

湘中丘陵区竹杉混交对毛竹林土壤质量的影响

漆良华¹, 范少辉^{1*}, 艾文胜², 刘广路¹, 孟勇², 杜满义¹, 唐晓鹿¹

(1. 国际竹藤中心, 北京 100102; 2. 湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 以毛竹纯林为对照, 研究了湘中丘陵区竹杉混交林土壤质量状况。结果表明: 与毛竹纯林相比, 竹杉混交林土壤容重降低 1.04% ~ 9.41%, 0 ~ 60 cm 土层最大持水量和毛管持水量高 4.17%、0.99%, 非毛管孔隙增加 9.16%; 土壤有机质、全氮、水解氮、有效磷以及有效钾含量比毛竹纯林分别高 9.13% ~ 51.85%、1.42% ~ 41.35%、37.50% ~ 50.00%、45.78% ~ 81.71%、24.51% ~ 27.43%; 0 ~ 20 cm 土层土壤细菌、放线菌数量多 56.17%、30.77%, 过氧化氢酶活性增加 12.73%, 多酚氧化酶活性增加 55.63% ~ 59.45%; 灰色关联度表明, 竹杉混交林土壤质量(0.710 1) 优于毛竹纯林(0.623 2)。

关键词: 毛竹; 竹杉混交林; 土壤质量; 灰色关联分析; 湘中

中图分类号: Q948

文献标识码: A

毛竹(*Phyllostachy edulis*) 林是我国南方最典型的森林资源类型之一, 在增加经济效益、发挥生态服务功能等方面具有重要作用^[1]。长期以来, 连年采伐、整株利用、过度施肥、频繁人为干扰等毛竹纯林化集约经营方式, 造成毛竹林土壤质量和立地生产力不同程度退化, 并日益受到关注^[2-4]。毛竹针阔叶混交林变为纯林后, 随着纯林化经营时间的增长, 土壤容重会增加, 土壤孔隙、水分状况恶化, 养分因产品输出而流失, 竹林生物多样性和生态系统的稳定性也逐渐降低, 导致林地生产力下降, 部分竹林严重衰退^[5-6]。湘中丘陵区是我国毛竹分布的中心产区之一, 杉木(*Cunninghamia lanceolata*) 是其主要混交树种^[7]。本文以该区域毛竹纯林为对照, 对竹杉混交林的土壤质量状况进行研究, 以探讨竹杉混交对毛竹林土壤质量的定量影响, 为该区域毛竹林土壤保育、立地维护和科学经营提供依据。

新市渡镇(112°30' ~ 112°43'E, 28°16' ~ 28°29'N), 属于雪峰山余脉, 中低山地貌, 海拔 300 m, 坡度 5° ~ 35°。中亚热带季风湿润气候, 气候温和, 雨量充沛, 年均气温 16.9℃, 全年最热月 7 月, 月平均气温 29.2℃; 最冷月 1 月, 月平均温度 4.4℃; 全年无霜期 274 d, 年平均日照时数 1 643 h; 年降水量 1 460 mm, 降水季节 5—8 月, 年平均相对湿度 81%, 年平均干燥度 0.71。研究区成土母质主要以板页岩为主, 土壤多为红壤。研究区属于我国毛竹林集中分布的中心区域, 但因长期缺乏合理经营管护措施而致生产力低下。自 2004 年开始, 根据经营目标、立地条件和竹林生长状况的差异, 综合运用劈山除杂、削山松土、留笋养竹、开沟施肥、采伐勾梢等经营管护措施, 实施年度作业, 开展了笋用林、材用林以及笋材兼用林的毛竹丰产示范基地建设。

2 研究方法

1 研究区概况

2.1 样地调查与土样采集

研究地点位于湖南省益阳市赫山区泥江口镇、

在研究区内, 分别选择有代表性且立地条件相

收稿日期(Received date): 2011-08-08; 改回日期(Accepted): 2012-03-016。

基金项目(Foundation item): 国际竹藤中心基本业务重点专项(1632008005) 和林业公益性行业科研专项(201104008) 资助。[Supported by the Major Project of Basic Service Fund of ICBR (1632008005) and the Research Project of forestry public welfare (201104008).]

作者简介(Biography): 漆良华(1976-), 男, 湖北潜江人, 博士, 副研究员, 主要从事森林培育、森林生态学研究。[Qi Lianghua (1976-), Born in Qianjiang City, Hubei Province, Ph.D., Associate professor, Majored in Silviculture and Forestry Ecology.]

* 通讯作者(Corresponding author): E-mail: fansh@icbr.ac.cn

表1 样地基本情况

Table 1 Basic information of sampling plots

样地 Sampling plots	坡位 slope position	坡向 Slope direction	坡度 Slope /°	海拔 Altitude /m	郁闭度 Canopy density	立竹度 Density /(株 tree/hm ²)	平均胸径 DBH /cm	乔层盖度 Tree layer coverage/%	灌层盖度 Shrub layer coverage/%	草层盖度 Herbaceous layer coverage/%
I	下 Down	西 West	30	74	0.80	3333	8.85	80	70	5
I	上 Up	西 West	20	109	0.85	4150	9.82	85	65	5
I	上 Up	西 West	8	126	0.85	3400	9.35	85	65	10
II	下 Down	南 South	28	97	0.70	2150	9.25	70	75	5
II	上 Up	西 West	5	125	0.75	2583	8.02	75	80	5
II	上 Up	西 West	24	115	0.75	2317	9.03	75	90	5

I: 毛竹纯林; II: 竹杉混交林。下同。I: *P. edulis* pure forest; II: *P. edulis* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forests. The same below.

似的毛竹纯林、竹杉混交林(混交比例为8:2)各设置固定样地3个,样地面积为600 m²。2009-10-23-29调查样地所处立地条件,样地内进行每竹检尺,详细记录立竹胸径、全高、冠幅、枝下高、立竹年龄、立竹密度等因子(表1)。样地内分层(0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm)采集土样,土壤各层取样分上、中、下坡3个取样点,并在每个取样点不同位置取3个点的混合样,取样点的分布基本采用S形,同时采用环刀法取原状土,测定土壤容重等物理指标。分层混合采集土壤样品1 kg左右,供室内分析测定土壤有机质及各种养分指标及土壤酶活性;采集新鲜土样,置于4℃冰箱中保存,供分析土壤微生物特性。

2.2 土壤样品分析

环刀法测定土壤容重、最大持水量、最小持水量、毛管持水量、孔隙度(总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度)、烘干法测定土壤自然含水量。重铬酸钾法测定有机质,扩散吸收法测定全氮,碱解扩散法测定水解氮,钼锑抗比色法测定全磷,双酸浸提剂法测定速效磷,NaOH熔融加火焰光度计法测定全钾,火焰光度计法测定速效钾。采用平板涂沫法计数测定土壤中细菌、真菌、放线菌数量,细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用马丁氏培养基,放线菌用改良高氏1号培养基。脲酶用苯酚钠比色法,以24 h后1 g土壤中NH₃-N的毫克数表示;蛋白酶用改良茚三酮比色法,以24 h后1 g土壤中氨基酸的毫克数表示;蔗糖酶用3,5-二硝基水杨酸比色法,以24 h后1 g土壤中葡萄糖的毫克数表示;过氧化氢酶采用容量法测定,以20 min后1 g土壤所消耗的KMnO₄(0.1 mol/L)的毫升数表示;多酚氧化酶用邻

苯三酚比色法,以3 h后1 g土壤中紫色没食子素的毫克数表示^[8-9]。各土壤指标重复测定3次。

2.3 土壤质量灰色关联评价

应用灰色系统理论的原理与方法^[10-11],对毛竹纯林和竹杉混交林的土壤质量进行灰色关联评价,根据关联度大小进行关联排序。

数据标准化采用极差正规化法

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}$$

关联系数

$$\xi_{ij}(tk) = \frac{\Delta_{\min} + \Delta_{\max} K}{\Delta_{ij}(tk) + \Delta_{\max} K} \quad (K \text{ 为常数})$$

式中 $\Delta_{\min} = \min_j \min_k |x_i(tk) - x_j(tk)|$; $\Delta_{\max} = \max_j \max_k |x_i(tk) - x_j(tk)|$ 。关联度

$$r_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \xi_{ij}(tk) \quad (k=1, 2, \dots, N)$$

2.4 统计分析

方差分析(ANOVA)、灰色关联分析等均应用SPSS、EXCEL中的相关程序进行计算。

3 结果与分析

3.1 土壤物理特性

土壤容重、孔隙及水分状况等土壤物理性能决定土壤的通气性、透水性和植物根系的穿透性,对土壤质量具有重要作用。毛竹纯林、竹杉混交林0~60 cm土层土壤容重变化范围为1.021~1.383 g/cm³(图1)。与毛竹纯林相比,竹杉混交林不同土层土壤容重均有不同程度下降,0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm土层分别降低9.41%、1.04%、4.77%。

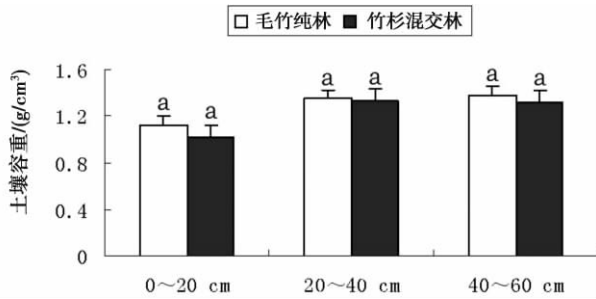


图1 竹林土壤容重

Fig. 1 The soil bulk densities in *P. edulis* forests

毛竹纯林、竹杉混交林土壤水分含量、孔隙状况都随着土层深度增加而下降,均以0~20 cm土层最高,20~40 cm土层其次,40~60 cm土层最低(图2、图3)。土壤自然含水率、最大持水量、最小持水量和毛管持水量变化范围分别为23.56%~34.55%、41.44%~65.75%、31.13%~46.28%和33.17%~50.53%。毛管孔隙、非毛管孔隙和总孔隙

隙度变化范围分别为42.90%~49.27%、10.37%~14.82%和55.00%~64.09%。

竹杉混交林0~60 cm土层土壤自然含水率、最小持水量比毛竹纯林分别低4.56%、1.29%,最大持水量和毛管持水量比毛竹纯林分别高4.17%、0.99%。毛竹纯林、竹杉混交林土壤孔隙状况也随着土层深度增加而下降。竹杉混交林0~60 cm土层土壤非毛管孔隙比毛竹纯林多9.16%,而毛管孔隙、总孔隙度比毛竹纯林分别少4.42%、1.55%。毛竹纯林、竹杉混交林土壤容重、水分含量及孔隙状况差异未达到显著水平($P > 0.1$)。

3.2 土壤养分含量

毛竹纯林、竹杉混交林0~20 cm土层全磷、有效磷含量差异达显著水平($P < 0.1$), P 值分别为0.0685和0.0952;20~40 cm土层有机质差异达显著水平($P = 0.0669 < 0.1$);40~60 cm土层有机质差异达极显著水平($P = 0.0011 < 0.01$),全氮达较显

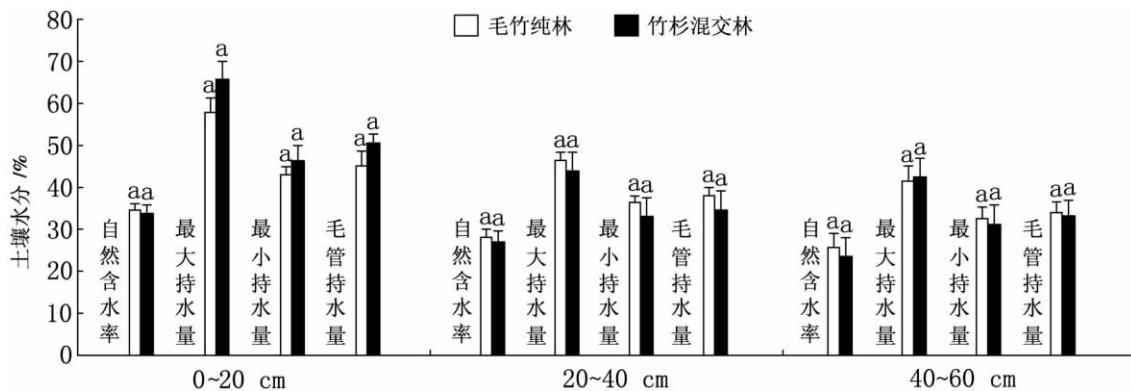


图2 竹林土壤水分状况

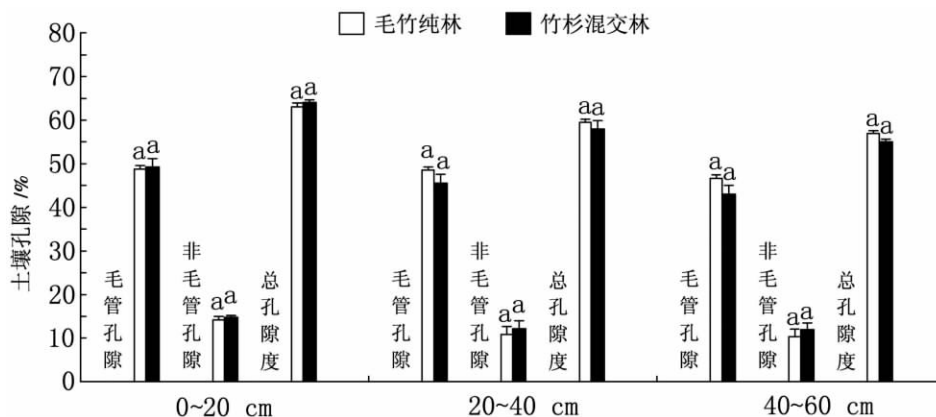
Fig. 2 The soil water conditions in *P. edulis* forests

图3 竹林土壤孔隙度

Fig. 3 The soil porosities in *P. edulis* forests

著水平($P=0.0160<0.05$),全磷、有效磷和有效钾含量差异达显著水平($P<0.1$), P 值分别为0.0863、0.0554和0.0999(表2)。

0~60 cm 土层土壤有机质、全氮、水解氮、全磷、有效磷、全钾和有效钾含量都随土层下降而降低,变化范围为9.88~32.52 g/kg、0.68~1.41 g/kg、0.04~0.18 g/kg、0.28~0.46 g/kg、0.15~1.67 mg/kg、18.66~28.14 g/kg和34.41~74.00 mg/kg。

竹杉混交林0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层土壤有机质、全氮、水解氮、有效磷以及有效钾含量分别比毛竹纯林高9.13%、51.85%和45.74%,1.42%、41.35%和31.31%,50.00%、37.50%和42.86%,47.31%、45.78%和81.71%,27.43%、25.71%和24.51%;而全磷、全钾含量比毛竹纯林分别低23.91%、18.42%和17.65%,10.48%、1.24%和2.46%。

3.3 土壤微生物数量与酶活性

从毛竹纯林、竹杉混交林0~60 cm 土层土壤微生物的组成及分布来看(表3),细菌是土壤微生物的主要类群,数量最多,为 47.61×10^6 cfu/g~ 108.62×10^6 cfu/g,占全部微生物比例为82.10%~92.48%;其次为真菌数量,为 8.44×10^6 cfu/g~ 10.96×10^6 cfu/g,所占比例仅为7.19%~17.43%;放线菌数量极少,为 0.16×10^6 ~ 0.39×10^6 cfu/g,

所占比例为0.21%~0.47%。

与毛竹纯林相比,竹杉混交林0~20 cm 土层土壤细菌、放线菌较之多56.17%、30.77%,而真菌少16.52%;20~40 cm 土层细菌、真菌分别少5.94%、3.35%,放线菌多27.27%,且两者的差异达显著水平($P=0.0636<0.1$);40~60 cm 土层放线菌数量相当,但细菌、真菌分别少4.99%、3.74%。

毛竹纯林、竹杉混交林0~60 cm 土层脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和多酚氧化酶活性变化范围分别为0.012~0.019 mg/g、0.019~0.023 mg/g、1.78~2.33 mg/g、0.24~0.55 mg/g和0.64~1.60 mg/g(表4)。脲酶能促进尿素水解,水解产生的氨是植物氮素营养的直接来源,蛋白酶可促进蛋白质水解成氨基酸,加速土壤氮素循环,毛竹纯林、竹杉混交林不同土层脲酶和蛋白酶活性相当,差异不显著($P>0.1$)。蔗糖酶活性有利于增加土壤中易溶性营养物质,竹杉混交林0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层蔗糖酶活性分别较毛竹纯林低1.11%、21.46%和6.99%。过氧化氢酶有利于过氧化氢的分解,使生物体免受毒害,竹杉混交林0~20 cm 土层过氧化氢酶活性高于毛竹纯林12.73%,而20~40 cm、40~60 cm 土层分别低于毛竹纯林31.43%、33.33%,且差异分别达到极显著($P=0.0080<0.01$)和较显著水平($P=0.0175<0.05$)。

表2 土壤养分含量方差分析

Table 2 ANOVA of soil nutrient indexes in *P. edulis* forests

土层 Layers /cm	类型 Types	有机质 Organic matter /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	水解氮 Available N /(g/kg)	全磷 Total P /(g/kg)	有效磷 Available P /(g/kg)	全钾 Total K /(g/kg)	有效钾 Available K /(mg/kg)
0~20	I	29.55	1.39	0.09	0.46	0.88	28.14	53.70
	II	32.52	1.41	0.18	0.35	1.67	25.19	74.00
	F	0.142 5	0.003 2	3.136 0	6.131 7	4.732 0	0.683 5	1.146 4
	P	0.725 0	0.957 7	0.151 3	0.068 5*	0.095 2*	0.454 9	0.344 6
20~40	I	11.94	0.78	0.05	0.38	0.45	21.81	34.90
	II	24.80	1.33	0.08	0.31	0.83	21.54	46.98
	F	6.242 6	4.130 7	1.306 5	4.038 2	1.191 5	0.021 2	2.399 8
	P	0.066 9*	0.111 9	0.316 8	0.114 9	0.336 4	0.891 2	0.196 3
40~60	I	9.88	0.68	0.04	0.34	0.15	19.13	34.41
	II	18.21	0.99	0.07	0.28	0.82	18.66	45.58
	F	69.094 1	16.091 3	1.408 5	5.127 9	7.167 2	0.028 8	4.549 7
	P	0.001 1***	0.016 0**	0.301 0	0.086 3*	0.055 4*	0.873 5	0.099 9*

* $P<0.1$; ** $P<0.05$; *** $P<0.01$ 。下同。The same below.

表 3 毛竹林土壤微生物数量方差分析

Table 3 ANOVA of soil microbe numbers in *P. edulis* forests /(× 10⁶ cfu/g)

林分类型 Types	0 ~ 20 cm			20 ~ 40 cm			40 ~ 60 cm		
	细菌 Bacterial	真菌 Fungous	放线菌 Actinomycial	细菌 Bacterial	真菌 Fungous	放线菌 Actinomycial	细菌 Bacterial	真菌 Fungous	放线菌 Actinomycial
I	47. 61	10. 11	0. 27	58. 11	10. 74	0. 16	70. 70	10. 96	0. 17
II	108. 62	8. 44	0. 39	54. 66	10. 38	0. 22	67. 17	10. 55	0. 18
<i>F</i>	4. 465 8	0. 687 5	0. 583 8	0. 083 3	0. 058 6	6. 480 0	0. 023 8	0. 025 1	0. 070 8
<i>P</i>	0. 102 1	0. 453 6	0. 487 4	0. 787 3	0. 820 6	0. 063 6*	0. 884 9	0. 881 8	0. 803 3

表 4 毛竹林土壤酶活性方差分析

Table 4 ANOVA of soil enzyme activities in *P. edulis* forests

土层 Layers /cm	类型 Types	脲酶 Urease /(mg/g)	蛋白酶 Protease /(mg/g)	蔗糖酶 Invertase /(mg/g)	过氧化氢酶 Catalase /(mL/g)	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase /(mg/g)
0 ~ 20	I	0. 013	0. 019	1. 80	0. 48	0. 98
	II	0. 013	0. 022	1. 78	0. 55	0. 99
	<i>F</i>	0. 001 8	2. 682 5	0. 005 6	0. 871 0	0. 000 1
	<i>P</i>	0. 968 4	0. 176 8	0. 943 9	0. 403 5	0. 994 4
20 ~ 40	I	0. 019	0. 020	2. 33	0. 35	0. 71
	II	0. 019	0. 023	1. 83	0. 24	1. 60
	<i>F</i>	0. 006 8	0. 581 3	0. 632 4	24. 142 9	10. 154 5
	<i>P</i>	0. 938 5	0. 488 3	0. 471 0	0. 008 0***	0. 033 3**
40 ~ 60	I	0. 014	0. 019	2. 29	0. 42	0. 64
	II	0. 012	0. 022	2. 13	0. 28	1. 58
	<i>F</i>	0. 061 9	3. 620 2	0. 104 4	15. 210 5	1. 264 7
	<i>P</i>	0. 815 7	0. 129 8	0. 762 8	0. 017 5**	0. 323 7

多酚氧化酶与土壤腐殖质的形成有关,竹杉混交林不同土层多酚氧化酶活性均高于毛竹纯林,尤以 20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm 土层较明显,分别高出 55. 63% 和 59. 45%。

3. 4 土壤质量综合评价

选择容重、自然含水率、最大持水量、最小持水量、毛管持水量、非毛管孔隙、毛管孔隙、总孔隙度 8 个土壤物理指标,土壤有机质、全氮、水解氮、全磷、有效磷、全钾和有效钾 7 个土壤化学指标,细菌、真菌、放线菌数量以及脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和多酚氧化酶活性 8 个土壤生物学指标,构建土壤质量综合评价的数据集,对土壤容重取倒数进行正相关处理后,通过灰色关联分析,得到毛竹纯林、竹杉混交林土壤质量的关联度值分别为 0. 623 2 和 0. 710 1(图 4),表明竹杉混交林土壤质量优于毛竹

纯林。

4 结论与讨论

湘中丘陵区毛竹纯林、竹杉混交林 0 ~ 60 cm 土

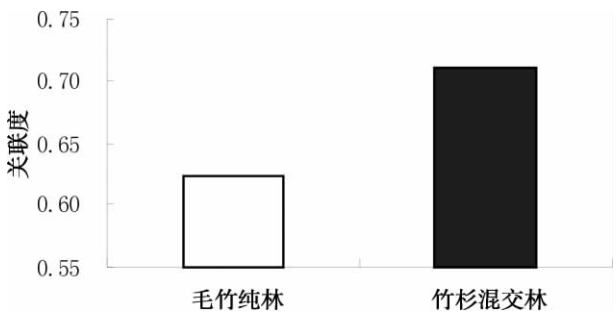


图 4 土壤质量灰色关联度

Fig. 4 The gray incidence degrees of soil qualities

层土壤容重为 $1.021 \sim 1.383 \text{ g/cm}^3$, 自然含水率、最大持水量、最小持水量和毛管持水量分别为 $23.56\% \sim 34.55\%$ 、 $41.44\% \sim 65.75\%$ 、 $31.13\% \sim 46.28\%$ 和 $33.17\% \sim 50.53\%$, 毛管孔隙、非毛管孔隙和总孔隙度分别为 $42.90\% \sim 49.27\%$ 、 $10.37\% \sim 14.82\%$ 和 $55.00\% \sim 64.09\%$ 。土壤有机质、全氮、水解氮、全磷、有效磷、全钾和有效钾含量为 $9.88 \sim 32.52 \text{ g/kg}$ 、 $0.68 \sim 1.41 \text{ g/kg}$ 、 $0.04 \sim 0.18 \text{ g/kg}$ 、 $0.28 \sim 0.46 \text{ g/kg}$ 、 $0.15 \sim 1.67 \text{ mg/kg}$ 、 $18.66 \sim 28.14 \text{ g/kg}$ 和 $34.41 \sim 74.00 \text{ mg/kg}$ 。细菌、真菌、放线菌数量分别为 $47.61 \times 10^6 \text{ cfu/g}$ 、 $108.62 \times 10^6 \text{ cfu/g}$ 、 $8.44 \times 10^6 \text{ cfu/g}$ 和 $10.96 \times 10^6 \text{ cfu/g}$ 。脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、过氧化氢酶和多酚氧化酶活性分别为 $0.012 \sim 0.019 \text{ mg/g}$ 、 $0.019 \sim 0.023 \text{ mg/g}$ 、 $1.78 \sim 2.33 \text{ mg/g}$ 、 $0.24 \sim 0.55 \text{ mL/g}$ 和 $0.64 \sim 1.60 \text{ mg/g}$ 。

从森林树种组成而言,混交较纯林更有利于保育土壤,维持林地长期生产力^[12-13]。与毛竹纯林相比,竹杉混交林土壤容重降低 $1.04\% \sim 9.41\%$, $0 \sim 60 \text{ cm}$ 土层最大持水量和毛管持水量高 4.17% 、 0.99% , 非毛管孔隙增加 9.16% ; 土壤有机质, 全氮, 水解氮, 有效磷以及有效钾含量比毛竹纯林分别高 $9.13\% \sim 51.85\%$ 、 $1.42\% \sim 41.35\%$ 、 $37.50\% \sim 50.00\%$ 、 $45.78\% \sim 81.71\%$ 、 $24.51\% \sim 27.43\%$; $0 \sim 20 \text{ cm}$ 土层土壤细菌、放线菌数量多 56.17% 、 30.77% , 过氧化氢酶活性增加 12.73% , 多酚氧化酶活性增加 $55.63\% \sim 59.45\%$ 。

灰色关联分析表明,竹杉混交林土壤质量优于毛竹纯林,表明湘中丘陵区竹杉混交有利于降低土壤容重,改善土壤孔隙状况,容蓄水能力增加,提高土壤养分含量,增加微生物数量与酶活性,改善竹林土壤质量。因此,在毛竹林生长经营过程中,应适当混交,提高林分稳定性和立地生产力^[14]。

参考文献(References)

- [1] Qi Lianghua, Liu Guanglu, Fan Shaohui, et al. Effects of different tending measures on carbon density, storage, and allocation pattern of *Phyllostachy edulis* forests in western Fujian province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(8): 1482-1488 [漆良华, 刘广路, 范少辉, 等. 不同抚育措施对闽西毛竹林碳密度、碳储量与碳格局的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1482-1488]
- [2] Lou Yiping, Wu Liangru, Shao Dafang, et al. Effect of long term management of pure *Phyllostachys pubescens* stands on soil fertility [J]. Forest Research, 1997, 10(2): 125-129 [楼一平, 吴良如, 邵大方, 等. 毛竹纯林长期经营对林地土壤肥力的影响[J]. 林业科学研究, 1997, 10(2): 125-129]
- [3] Lou Yiping, Sheng Weitong, Xiao Jianghua. Study of long term site productivity of managed Moso bamboo forests in China: a review and perspective [J]. Forest Research, 1999, 12(2): 172-178 [楼一平, 盛炜彤, 萧江华. 我国毛竹林长期立地生产力研究问题的评述[J]. 林业科学研究, 1999, 12(2): 172-178]
- [4] Xu Qiufang, Xu Jianming, Jiang Peikun. Study on organic carbon pool of soil under intensive management bamboo forest [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(4): 15-17 [徐秋芳, 徐建明, 姜培坤. 集约经营毛竹林土壤活性有机碳库研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 15-17]
- [5] Chen Shuanglin, Yang Weizhen. The analysis on the reasons of land capabilities declining in Chinese *Phyllostachy edulis* forests [J]. China Forestry Science and Technology, 2002, 16(5): 3-6 [陈双林, 杨伟真. 我国毛竹人工林地衰退成因分析[J]. 林业科技开发, 2002, 16(5): 3-6]
- [6] Zheng Chengyang, He Jianyuan, Luo Chunmao, et al. Changes of species diversity at different cultivation intensities of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest [J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(6): 1-6 [郑成洋, 何建源, 罗春茂, 等. 不同经营强度条件下毛竹林植物多样性的变化[J]. 生态学杂志, 2003, 22(6): 1-6]
- [7] Ai Wensheng, Peng Xiaolan, Li Dianjun, et al. Research on eco-geography of Moso bamboo in Hunan [J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2009, 36(2): 1-6 [艾文胜, 彭小兰, 李典军, 等. 湖南毛竹生态地理研究[J]. 湖南林业科技, 2009, 36(2): 1-6]
- [8] Nanjing Soil Institute of Chinese Academy of Sciences. A handbook to the analysis for soil physical and chemical properties [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978 [中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978]
- [9] Forestry Profession Standard of the People's Republic of China. A handbook to analysis methods for forest soils [S]. Beijing: State Forestry Administration issued, 1999: 106-107 [中华人民共和国林业行业标准. 森林土壤分析方法[S]. 国家林业局, 1999: 106-107]
- [10] Wang Yuerong, Zhou Jinxing, Zhou Zhixiang, et al. Soil physical properties and gray incidence analysis of different land use patterns under converting polders back into wetlands in the Dongting Lake Region [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2010, 29(6): 306-311 [王月容, 周金星, 周志翔, 等. 不同土地利用方式下洞庭湖退田还湖区土壤物理特性[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(6): 306-311]
- [11] Yuan Jiazui. The theory of gray system and its application [M]. Beijing: Science Press, 1991 [袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1991]
- [12] Sheng Weitong, Fan Shaohui. Maintaining mechanisms of long term productivities in Chinese fir Plantations [M]. Beijing: Science Press, 2005 [盛炜彤, 范少辉. 杉木人工林长期生产力保持机制研究[M]. 北京: 科学出版社, 2005]
- [13] Liao Jun, Zhang Weidong, Xue Jianhui, et al. An integrated eval-

uation of mixed type of Moso Bamboo and broad-leaved tree mixed forest [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis ,2002 ,24 (3): 346 - 349 [廖军,张卫栋,薛建辉,等. 竹阔混交林混交类型的综合评价[J]. 江西农业大学学报,2002,24(3): 346 - 349]

[14] Zheng Yushan ,Hong Wei ,Chen Yongfan ,et al. Decision analysis

of management pattern for mixed forest of Chinese fir and *Phyllostachys heterocycla* cv *pubescens* [J]. Journal of Fujian College of Forestry ,2000 ,20(2): 105 - 109 [郑郁善,洪伟,陈永芳,等. 毛竹杉木混交林经营模式决策分析[J]. 福建林学院学报,2000,20(2): 105 - 109]

Effects of *Phyllostachy edulis* and *Cunninghamia lanceolata* Mixed Forests on Soil Qualities in the Hilly Region , Central Hunan

QI Lianghua¹ , FAN Shaohui¹ , AI Wensheng² , LIU Guanglu¹ , MENG Yong² ,
DU Manyi¹ , TANG Xiaolu¹

(1. International Center for Bamboo and Rattan , Beijing 100102 , China;

2. Hunan Academy of Forestry , Changsha 410004 , Hunan , China)

Abstract: Compared with *Phyllostachy edulis* pure forests , soil qualities of *P. edulis* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forests were studied in the hilly region , central Hunan Province. The results showed that soil bulk densities had decreased by 1.04% ~ 9.41% in *P. edulis* and *C. lanceolata* mixed forests , and maximum moisture capacities , capillary water capacities and non-capillary porosities in the soil layers of 0 ~ 60 cm had increased by 4.17% , 0.99% and 9.16% respectively. For soil nutrient pools , soil organic matter , total N , available N , available P and available K were higher than 9.13% ~ 51.85% , 1.42% ~ 41.35% , 37.50% ~ 50.00% , 45.78% ~ 81.71% and 24.51% ~ 27.43% in *P. edulis* pure forests. In the soil layers of 0 ~ 20 cm , moreover , bacteria numbers , fungus numbers and catalase activities were more than 56.17% , 30.77% and 12.73% in *P. edulis* pure forests , and polyphenol oxidase activities increased by 55.63% ~ 59.45% . The gray incidence degrees of soil physical properties were ordered *P. edulis* pure forests and *P. edulis* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forests were 0.623 2 and 0.710 1 respectively , proofing that the soil qualities were better in the latter than in the former.

Key words: *Phyllostachy edulis*; *P. edulis* and *Cunninghamia lanceolata* mixed forest; soil quality; gray incidence analysis; central Hunan Province