹林林地有机材料覆盖高效栽培技术推广最早、面积最大的乡镇,竹笋业是区域农村家庭经济收入的主要来源。由于长期集约经营和林地连年覆盖,雷竹林立地生产力退化现象严重,已影响到区域竹笋业的可持续发展。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 样地设置

2007年10月在临安市太湖源镇随机选择有机材料覆盖雷竹林15个样点,设置10 m×10 m固定样地3个·样点<sup>-1</sup>,样地四角竖木桩作为标志。

### 2.2 林分结构及竹笋产量调查

调查竹林立竹密度和每竹的立竹年龄、立竹胸径、立竹枝下高等林分结构因子。2008年出笋期除正常经营所需要留养的竹笋数量外(按雷竹丰产结构的立竹密度1.2~1.5万株·hm<sup>-2</sup>,立竹胸径3~4 cm,立竹年龄比为1年生:2年生:3年生=4:3:3的标准要求,在自然出笋盛期留养新竹),样地中其他竹笋悉数挖取,以实际采收的竹笋统计竹笋产量。在新竹长成后调查固定样地内的新竹数、新竹胸径、新竹枝下高等。

### 2.3 数据分析与处理

2007年调查因子: $X_1$ 为立竹密度(万株·hm<sup>-2</sup>), $X_2$ 为1年生立竹比例(%), $X_3$ 为1年生立竹平均胸径(mm), $X_4$ 为1年生立竹平均枝下高(m), $X_5$ 为2年生立竹比例(%), $X_6$ 为2年生立竹平均胸径(mm), $X_7$ 为2年生立竹平均枝下高(m), $X_8$ 为2年生以上立竹比例(%), $X_9$ 为2年生以上立竹平均胸径(mm), $X_{10}$ 为2年生以上立竹平均枝下高(m);2008年调查因子: $X_{11}$ 为新竹比例(%), $X_{12}$ 为新竹平均胸径(mm), $X_{13}$ 为新竹平均枝下高(m), $X_{14}$ 为竹笋产量(t·hm<sup>-2</sup>)。数据分析采用主成分分析(PCA),数据处理用SPSS统计软件。

## 3 结果与分析

### 3.1 主成分选择

对15个样点的14项因子指标(表1)的信息作主成分分析(PCA),进行信息集中与提取,在不损

失原有信息的情况下，通过降维产生新变量，提取雷竹林退化的主要评价因子。根据各项因子指标特征值和累计贡献率(表 2)可知，前 5 个因子特征值均大于 1，累计贡献率达 81.712%，可概括 14 个因子指标所涵盖的大部分信息。因此，选择前 5 个因子作为林地有机材料覆盖雷竹林退化程度划分的主成分( $F_i$ )，即  $F_1 \sim F_5$ 。

表 1 林地有机材料覆盖雷竹林林分结构和竹笋产量

Table 1 Bamboo forest structure and bamboo shoot output of in 15 sampling plots

样地号	$X_1$ /(万株·hm <sup>-2</sup> )	$X_2$ /%	$X_3$ /mm	$X_4$ /m	$X_5$ /%	$X_6$ /mm	$X_7$ /m	$X_8$ /%	$X_9$ /mm	$X_{10}$ /m	$X_{11}$ /%	$X_{12}$ /mm	$X_{13}$ /m	$X_{14}$ /(t·hm <sup>-2</sup> )
1	1.68	29	28.3	1.36	50	28.1	1.38	21	37.0	15.49	40	35.5	2.96	10.99
2	1.59	57	23.4	1.19	30	23.0	8.62	13	27.9	8.98	42	30.0	1.80	5.88
3	1.44	54	19.6	1.02	26	20.0	1.21	20	33.5	8.28	49	33.9	2.47	6.20
4	1.88	41	25.8	1.40	49	23.3	1.82	10	38.8	2.32	33	31.0	1.99	4.50
5	2.52	41	16.2	0.86	53	18.2	0.83	6	30.8	1.83	27	31.6	2.38	7.92
6	1.86	40	26.6	1.44	51	34.2	1.94	9	36.9	2.56	16	47.4	4.36	1.77
7	1.67	33	29.2	1.97	36	25.2	1.53	31	36.6	2.12	30	29.3	1.52	3.35
8	2.03	27	21.5	1.36	56	22.5	1.09	17	37.8	2.71	22	38.0	3.70	13.01
9	1.93	9	22.7	1.68	53	35.5	2.65	38	35.3	2.92	32	36.2	2.84	20.13
10	2.28	15	20.0	1.60	58	28.0	1.93	27	26.0	1.78	45	29.6	2.81	9.38
11	3.77	48	19.6	1.33	41	20.1	1.22	11	23.0	1.35	24	33.9	2.23	5.56
12	3.71	42	23.8	1.43	31	21.6	1.43	27	32.8	2.51	29	38.1	2.87	6.87
13	2.78	65	22.7	1.39	10	17.5	1.54	25	38.8	3.06	46	36.0	2.53	9.38
14	3.08	30	26.0	1.57	40	26.8	1.58	30	37.5	3.13	52	27.7	1.65	5.31
15	1.50	29	40.0	1.82	32	40.0	2.51	39	35.1	2.36	11	23.0	1.05	27.00

### 3.2 主成分因子识别

主成分因子识别是通过各项因子指标对主成分的贡献率(主成分载荷)进行分析，表 3 是各主成分在各变量上的载荷，从中得到各主成分的载荷方程：

$$F_1 = -0.451X_1 - 0.673X_2 + 0.814X_3 + 0.769X_4 + 0.260X_5 + 0.891X_6 + 0.033X_7 + 0.006X_8 + 0.309X_9 - 0.103X_{10} - 0.445X_{11} - 0.363X_{12} - 0.268X_{13} + 0.707X_{14} ;$$

$$F_2 = 0.141X_1 - 0.446X_2 - 0.283X_3 - 0.049X_4 + 0.677X_5 + 0.177X_6 - 0.496X_7 - 0.055X_8 + 0.081X_9 - 0.267X_{10} - 0.448X_{11} + 0.722X_{12} + 0.839X_{13} - 0.072X_{14} ;$$

$$F_3 = 0.479X_1 - 0.208X_2 - 0.076X_3 + 0.479X_4 - 0.240X_5 - 0.116X_6 - 0.456X_7 + 0.849X_8 + 0.254X_9 - 0.371X_{10} + 0.382X_{11} - 0.047X_{12} - 0.087X_{13} - 0.058X_{14} ;$$

$$F_4 = -0.531X_1 + 0.049X_2 + 0.120X_3 - 0.022X_4 - 0.147X_5 + 0.109X_6 + 0.119X_7 + 0.364X_8 + 0.620X_9 + 0.687X_{10} + 0.393X_{11} + 0.394X_{12} + 0.365X_{13} - 0.082X_{14} ;$$

$$F_5 = -0.111X_1 - 0.537X_2 - 0.382X_3 - 0.068X_4 + 0.521X_5 + 0.051X_6 + 0.258X_7 + 0.257X_8 - 0.466X_9 + 0.269X_{10} + 0.476X_{11} - 0.277X_{12} - 0.038X_{13} + 0.045X_{14} .$$

由表 2 和表 3 可知，第 1 主成分贡献率为 27.000%，其中，1 年生立竹胸径、立竹枝下高、2 年生立竹胸径和竹笋产量有较大的正载荷。第 2 主成分贡献率为 18.214%，其中，2 年生立竹所占比例、新竹胸径、新竹枝下高有较大的正载荷。第 3 主成分贡献率为 13.348%，其中，立竹密度、1 年生立竹枝下高、2 年生以上立竹所占比例有较大的正载荷。第 4 主成分贡献率为 12.760%，其中，2 年生以上立竹胸径和枝下高有较大的正载荷；第 5 主成分贡献率为 10.389%，其中，2 年生立竹所占比例

和新竹比例有较大的正载荷。综合分析,有机材料林地覆盖导致的雷竹林退化对立竹年龄结构、立竹胸径、立竹枝下高和竹笋产量影响较大,也即说明立竹年龄结构、立竹胸径、立竹枝下高和竹笋产量可以用来作为雷竹林退化程度评价的主要指标。

表2 各项因子指标特征值及累计贡献率

Table 2 Eigenvalue and cumulative contribution of 14 biological indices

因子	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
$X_1$	3.780	27.000	27.000
$X_2$	2.550	18.214	45.214
$X_3$	1.869	13.348	58.563
$X_4$	1.786	12.760	71.323
$X_5$	1.454	10.389	81.712
$X_6$	0.872	6.225	87.937
$X_7$	0.685	4.892	92.829
$X_8$	0.481	3.437	96.266
$X_9$	0.253	1.807	98.073
$X_{10}$	0.184	1.312	99.384
$X_{11}$	0.069	0.490	99.874
$X_{12}$	0.015	0.108	99.982
$X_{13}$	0.002	0.016	99.998
$X_{14}$	0.000	0.002	100

表3 主成分系数矩阵

Table 3 Principal components matrix

因子	主成分				
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$
$X_1$	-0.451	0.141	0.479	-0.531	-0.111
$X_2$	-0.673	-0.446	-0.208	0.049	-0.537
$X_3$	0.814	-0.283	-0.076	0.120	-0.382
$X_4$	0.769	-0.049	0.479	-0.022	-0.068
$X_5$	0.260	0.677	-0.240	-0.147	0.521
$X_6$	0.891	0.177	-0.116	0.109	0.055
$X_7$	0.033	-0.496	-0.456	0.119	0.258
$X_8$	0.006	-0.055	0.849	0.364	0.257
$X_9$	0.309	0.081	0.254	0.620	-0.466
$X_{10}$	-0.103	-0.267	-0.371	0.687	0.269
$X_{11}$	-0.445	-0.448	0.382	0.393	0.476
$X_{12}$	-0.363	0.722	-0.047	0.394	-0.277
$X_{13}$	-0.268	0.839	-0.087	0.365	-0.035
$X_{14}$	0.707	-0.072	-0.058	-0.082	0.045

### 3.3 退化程度划分

采用主成分得分与各自贡献率累加和计算各样点雷竹林退化指数,即  $F_c = 0.27000F_1 + 0.182F_2 + 0.134F_3 + 0.128F_4 + 0.104F_5$ 。根据综合因子得分,对15个样点雷竹林进行退化程度评价,得出各样点雷竹林退化情况(表4)。依据综合因子得分将试验样点雷竹林划分为4大类:重度退化(I),中度退化(II和III),轻度退化(IV和V),未退化(VI)。重度、中度、轻度退化的林地有机材料覆盖雷竹林所占比例分别为13.34%,26.66%,46.67%,未退化的雷竹林比例仅占13.33%,可见试验区雷竹林退化现象已十分严重。

表4 林地有机材料覆盖雷竹林退化程度划分

Table 4 Evaluation of degradation degree of *Phyllostachys praecox* stands in sampling plots

退化程度	退化分级	退化指数区间	样点号
重度退化	I	< -1.718	2, 4
	II	-1.718 ~ -1.423	11
中度退化	III	-1.423 ~ -1.218	3, 5, 13
	IV	-1.218 ~ -0.449	12
轻度退化	V	-0.449 ~ 0.763	1, 6, 7, 8, 10, 14
未退化	VI	0.763 ~ 2.110	9, 15

### 3.4 退化雷竹林林分结构因子相关性分析

对退化雷竹林林分结构因子作相关性分析(表5)可知,1年生立竹平均胸径与枝下高,新竹平均胸径与枝下高呈极显著正相关,说明立竹枝下高是立竹胸径的从属因子,因此在退化程度评价的主要因子中可剔除立竹枝下高,而用容易测量的立竹胸径;1年生立竹比例与2年生立竹比例极显著负相关;1年生立竹比例与2年生立竹平均胸径,新竹比例与新竹平均胸径显著负相关;2年生及以上立竹平均胸径与1年生立竹平均胸径,2年生以上立竹比例与1年生立竹枝下高、新竹比例均呈显著正

表 5 退化样地林分因子相关性分析

Table 5 Correlation between each 14 biological indices in 15 sampling degraded plots

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$
$X_2$	0.080												
$X_3$	-0.279	-0.180											
$X_4$	0.033	-0.446	0.695**										
$X_5$	-0.167	-0.802**	-0.036	0.024									
$X_6$	-0.320	-0.576*	0.606*	0.485	0.512								
$X_7$	-0.302	0.309	0.095	-0.108	-0.186	0.059							
$X_8$	0.183	-0.128	0.351	0.628	-0.489	0.012	-0.168						
$X_9$	-0.328	-0.002	0.588*	0.244	-0.149	0.186	-0.296	0.286					
$X_{10}$	-0.489	0.085	0.285	-0.253	-0.077	0.145	0.314	-0.014	0.111				
$X_{11}$	-0.113	0.102	-0.002	-0.011	-0.437	-0.158	0.205	0.554*	0.032	0.385			
$X_{12}$	0.009	0.149	0.104	-0.119	0.034	0.318	-0.210	-0.247	0.253	-0.004	-0.602*		
$X_{13}$	-0.085	-0.198	-0.054	-0.139	0.329	0.415	-0.261	-0.244	0.167	0.009	-0.519	0.889**	
$X_{14}$	0.025	-0.241	-0.337	-0.237	0.093	-0.311	-0.167	0.174	0.020	0.283	0.177	-0.043	0.248

说明：\* 示 0.05 显著水平；\*\* 示 0.01 极显著水平。

相关。退化雷竹林的林分结构因子关系反映出竹林新竹留养困难，新竹质量下降，竹林结构趋于不合理。

### 3.5 雷竹林整齐度和均匀度

用退化和未退化雷竹林立竹平均胸径和立竹平均胸径的标准差计算立竹整齐度，得出退化和未退化雷竹林的立竹平均整齐度分别为 4.10 和 5.23。退化雷竹林立竹整齐度下降，说明立竹个体大小分化程度高，个体间竞争趋于激烈，大的个体往往在养分、光合空间等资源竞争中占据优势，不利于无性系种群的良好自我更新和立地生产力发挥。

用退化和未退化雷竹林单位面积平均立竹数和平均立竹数的标准差计算立竹分布均匀度，得出退化和未退化雷竹林立竹平均均匀度分别为 2.95 和 5.60。退化雷竹林较低的立竹分布均匀度，表明立竹在林地中分布不均匀，往往成聚集分布，立竹所占据的土壤、光合营养空间重叠度高，环境资源利用率降低。

## 4 结论与讨论

生态系统发生退化，将会在系统结构组成与功能发挥等方面有所表现。退化生态系统诊断途径有生物途径、生境途径、生态系统功能服务途径、景观途径和生态过程途径等<sup>[2]</sup>。本研究从生物途径应用主成分分析法对有机材料覆盖雷竹林进行退化程度诊断，得出立竹年龄结构、立竹胸径、枝下高和竹笋产量占有较大的正载荷，鉴于立竹枝下高是立竹胸径的从属因子，将立竹年龄结构、立竹胸径和竹笋产量作为有机材料覆盖雷竹林退化程度评价的主要指标。根据主成分得分与各自贡献率累加值所计算的雷竹林退化指数，将有机材料覆盖雷竹林退化程度划分为 4 类和 6 个等级：重度退化(I)、中度退化(II, III)、轻度退化(IV, V)、未退化(VI)，其中，退化竹林占 86.67%，未退化竹林仅占 13.33%，反映出林地覆盖易造成雷竹林退化，如何科学地进行林地覆盖是实现雷竹林高效可持续经营所迫切需要解决的问题。

立竹密度、立竹胸径和立竹年龄结构是衡量竹林生长状况和生产力高低的重要指标<sup>[8,17]</sup>，在丰产林分结构的立竹密度范围内，竹林密度与立竹平均胸径存在显著性相关<sup>[18-19]</sup>，径级结构可以用 Weibull 分布来描述<sup>[20]</sup>。而本研究结果为退化雷竹林立竹密度与其他林分结构因子间相关不显著，立竹整齐度和均匀度下降，立竹径级趋于非正态分布，也即说明林分结构趋于不合理，分析致成原因认为，有

机材料覆盖措施不仅干扰了雷竹正常的生长发育规律,而且有机覆盖物地表层发酵增温耗氧和物理隔离效果,会使林地土壤长期处于高湿和缺氧状态,从而改变了土壤物理、化学和生物性状<sup>[10-11,14]</sup>,影响竹林地下鞭根系统生长更新<sup>[9]</sup>,导致立竹更新困难,立竹生长势衰退,竹林出现退化,竹笋产量下降。因此,对于退化雷竹林恢复,除实施劣变土壤改良外,直接关系到竹林更新生长和效益产出的立竹密度、立竹胸径和立竹年龄结构等林分结构主要因子也是重要的调控对象。

#### 参考文献:

- [1] 刘国华,傅伯杰,陈利顶,等.中国生态退化的主要类型、特征及分布[J].生态学报,2000,20(1):13-19.  
LIU Guohua, FU Bojie, CHEN Liding, *et al.* Characteristics and distributions of degraded ecological types in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2000, 20(1): 13-19.
- [2] 杜晓军,高贤明,马克平.生态系统退化程度诊断:生态恢复的基础与前提[J].植物生态学报,2003,27(5):700-708.  
DU Xiaojun, GAO Xianming, MA Keping. Diagnosis of the degree of degradation of an ecosystem: The basis and pre-condition of ecological restoration [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2003, 27(5): 700-708.
- [3] 杨娟,李静,宋永昌,等.受损常绿阔叶林生态系统退化评价指标体系和模型[J].生态学报,2006,26(11):3749-3756.  
YANG Juan, LI Jing, SONG Yongchang, *et al.* A model to assess the degradation degree of damaged evergreen broad-leaved forest ecosystem [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, 26(11): 3749-3756.
- [4] 汪祖潭,方伟,何均潮,等.雷竹笋用林高产栽培技术[M].北京:中国林业出版社,1992.
- [5] 方伟,何均潮,卢学可,等.雷竹早产高效栽培技术[J].浙江林学院学报,1994,11(2):121-128.  
FANG Wei, HE Junchao, LU Xueke, *et al.* Cultivation techniques of early shooting and high yielding for Lei bamboo sprout [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1994, 11(2): 121-128.
- [6] 余树全,姜春前,周国模,等.雷竹林生态系统健康的研究[J].北京林业大学学报,2003,25(5):15-19.  
YU Shuquan, JIANG Chunqian, ZHOU Guomo, *et al.* Study on *Phyllostachys praecox* forest ecosystem health [J]. *J Beijing For Univ*, 2003, 25(5): 15-19.
- [7] 徐秋芳,姜培坤,陆贻通.不同施肥对雷竹林土壤微生物功能多样性影响初报[J].浙江林学院学报,2008,25(5):548-552.  
XU Qiufang, JIANG Peikun, LU Yitong. Soil microbial diversity with different fertilizer types and rates in a *Phyllostachys praecox* stand [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, 25(5): 548-552.
- [8] 周国模,金爱武,郑炳松,等.雷竹保护地栽培林分立竹结构的初步研究[J].浙江林学院学报,1998,15(2):111-115.  
ZHOU Guomo, JIN Aiwu, ZHENG Bingsong, *et al.* Preliminary study on composition of Lei bamboo in protected plot [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1998, 15(2): 111-115.
- [9] 金爱武,周国模,郑炳松,等.雷竹保护地栽培林地退化机制的初步研究[J].福建林学院学报,1999,19(1):94-96.  
JIN Aiwu, ZHOU Guomo, ZHENG Bingsong, *et al.* A preliminary study on degenerative mechanism of *Phyllostachys praecox* stand planted in a protected site [J]. *J Fujian Coll For*, 1999, 19(1): 94-96.
- [10] 姜培坤,徐秋芳,钱新标,等.雷竹林地覆盖增温过程中土壤化学性质的动态变化[J].浙江林学院学报,1999,16(2):123-130.  
JIANG Peikun, XU Qiufang, QIAN Xinbiao, *et al.* Dynamic changes of chemical properties of warmer soil covered with different organic materials in *Phyllostachys praecox* forests [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1999, 16(2): 123-130.
- [11] 姜培坤,徐秋芳,储家森.雷竹早产高效栽培过程中土壤养分质量分数的变化[J].浙江林学院学报,2006,23(3):242-247.  
JIANG Peikun, XU Qiufang, CHU Jiamiao, *et al.* Soil nutrients in response to intensive management of *Phyllostachys praecox* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, 23(3): 242-247.
- [12] 姜培坤,徐秋芳.不同施肥雷竹林土壤重金属含量的动态分析[J].水土保持学报,2005,19(1):168-180.  
JIANG Peikun, XU Qiufang. Dynamics of heavy metal amount in soil with different treatments under *Phyllostachys praecox* stands [J]. *J Soil Water Conserv*, 2005, 19(1): 168-180.

- [13] 杨芳, 徐秋芳. 不同栽培历史雷竹林土壤养分与重金属含量的变化[J]. 浙江林学院学报, 2003, **20** (2): 111 – 114.  
YANG Fang, XU Qiufang. Changes in nutrients and heavy metal contents in soils under *Phyllostachys praecox* stands with different cultivation histories [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2003, **20** (2): 111 – 114.
- [14] 姜培坤, 俞益武, 张立钦, 等. 雷竹林地土壤酶活性研究[J]. 浙江林学院学报, 2000, **17** (2): 132 – 136.  
JIANG Peikun, YU Yiwu, ZHANG Liqin, *et al.* Study on enzyme activities of soil under *Phyllostachys praecox* forest [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2000, **17** (2): 132 – 136.
- [15] 姜培坤, 徐秋芳, 钱新标. 雷竹林地覆盖增温过程中土壤酶活性的动态变化[J]. 林业科学研究, 1999, **12** (5): 548 – 551.  
JIANG Peikun, Xu Qiufang, QIAN Xinbiao. Dynamic change of enzyme activities of soil under *Phyllostachys praecox* during covering organic material [J]. *For Res*, 1999, **12** (5): 548 – 551.
- [16] 董林根, 姜小婧, 方茂盛. 雷竹覆盖栽培林地土壤微生物的初步研究[J]. 浙江林学院学报, 1998, **15** (3): 236 – 239.  
DONG Lingen, JIANG Xiaojing, FANG Maosheng. Primary study of soil microorganism in Lei bamboo forest of protected cultivation [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1998, **15** (3): 236 – 239.
- [17] 周国模, 金爱武. 雷竹林冠层特性与叶片的空间分布[J]. 林业科学, 1999, **35** (5): 17 – 21.  
ZHOU Guomo, JIN Aiwu. Characteristics of the canopy and spatial distribution of leaves in *Phyllostachys praecox* C. D. Chu, *et al.* *Sci Silv Sin*, 1999, **35** (5): 17 – 21.
- [18] 陈双林, 吴柏林, 吴明, 等. 新造毛竹林林分结构年际演替规律及影响因子[J]. 浙江林学院学报, 2004, **21** (4): 39 – 39.  
CHEN Shuanglin, WU Bolin, WU Ming, *et al.* A study of the interannual succession rule and influential factors of young stands structures of *Phyllostachys pubescens* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21** (4): 39 – 39.
- [19] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.
- [20] 聂道平. 江西省大岗山毛竹林的结构特征[J]. 林业科学研究, 1992, **5** (6): 693 – 699.  
NIE Daoping. The structure characteristics of bamboo groves in Dagangshan Region, Jiangxi Province [J]. *For Res*, 1992, **5** (6): 693 – 699.