

文章编号: 1008-2786-(2010)6-704-08

不同劈草时间毛竹林生产力及土壤变化特征

刘广路¹, 范少辉^{1*}, 官凤英¹, 杜满义¹, 陈孝丑²

(1 国际竹藤网络中心 竹藤科学与技术重点实验室 北京 100102; 2 福建省洋口国有林场, 福建 福州 350003)

摘要: 2008—09在福建洋口国有林场, 应用野外取样调查及实验室分析相结合的方法对未劈草(I)、劈草10^a(II)和劈草30^a(III)的毛竹林生产力及土壤变化特征进行研究。结果表明: 劈草可以显著提高毛竹林的生产力, 但是随着劈草时间的延长毛竹林增产效果降低。三种林分生产力排列顺序为II>III>I, 分别为44 199.57±395.40 43 508.04±346.12和35 691.31±394.68 kg/(hm²·a)。劈草时间不同, 不同器官的生产力分配也不同, 地下部分生产力所占比例的排列顺序为II>III>I, 分别为24.87%、24.72%和24.31%。劈草经营有降低毛竹林地上部分生产力, 增加地下部分生产力的趋势。土壤综合性质随着劈草时间的延长呈降低趋势, 三种林分平均得分的排列顺序为I>III>II, 分别为0.639 0.432 0和0.355 8。

关键词: 毛竹林; 劈草时间; 生产力; 土壤变化特征

中图分类号: S714 S757

文献标识码: A

毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 林是我国重要的竹林资源类型, 占全国竹林面积的70%左右。近年来, 随着市场对竹材和竹林副产品需求的增加, 竹林效益得到了显著提高。竹林在解决农民增收、农业增长、农村稳定方面发挥了重要的作用。劈草作业由于资金投入少, 操作简便, 且有较明显的增产效果, 在我国竹林主产区得到了广泛的应用。劈草可以提高新竹的产量, 但其效果低于施肥、深翻的处理方式^[1]。研究表明集约经营毛竹林虽然可以显著提高毛竹林生产力, 但是集约经营会引起水土冲刷和养分流失^[2,3], 而在竹林中长期施用化学氮肥可以造成土壤酸化、“氮饱和”、水系富营养等的负面生态影响^[4,5]。关于劈草对毛竹林地的影响通常出现在与其他经营措施对比研究中, 认为劈草毛竹林土壤有机质含量较高, 且其成分较稳定^[6,7], 但缺乏对长期劈草经营对毛竹林生产力及土壤环境特征影响的系统研究。探索长期劈草经营对毛竹林生产力和土壤环境特征的影响可能为制定科学合理的毛竹

林经营措施提供依据。本文以我国毛竹之乡“福建省顺昌县”不同劈草时间的毛竹林为研究对象, 对其在劈草时间梯度上的生产力和土壤特征进行了研究, 以期能够揭示长期劈草对毛竹生产力及土壤环境特征的影响, 为毛竹林生态经营、长期生产力保持提供科学依据。

1 研究区概况

试验地设在福建省顺昌县洋口国有林场, 地处福建省西北部, 地理坐标为117°30'~118°14'E 26°39'~27°12'N, 属亚热带海洋性季风气候, 年平均气温18.7℃, 最高温40.3℃, 最低温-6.8℃, ≥10℃的年有效积温5 388~5 659℃, 无霜期305 d, 雨日164 d, 年平均降雨量1 568 mm, 日照1 740.7 h。研究地海拔240~400 m, 土壤类型为红壤或山地红壤。常见的植被群落有秃杉 (*Taiwania flousiana*) 人工林、毛竹 (*P. pubescens*) 人工林、杉木 (*Cunazing*

收稿日期 (Received date): 2010-03-14 改回日期 (Accepted): 2010-07-21

基金项目 (Foundation item): 国家“十一五”科技支撑 (2006BAD19B0104 2006BAD19B0302 2006BAD19B0103) 资助。 [Supported by "Eleventh Five-Year" national Scientific and technological support projects No. 2006BAD19B0104, 2006BAD19B0302, 2006BAD19B0103.]

作者简介 (Biography): 刘广路 (1975-) 男, 河北承德人, 博士, 主要从事竹林培育和竹林生态方面的研究。 [Liu Guanglu (1975-), male Ph.D. born in Chengde City of Hebei Province majorly on the bamboo cultivation and ecology.] E-mail: liuguanglu@icbr.ac.cn 电话: 13426465199.

* 通讯作者, E-mail: fmsf@icbr.ac.cn

hanzia lanceolata)人工林、木荷 (Schima superba)人工林、马褂木 (Liriodendron chinense)人工林、马尾松 (Pinus massoniana)人工林、杉木—毛竹混交林、竹阔混交林 (Bamboo and Broadleaved mixed forest)等。

2 样地设置及研究方法

样地设置

2008—09 根据洋口国有林场的小班经营档案和资源分布情况,以无经营毛竹林 (I)、劈草 10^a 毛竹林 (II)、劈草 30^a毛竹林 (III)为研究对象。样地规格为 20 m×20 m,每种类型重复 10 次,共设置样地 30 块。样地均分布在南山林区南坡上,坡度 15°~30°,土壤类型为红壤或山地红壤,土层深 70~80 cm,土壤肥沃,腐殖质层 3~8 cm。三种类型林中,灌木较少,草本层盖度 0.6~0.7 间。

研究方法

2.2.1 生物量测定

1. 毛竹生物量采用收获法 根据标准地调查资料,分别计算出未劈草、劈草 10^a和劈草 30^a林地中 1~6^a生毛竹的平均立竹,不同年龄毛竹各取 4 株作为标准竹砍伐,每种类型毛竹林采伐毛竹 24 根,共采伐毛竹 72 根。毛竹伐倒后,按秆、枝、叶、根、箨、鞭、鞭根分别称取鲜重,然后各取一部分带回实验室测定含水率。生物量公式为

$$W_1 = \sum_{i=1}^n n_i w_i$$

式中 W_1 为毛竹的生物量, n_i 为 i 龄竹株数, w_i 为 i 龄标准竹生物量, 为竹龄。

2. 竹鞭生物量 (W_2) 的测定采用挖掘法 沿样地对角线设置 1×1 m² 的小样方 5 个,每 20 cm 为一层,逐层挖出鞭和鞭根,洗净泥土后滤干称鲜质量,取一部分带回实验室测定样品含水率。

2.2.2 生产力的测定

根据标准竹所得毛竹生物量,根据毛竹年龄可以推算出毛竹不同器官的生产力,公式为: $\Delta W_1 = \sum W_1/a$; 式中 ΔW_1 为毛竹的生产力, a 为竹龄。其中,当年生毛竹竹 5 月展叶,次年 5 月换叶;其他竹龄毛竹叶每 2 换叶一次。

2.2.3 样品采集

将伐倒的毛竹按竹叶、竹枝、竹秆、竹根、竹箨、竹鞭、鞭根各取一部分带回实验室,测定样品的干质量。

m —层在 0~60 cm 分层取样,测定土壤容重、孔隙度及持水量。再挖 5 个土壤剖面,分 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 从下至上分层取土,带回实验室测定土壤化学性质及土壤酶活性。

2.2.4 样品分析

土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量、田间持水量等物理性质的测定采用环刀法 (LY/T 1215—1999)。

土壤渗透性能采用环刀法测定,环刀规格为 20 cm²×5 cm (LY/T 1218—1999)。

土壤 pH 值 (水浸提—酸度计法 LY/T 1239—1999); 土壤有机质 (重铬酸钾氧化—外加加热法 LY/T 1237—1999); 全氮 (硫酸—混合加速剂消煮—扩散法 LY/T 1228—1999); 全磷 (氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法 LY/T 1232—1999); 全钾 (氢氧化钠熔融—火焰光度计法 LY/T 1234—1999); 水解氮 (碱解扩散法 LY/T 1229—1999); 有效磷 (NH₄F—HCl 浸提—钼锑抗比色法 LY/T 1233—1999); 速效钾 (CH₃COONH₄ 浸提—火焰光度法 LY/T 1236—1999)。(测定方法为中华人民共和国林业行业标准《森林土壤分析方法》中所规定的方法。)

土壤酶活性测定采用周礼凯主编的《土壤酶学》中推荐的方法^[8],过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法,过氧化氢酶用每克土所用的 0.1 N KMnO₄ 的毫升数表示,蔗糖酶采用 Na₂S₂O₃ 滴定法,蔗糖酶用每克土所用的 0.1 N Na₂S₂O₃ 的毫升数表示,蛋白酶采用茚三酮比色法,脲酶采用苯酚钠比色法,磷酸酶采用苯磷酸二钠比色法测定。

土壤性质综合评价方法

2.3.1 土壤因子隶属度值与权重、负荷量的计算

土壤性质是土壤物理性质、土壤化学性质、土壤酶活性和土壤微生物等指标的综合反映。本研究根据各单项肥力指标的代表性和对植被影响的主导性,选择 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 土壤各肥力因子的数据,建立不同竹林土壤性质综合评价指标体系。

由于土壤性质因子变化具有连续性,故各评价指标采用连续性质的隶属度函数,并从主成分因子负荷量值的正负性,确定隶属度函数分布的升降性,这与各因子对植被的效应相符合。以往研究普遍采用专家打分来确定各单项土壤性质指标的权重系数。为避免人为影响,本文运用 SPSS 软件对各处理土壤性质因子的隶属度值进行因子分析,通过计

算公因子方差确定权重系数。

2.3.2 土壤综合指数 (FI)

根据模糊数学中的加乘法原则,求得土壤综合评价指标 FI

$$FI = \sum W_i \times F(X_i)$$

式中 W_i 为各土壤因子的权重向量; $F(X_i)$ 为表示各土壤因子的隶属度值。

数据处理与分析

数据处理使用 SPSS 13.0 统计分析和 Excel 2003 中的相关程序。

3 结果与分析

不同劈草时间毛竹林生产力分布格局

毛竹林的生产力随着劈草时间的延长呈现先上升后下降的趋势,排列顺序为 II > III > I 分别为 $44\ 199.57 \pm 395.40\ \text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 、 $43\ 508.04 \pm 346.12\ \text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 和 $35\ 691.31 \pm 394.68\ \text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ (表 1), 其中林分 II 和 III 的生产力极显著高于林分 I 的生产力, 但 II 和 III 之间的差异不明显。劈草在短期内明显提高了毛竹林的生产力, 其后生

产力变化幅度虽未达到显著水平, 但有下降的趋势。劈草时间不同, 不同器官的生产力分配也不同, 其中竹秆年生长力所占比例排列顺序为 III > I > II, 分别为 55.92%、55.63% 和 54.96%; 竹根和竹叶年生产力所占比例的排列顺序为 II > III > I, 可见短期劈草毛竹林叶和根的生产力分配比例最大, 林分活力较强, 生产力也最大, 但是竹秆年生产力所占比例下降, 可能降低毛竹材的可用性。时间梯度上毛竹林地下部分生产力所占份额的排列顺序为 II > III > I, 分别为 24.87%、24.72% 和 24.31%, 反映了劈草经营有降低毛竹林地上部分生产力, 增加地下部分生产力的趋势。

土壤物理性质

3.2.1 土壤容重

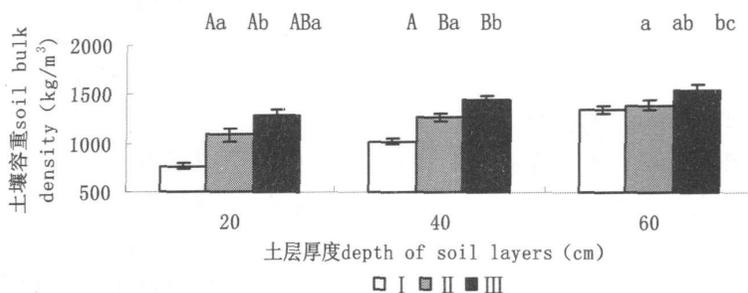
三种类型林分的容重均随着土层深度的增加而增加 (图 1) 反映了土壤容重在土壤中的空间分布规律。三种林分 60 cm 土层平均容重的排列顺序为 III > II > I, 土壤容重随着劈草时间的延长而增加。其中在 0~20 cm 土层范围内, 林分 I 与林分 II 的差异达到显著水平, 与 II 的差异达到极显著水平, 林分 II 与间 III 间的也达到了达到极显著水平; 20~40 cm

表 1 劈草毛竹林生产力分布 *

Table 1 The productivity distribution of bamboo forest with herb chopping

| 林分类型 | 经营时间 (a) | 胸径 (cm) | 株数 (株/hm ²) | 竹秆 | 竹根 | 竹叶 | 竹枝 | 竹篾 | 竹鞭 | 鞭根 | 合计 |
|------|----------|---------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| I | 0 | 9.73 ± 0.32A | 2575.00 ± 87.20A | 19856.76 ± 3816.41A | 3157.19 ± 581.05A | 1514.65 ± 278.21A | 3058.77 ± 579.96A | 2578.38 ± 486.31A ^a | 2119.71 ± 407.40A ^a | 821.12 ± 157.82A ^a | 35691.31 ± 394.68A |
| II | 10 | 11.27 ± 0.32B | 2762.50 ± 97.09A | 24292.01 ± 166.67B | 4093.96 ± 44.68B | 2458.82 ± 8.04B | 3684.49 ± 41.32B | 3298.81 ± 12.59AB ^b | 2593.17 ± 17.79AB ^b | 1004.52 ± 6.89AB ^b | 44199.57 ± 395.40B |
| III | 30 | 10.94 ± 0.13B | 2637.50 ± 113.42A | 24327.63 ± 132.64B | 3936.05 ± 36.95B | 1992.63 ± 3.47AB | 3782.15 ± 29.25B | 3218.17 ± 10.62B | 2596.97 ± 14.16B | 1006.00 ± 5.48B | 43508.04 ± 346.12B |

* 单位: $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 表中字母相同表示差异不显著, 其中大写字母 $P < 0.01$, 小写字母为 $P < 0.05$ 下同。



图中字母相同表示差异不显著, 其中大写字母 $P < 0.01$ 小写字母为 $P < 0.05$ 下同。

图 1 不同劈草时间林地土壤容重

Fig. 1. The soil bulk density of bamboo stand with different herb chopping time

范围内, 林分 I 与 II、I 与 III 的差异达到极显著水平, II 与 III 的差异达到了显著水平; 在 40~60 cm 土层范围内, 三种林分土壤容重较为接近, 但是林分 I 与 III、II 与 III 的差异也达到了显著水平, 可见劈草经营会显著提高表层土壤的容重。在 40~60 cm 土层范围内, 林分 I 和 II 的差异不明显, 说明劈草对毛竹林地土壤容重的影响首先表现在表层土壤上, 但是随着劈草时间的进一步延长, 深层土壤的容重也受到劈草经营的显著影响。

3.2.2 土壤孔隙及持水能力特征

劈草时间不同, 土壤孔隙度的排列顺序也不同(表 2), 非毛管孔隙度、总孔隙度、最大持水量的排列顺序为 I > II > III, 毛管孔隙度、毛管持水量、最小持水量的排列顺序为 II > I > III。其中非毛管孔隙度间的差异达到极显著水平。劈草经营使土壤孔隙度降低, 土壤贮藏和调节水分的能力下降。非毛管孔隙与渗透性密切相关, 非毛管孔隙度的显著降低, 可能会对土壤的渗透性造成不利影响。

3.2.3 土壤的渗透性能

劈草时间不同的林地土壤渗透性指标的值存在较大差异, 但是三种林分渗透性指标均随着土壤深度的增加而降低(图 2), 可能反应土壤本身渗透性的变化规律。三种林分中, 初渗率、稳渗率、平均渗透速率和 60 min 渗透总量的排列顺序均为 I > II > III。随着劈草时间的延长, 土壤的渗透性能逐渐降低。随着劈草作业的进行, 毛竹林生产力升高, 在伐

竹挖笋过程中, 对土壤的踩踏强度增强, 土壤容重增高, 非毛管孔隙度降低, 土壤渗透性能下降。

土壤肥力特征

3.3.1 有机质

不同劈草时间毛竹林土壤有机质含量的排列顺序为 I > III > II, 分别为 185.27 ± 12.18 、 147.02 ± 8.69 和 121.20 ± 1.06 g/kg(图 3)。劈草经营会降低土壤有机质含量, 且达到显著或极显著水平。三种林分有机质含量均随着土壤深度的增加而降低。在 0~20 cm 土层范围内, 土壤有机质的排列顺序为 I > II > III; 20~60 cm 土层中, 有机质含量的排列顺序为 III > I > II, 其差异达到显著或极显著水平, 随着劈草时间的延长, 表层土壤有机质呈显著下降, 深层土壤有先下降后上升的趋势。劈草经营显著的促进了表层土壤有机质的分解, 有机质含量的降低可能对林地长期生产力维持产生不利的影响。

3.3.2 土壤主要肥力指标

不同经营时间毛竹林土壤全量和速效养分的变化规律不同(表 3)。全氮、水解氮、有效磷的排列顺序为 I > III > II, 毛竹林地土壤全氮、水解氮、有效磷的含量随着劈草作业迅速下降, 其后水解氮和速效磷的含量呈上升趋势。全磷的排列顺序为 III > II > I, 全钾的排列顺序为 II > III > I, 速效钾的排列顺序为 II > I > III, 全钾、全磷和速效钾的含量随着劈草作业的进行有升高的趋势, 其中劈草 30 d 后速效钾的含量低于未劈草毛竹林速效钾含量。

表 2 劈草时间梯度上的土壤物理性质特征

Table 2 The characteristics of physical properties in bamboo forest with herb chopping time

| 林分类型 | 土层深度 (cm) | 非毛管孔隙 (%) | 毛管孔隙 (%) | 总孔隙度 (%) | 最大持水量 (mm) | 毛管持水量 (mm) | 最小持水量 (mm) |
|------|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| I | 20 | 15.70 ± 1.71 | 44.30 ± 2.46 | 60.00 ± 1.33 | 120.00 ± 2.66 | 88.60 ± 4.93 | 85.40 ± 3.90 |
| | 40 | 20.53 ± 2.39 | 43.10 ± 3.19 | 63.63 ± 4.10 | 127.27 ± 3.41 | 86.20 ± 6.38 | 82.93 ± 5.47 |
| | 60 | 8.43 ± 1.43 | 43.63 ± 4.00 | 52.07 ± 4.57 | 104.13 ± 8.20 | 87.27 ± 8.01 | 84.93 ± 7.59 |
| | 平均 | 14.89 ± 0.73 A | 43.68 ± 3.63 A | 58.57 ± 3.43 A | 117.13 ± 4.40 A | 87.36 ± 6.44 A | 84.42 ± 5.65 A |
| II | 20 | 7.80 ± 2.04 | 46.80 ± 5.79 | 54.60 ± 5.78 | 109.20 ± 11.56 | 93.60 ± 11.59 | 81.47 ± 12.16 |
| | 40 | 6.07 ± 1.23 | 48.52 ± 5.45 | 54.58 ± 5.09 | 109.17 ± 10.17 | 97.03 ± 10.89 | 91.97 ± 11.27 |
| | 60 | 5.07 ± 1.12 | 47.05 ± 5.26 | 52.12 ± 5.09 | 104.23 ± 10.18 | 94.10 ± 10.51 | 87.83 ± 10.41 |
| | 平均 | 6.31 ± 1.03 B | 47.46 ± 4.86 A | 53.77 ± 3.11 A | 107.53 ± 5.64 A | 94.91 ± 10.08 A | 87.09 ± 8.86 A |
| III | 20 | 8.27 ± 1.55 | 44.81 ± 8.04 | 53.08 ± 6.78 | 106.15 ± 13.55 | 89.62 ± 16.08 | 83.57 ± 15.83 |
| | 40 | 3.45 ± 0.37 | 42.18 ± 7.09 | 45.63 ± 7.01 | 91.25 ± 14.02 | 84.35 ± 14.17 | 75.45 ± 14.94 |
| | 60 | 5.40 ± 0.74 | 36.98 ± 4.21 | 42.38 ± 4.19 | 84.77 ± 8.37 | 73.97 ± 8.42 | 65.50 ± 9.82 |
| | 平均 | 6.04 ± 1.77 B | 42.49 ± 2.50 A | 48.54 ± 1.08 A | 94.06 ± 8.89 A | 82.65 ± 10.87 A | 74.84 ± 9.53 A |

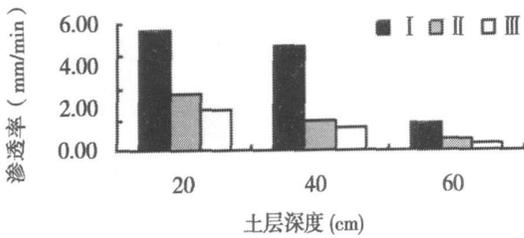


图 2a 土壤初渗率

Fig. 2a Initial infiltration rate of soil

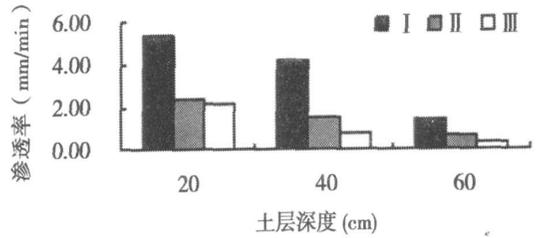


图 2b 土壤稳渗率

Fig. 2b Stable infiltration rate of soil

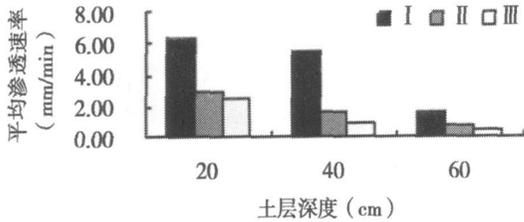


图 2c 土壤平均渗透速率

Fig. 2c Average infiltration rate of soil

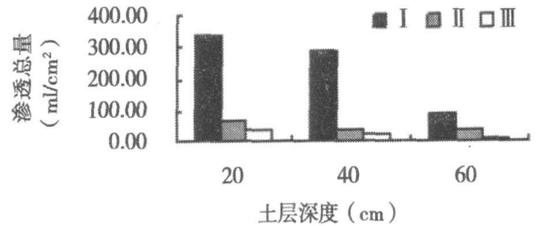


图 2d 土壤渗透总量

Fig. 2d Accumulative infiltration of soil

图 2 土壤渗透特性

Fig. 2 The infiltration characteristics of soil in bamboo stand with herb chopping

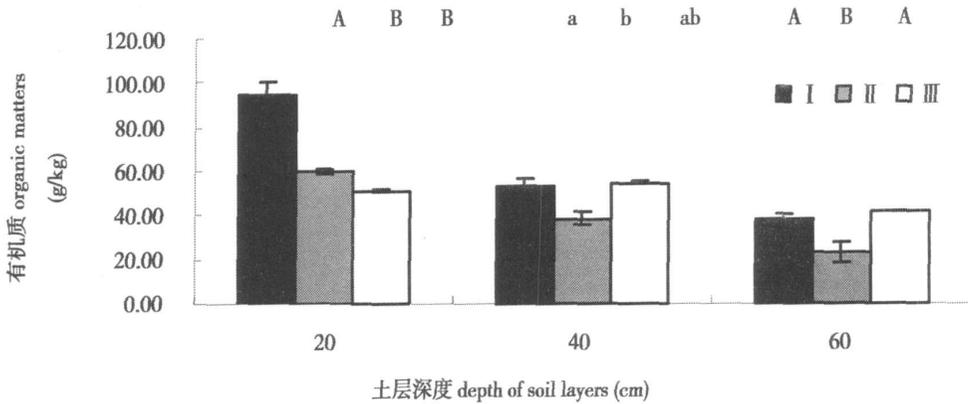


图 3 不同劈草时间土壤有机质的变化

Fig. 3 The organic matters of soil in the bamboo stand with different herb chopping time

3.3.3 土壤酶活性

劈草时间不同, 过氧化氢酶、蔗糖酶、蛋白酶和磷酸酶 60 cm 土层平均值的排列顺序均为 I > III > II, 其中林分 II 和 II 过氧化氢酶的活性显著低于林分 I 的活性, 其他类型土壤酶活性差异未达到显著水平 (表 4) 劈草经营在短期内会降低酶的活性, 随着劈草时间的进一步延长, 酶的活性有上升的趋势, 但是劈草时间 > 30 年毛竹林地土壤酶活性仍然明显低于未经营毛竹林地。不同劈草时间、土层深度的酶活性变化规律不同, 林分 I 中, 过氧化氢酶活性的排列顺序为 40 cm > 60 cm > 20 cm 林分 II 和 III 中的

排列顺序为 20 cm > 60 cm > 40 cm, 劈草经营不仅影响了林地过氧化氢酶活性, 还影响了过氧化氢酶在土层中的空间分布。蔗糖酶、蛋白酶在三种林分中, 随着经营时间的延长呈现先上升后下降的趋势, 但是其在不同土层的分布顺序为 20 cm > 40 cm > 60 cm, 说明劈草经营对其酶活性值的影响较大, 并未影响其相对的空间分布。土壤脲酶和磷酸酶活性在不同类型林分中表现出随着土壤深度的增加上升的趋势, 这可能和酶适生的环境的有关。

土壤性质综合评价

对不同劈草时间毛竹林土壤指标进行综合分析

表 3 劈草时间梯度上的土壤主要养分元素特征

Table 3 The characteristics of main nutrients in bamboo forest with herb chopping time

| 林分类型 | 土层深 (cm) | 全氮 (g/kg) | 全磷 (g/kg) | 全钾 (g/kg) | 水解氮 (g/kg) | 有效磷 (mg/kg) | 速效钾 (mg/kg) |
|------|----------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| I | 20 | 2.13 ± 0.10 A | 0.10 ± 0.05 a | 16.07 ± 0.63 a | 0.19 ± 0.03 a | 1.00 ± 0.11 a | 16.07 ± 2.85 a |
| II | 20 | 0.78 ± 0.08 B | 0.15 ± 0.01 a | 26.47 ± 1.30 a | 0.13 ± 0.00 b | 0.48 ± 0.01 a | 26.47 ± 3.16 a |
| III | 20 | 1.08 ± 0.24 B | 0.18 ± 0.01 a | 18.00 ± 0.87 a | 0.16 ± 0.02 b | 0.53 ± 0.05 a | 18.00 ± 1.15 a |
| I | 40 | 0.85 ± 0.04 a | 0.15 ± 0.01 a | 15.25 ± 0.49 a | 0.16 ± 0.01 A | 0.88 ± 0.01 Aa | 15.25 ± 3.32 A |
| II | 40 | 0.51 ± 0.03 a | 0.10 ± 0.01 b | 20.65 ± 1.64 a | 0.10 ± 0.00 B | 0.55 ± 0.06 Bb | 20.65 ± 1.53 B |
| III | 40 | 0.41 ± 0.21 b | 0.16 ± 0.02 a | 16.78 ± 0.45 a | 0.12 ± 0.00 B | 1.23 ± 0.12 Aa | 16.78 ± 1.28 C |
| I | 60 | 0.90 ± 0.13 a | 0.15 ± 0.01 a | 13.46 ± 0.28 A | 0.13 ± 0.00 Aa | 0.56 ± 0.03 a | 13.46 ± 1.04 a |
| II | 60 | 0.59 ± 0.21 a | 0.15 ± 0.02 a | 20.38 ± 1.51 B | 0.08 ± 0.01 B | 0.48 ± 0.00 a | 20.38 ± 1.95 a |
| III | 60 | 0.68 ± 0.00 a | 0.16 ± 0.00 a | 15.64 ± 1.29 B | 0.14 ± 0.00 Ab | 0.71 ± 0.00 a | 15.64 ± 1.94 ab |
| I | 平均 | 1.29 ± 0.09 | 0.13 ± 0.02 | 14.93 ± 0.47 | 0.16 ± 0.01 | 0.82 ± 0.05 | 14.93 ± 2.40 |
| II | 平均 | 0.63 ± 0.11 | 0.14 ± 0.01 | 22.50 ± 1.48 | 0.10 ± 0.00 | 0.50 ± 0.03 | 22.50 ± 2.21 |
| III | 平均 | 0.72 ± 0.15 | 0.16 ± 0.01 | 16.81 ± 0.87 | 0.14 ± 0.01 | 0.82 ± 0.06 | 11.41 ± 1.11 |

表 4 劈草时间梯度上的土壤酶活性变化

Table 4 Enzyme activity of soil in the bamboo forest with herb chopping

| 林分类型 | 土层深度 (cm) | 过氧化氢酶 | | 蔗糖酶 | | 蛋白酶 (mg/g) | 脲酶 (mg/g) | 磷酸酶 (mg/g) |
|------|-----------|--|--|---------------|---------------|---------------|-----------|------------|
| | | 0.1NKMo ₄ (m ¹ /g) | 0.1NN ₂ S ₂ O ₃ (m ¹ /g) | | | | | |
| I | 20 | 0.99 ± 0.05 | 1.44 ± 0.02 | 0.17 ± 0.00 | 0.26 ± 0.00 | 1.39 ± 0.10 | | |
| | 40 | 1.64 ± 0.21 | 1.28 ± 0.03 | 0.09 ± 0.00 | 0.27 ± 0.00 | 1.46 ± 0.00 | | |
| | 60 | 1.01 ± 0.02 | 0.87 ± 0.10 | 0.11 ± 0.02 | 0.30 ± 0.00 | 1.44 ± 0.04 | | |
| | 平均 | 1.21 ± 0.09 a | 1.20 ± 0.05 A | 0.12 ± 0.01 A | 0.28 ± 0.00 A | 1.43 ± 0.05 A | | |
| II | 20 | 1.25 ± 0.01 | 1.13 ± 0.07 | 0.11 ± 0.00 | 0.24 ± 0.01 | 1.31 ± 0.01 | | |
| | 40 | 0.60 ± 0.02 | 0.46 ± 0.03 | 0.08 ± 0.01 | 0.26 ± 0.00 | 1.41 ± 0.01 | | |
| | 60 | 0.64 ± 0.14 | 0.60 ± 0.03 | 0.09 ± 0.00 | 0.38 ± 0.02 | 1.20 ± 0.05 | | |
| | 平均 | 0.83 ± 0.06 b | 0.73 ± 0.04 B | 0.09 ± 0.00 A | 0.29 ± 0.01 A | 1.31 ± 0.02 A | | |
| III | 20 | 1.13 ± 0.09 | 1.18 ± 0.01 | 0.12 ± 0.00 | 0.25 ± 0.00 | 1.30 ± 0.09 | | |
| | 40 | 0.47 ± 0.04 | 0.99 ± 0.02 | 0.10 ± 0.00 | 0.26 ± 0.00 | 1.43 ± 0.03 | | |
| | 60 | 1.11 ± 0.16 | 0.58 ± 0.07 | 0.07 ± 0.00 | 0.31 ± 0.03 | 1.40 ± 0.02 | | |
| | 平均 | 0.91 ± 0.10 b | 0.91 ± 0.03 B | 0.10 ± 0.00 A | 0.28 ± 0.01 A | 1.38 ± 0.05 A | | |

表明, 三种林分平均得分的排列顺序为 I > III > II (表 5), 劈草毛竹林土壤质量在劈草后发生了明显的下降, 但是随着劈草时间的进一步延长, 土壤性质得分有上升的趋势, 但是劈草 30 a 毛竹林土壤性质得分仍明显低于未经毛竹林土壤性质得分。不同深度土层综合得分受劈草作业的影响程度不一致, 在 0~40 cm 土层综合得分下降幅度 > 40~60 cm 土层土壤性质得分, 反映了劈草作业对表层土壤的影响更为显著。

表 5 土壤性质综合指标值 (FI)

Table 5 Comprehensive evaluation of soil property (FI)

| 林分类型 | 各层土壤性质得分 | | | 平均得分 |
|------|----------|----------|----------|---------|
| | 0~20 cm | 20~40 cm | 40~60 cm | |
| I | 0.691 5 | 0.592 9 | 0.632 7 | 0.639 0 |
| II | 0.367 0 | 0.280 8 | 0.419 6 | 0.355 8 |
| III | 0.374 7 | 0.428 7 | 0.492 6 | 0.432 0 |

4 结论与讨论

劈草在显著的提高毛竹林生产力的同时,会降低土壤的综合性质。随着劈草时间的延长生产力呈先上升后下降的趋势,与楼一平等研究长时间纯林化经营毛竹林生产力的变化趋势相似^[9]。文中数据表明,随着劈草时间的延长,地上部分生产力有下降趋势。人工经营后人工林生物量空间构型会发生变化^[10],人工经营的毛竹林比天然毛竹林有更高的地上部分生物量比例^[11],与本文的研究结果相似。土壤综合性质变化与生产力变化不同步,呈相反的变化趋势。研究表明对土壤的干扰和踩踏会影响到土壤的物理性质^[12],踩踏强度越高,土壤的容重增加,渗透性能越低^[13-15]。劈草作业本身增加了对林地的踩踏强度;劈草后毛竹林生产力增加,采笋伐竹强度增大,也增加了土壤的踩踏强度,造成了土壤容重增加、非毛管孔隙度、土壤渗透性降低。毛竹林生产力的提高,消耗的养分元素增多,土壤有机质、全氮、全磷、全钾、水解氮、有效磷、速效钾的含量降低。土壤有机质是林木生长的重要能量来源、营养源^[16],土壤有机质降低、养分含量下降、土壤侵蚀加剧,进而导致土壤薄层化和砂化^[17],可能对毛竹林长期生产力的维持产生不利影响。针对长期单一劈草毛竹林地土壤变化情况,在经营中应采取以下措施:1. 采用机械劈草,降低对土壤的踩踏强度;2. 对毛竹林常规经营措施,如劈草、垦复、施肥等手段进行组合、轮替应用,在提高毛竹林的生产力的同时,防止林地土壤的恶化。

参考文献 (References)

- [1] Zhang Yanxuan, Zhang Zhijian, Zhai Tenyu, et al. On the causes of mite pest outbreaks in mono and poly cultured moso bamboo forests [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2004 15(7): 1161 ~ 1165 [张艳璇, 张智强, 斋藤裕, 等. 混交林和纯竹林与毛竹害虫爆发成灾关系研究 [J]. 应用生态学报, 2004 15(7): 1161 ~ 1165]
- [2] Gao Qingji. A study on the water conservation of bamboo forest [J]. Subtropical Soil and Water Conservation 2006 18(2): 39 ~ 40 [高清贵. 浅谈毛竹山的水土保持 [J]. 亚热带水土保持, 2006 18(2): 39 ~ 40]
- [3] Wu Zhidong, Wang Yunzhu. Thinking over present situation and future development of bamboo sector in Anji county [J]. Journal of Bamboo Research 2000 19(4): 76 ~ 79 83 [吴志勇, 王云珠. 安吉竹业发展现状和思路 [J]. 竹子研究汇刊, 2000 19(4): 76 ~ 79, 83]
- [4] Li Weizhong, Ji Wenli, Liu Jun. A study of sustainable forest management technology in Qinling forest area [J]. Journal of Northwest Forestry University 2004 19(4): 184 ~ 188 [李卫忠, 吉文丽, 刘军. 秦岭林区可持续经营理论与技术研究 [J]. 西北林学院学报, 2004 19(4): 184 ~ 188]
- [5] Li Xiuping, Ju Xiaotang, Zhang Lijuan, et al. Effects of different fertilization modes on soil ammonia volatilization and nitrous oxide emission [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2008 19(1): 99 ~ 104 [李鑫, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 不同施肥方式对土壤氨挥发和氧化亚氮排放的影响 [J]. 应用生态学报, 2008 19(1): 99 ~ 104]
- [6] Zhou Guomou, Xu Jianming, Wu Jiasep, et al. Changes in soil active organic carbon with history of intensive management of *Phyllostachys pubescens* forest [J]. Scientia Silvae Sinicae [周国模, 徐建明, 吴家森, 等. 毛竹林集约经营过程中土壤活性有机碳库的演变 [J]. 林业科学, 2006 42(6): 124 ~ 128]
- [7] Xu Qiujiang, 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 21 [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 21]
- [8] Zhou Likai. Soil Enzymology [M]. Beijing: Science Press 1987: 237 ~ 239 [周礼恺. 土壤酶学, 北京: 科学出版社 1987: 237 ~ 239]
- [9] Chen Shuanglin, Yang Weizhen. A review on the cause of Moso forest recession in China [J]. Science and Technology 2002 16(5): 3 ~ 6 [陈双林, 杨伟真. 我国毛竹人工林地力衰退成因分析 [J]. 林业科技开发, 2002 16(5): 3 ~ 6]
- [10] Fan Houbao, Li Yanyan, Su Bingjiang, et al. Allocation pattern of biomass and productivity in the mixed uneven aged stands of *Masson's pine* and hardwood species [J]. Acta Ecologica Sinica 2006 26(8): 2463 ~ 2473 [樊后保, 李燕燕, 苏兵强, 等. 马尾松—阔叶树混交异龄林生物量与生产力分配格局 [J]. 生态学报, 2006 26(8): 2463 ~ 2473]
- [11] He Dongjia, Lan Biji, et al. Study on biomass and energy distribution of natural *Phyllostachys heterocycla* CV. *pubescens* in Wuyi Mountains and its comparison with high-yield forest [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica 2003 23(2): 291 ~ 296 [何东进, 蓝斌, 等. 武夷山毛竹天然林生物量与能量分配规律及其与人工林比较研究 [J]. 西北植物学报, 2003 23(2): 291 ~ 296]
- [12] Wang Gaolan, Duan Jianan, Jia Ningfeng, et al. Effects of long-term fertilization on soil physical and chemical property in hilly area [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2006 20(4): 82 ~ 85 89 [王改兰, 段建南, 贾宁凤, 等. 长期施肥对黄土丘陵区土壤理化性质的影响 [J]. 水土保持学报, 2006 20(4): 82 ~ 85 89]
- [13] Pang Xueyong, Liu Qing, Liu Shiquan, et al. Effect of human induced disturbance on soil physical properties of subalpine coniferous forests in western Sichuan [J]. Chin J Appl Environ Biol 2002 8(6): 583 ~ 587 [庞学勇, 刘庆, 刘世全, 等. 人为干扰对川西亚高山针叶林土壤物理性质的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2002 8(6): 583 ~ 587]

- [14] Zhang Yunwei, Han Jjiangui, Li Zhiqiang. A study of the effects of different grazing intensities on soil Physical Properties[J]. *Acta Agraria Sinica* 2002, 10(1): 74~78[张蕴薇, 韩建国, 李志强. 放牧强度对土壤物理性质的影响[J]. *草地学报*, 2002, 10(1): 74~78]
- [15] Fan Shaohui, Liu Guanglu, Guan Fengying et al. Effects on soil water holding capacities and infiltration characteristics in *Phyllostachys pubescens* forests with different operations and management modes[J]. *Forest Research* 2009, 22(4): 568~573[范少辉, 刘广路, 官凤英, 等. 不同管护类型毛竹林土壤渗透性能的研究[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(4): 568~573]
- [16] Song Chunyu, Zhang Xinyi, Liu Xiaobing et al. Effect of soil organic matter on soil fertility and crop productivity[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* 2008, 24(3): 357~362[宋春雨, 张兴义, 刘晓冰, 等. 土壤有机质对土壤肥力与作物生产力的影响[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2008, 24(3): 357~362]
- [17] Pang Jiaoping, Chen Mingyong, Tang Jianwei et al. The dynamics of plant growth and soil moisture and nutrient in the rubber plantation and rubber-*Flemingia macrophylla* Agroforestry system in Xishuangbanna, Southwest China[J]. *Journal of Mountain Science* 2009, 27(4): 433~441[庞家平, 陈明勇, 唐建伟, 等. 橡胶-大叶千斤拔复合生态系统中的植物生长与土壤水分养分动态[J]. *山地学报*, 2009, 27(4): 433~441]

The Distribution Pattern of Productivities and Soil Characteristics of *Phyllostachys pubescens* Plantations with Weeding Time

LIU Guanglu¹, FAN Shaohui¹, GUAN Fengying¹, DU Manyi², CHEN Xiaochou²

(1. International Centre for Bamboo and Rattan, Key Laboratory of Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China;

2. Yangkou of State Forest Farms of Fujian Province, Fuzhou 350003, China)

Abstract: The distribution pattern of productivities and soil characteristics of *Phyllostachys pubescens* plantations were studied by field survey combined with laboratory analysis in September 2007 in Yangkou State Forest Farm of Fujian province. The results showed that the productivity of bamboo plantations increased significantly by measure of weeding. The productivity with different weeding time was in the order of weeding time of 10 years (II) > weeding time of 30 years (III) > without weeding (I), and was $44\ 199.57 \pm 395.40$, $43\ 508.04 \pm 346.12$ and $5\ 691.31 \pm 394.68$ kg/(hm²·a), respectively. The proportion of underground productivity increased with weeding time, and in the order of II > III > I. The comprehensive evaluation scores of soil decreased then increased with the weeding time. The comprehensive evaluation scores of soil was 0.639 0 in bamboo forest I, 0.432 0 in forest III, and 0.355 84 in forest II.

Key words: *Phyllostachys pubescens* plantations; weeding time; distribution pattern of productivity; characteristics of soil