

常绿阔叶林改为毛竹林和白茶园后土壤肥力质量的演变与评价

吕玉龙¹, 周秀峰², 何莹¹

(1. 浙江省安吉县林业局, 浙江 安吉 313300; 2. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300)

摘要: 旨在探讨常绿阔叶林改为毛竹 *Phyllostachys edulis* 林和白茶 *Camellia sinensis* 园后土壤肥力质量的演变趋势, 评价毛竹林和白茶园土壤肥力质量。在浙江省安吉县分别采集并分析了 10 年生和 40 年生的毛竹林和白茶园土壤, 并与 40 年生常绿阔叶林进行比较。结果表明: 4 个土壤剖面的土壤有机碳、碱解氮、有效磷和速效钾质量分数均随土层深度的增加而显著下降 ($P < 0.05$)。常绿阔叶林改为白茶园和毛竹林 10 a 后, 各个土层的土壤 pH 值均有不同程度升高; 白茶园和毛竹林的 0~10 cm 和 10~30 cm 土层的有机碳质量分数均有不同程度的降低; 40 年生白茶园 0~10 cm 和 10~30 cm 土层碱解氮质量分数分别降低了 $26.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $11.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 白茶园和毛竹林 0~10 cm 和 10~30 cm 土层的有效磷和速效钾质量分数, 呈现随种植年限增加先增后减的趋势。土壤有机碳质量分数与土壤碱解氮质量分数和速效钾质量分数之间的相关性均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 而与土壤有效磷质量分数没有显著相关性。根据林地和园地土壤肥力的分级标准, 毛竹林和白茶园土壤有机碳、碱解氮和速效钾质量分数属于缺乏水平, 而速效磷质量分数属于极度缺乏水平。从土壤肥力质量的演变趋势看来, 在毛竹林和白茶园的施肥管理中应适当增加有机肥和化肥的用量, 以确保土壤肥力质量的提高。图 6 表 2 参 19

关键词: 土壤学; 常绿阔叶林; 毛竹林; 白茶园; 肥力质量; 土地利用方式

中图分类号: S714.8

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2017)04-0656-06

Soil fertility after change from an evergreen broadleaf forest to mao bamboo stands and white tea plantations

LÜ Yulong¹, ZHOU Xiufeng², HE Ying¹

(1. Forest Enterprise of Anji County, Anji 313300, Zhejiang, China; 2. Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration of Zhejiang Province, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Evaluation of soil fertility caused by a change in land use pattern can provide a theoretical basis for soil improvement. The purpose of this study was to explore and to evaluate the evolutionary development of soil fertility after land use change from an evergreen broadleaf forest to Mao bamboo (*Phyllostachys edulis*) stands and white tea (*Camellia sinensis*) plantations. Soil samples were taken from 4 soil profiles including the 0–10, 10–30, 30–60 and >60 cm soil depths, analyzed with a correlation analysis, and evaluated according to soil fertility grading standards for white tea plantation and Mao bamboo. Results showed that organic carbon and available N, P, and K in the 4 soil profiles greatly decreased with soil depth. Soil pH values in each soil layer of the 10-year-old Mao bamboo stands and a 10-year-old white tea plantation increased slightly; whereas, organic carbon in the 0–10 and 10–30 cm soil depths in these bamboo and tea plantations decreased slightly. Compared to the evergreen broadleaf forest, available N in a 40-year-old white tea plantation was $26.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

收稿日期: 2016-09-12; 修回日期: 2016-10-17

基金项目: 浙江省科学技术公益技术应用项目(2014C33282)

作者简介: 吕玉龙, 高级工程师, 从事林业技术与推广工作。E-mail: lyulong@126.com

lower in the 0–10 cm soil layer and $11.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ lower in the 10–30 cm layer. Available P and K in the 0–10 and 10–30 cm soil depths of white tea plantations increased and then decreased with plantation years. Soil organic carbon content was positively correlated with soil available N ($R^2 = 0.767 0$) and K ($R^2 = 0.731 8$) ($P < 0.01$), but not with soil available P. According to soil fertility standards, organic carbon and available N and K in the soils under Mao bamboo stands with white tea plantations were deficient with available P extremely deficient. In light of the evolutionary changes, farmers should increase the rates of organic manure and chemical fertilizer so as to ensure improvement in soil fertility. [Ch, 6 fig. 2 tab. 19 ref.]

Key words: soil science; evergreen broadleaf forest; Mao bamboo (*Phyllostachys edulis*); white tea (*Camellia sinensis*) plantation; soil fertility quality; land use pattern

土壤肥力是土壤质量的主要构成部分, 包括土壤肥力各因子的数量、在特定的环境条件下与诸因子协同作用下的养分有效性以及特定植物的养分需求和产出^[1]。土壤肥力高低不仅受土壤养分、植物的吸收能力和植物生长的环境条件各因子的单独影响, 也取决于各因子的协调程度。土壤肥力质量研究必须同时兼顾农业生产力和环境保护 2 个方面。浙江省安吉县位于浙江省西北部, 土地总面积为 $1\,887 \text{ km}^2$, 是中国著名的竹子和白茶 *Camellia sinensis* 之乡。毛竹 *Phyllostachys edulis* 和白茶是安吉县农林业的两大支柱产业。拥有规模生产茶园面积 $1.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 产量 $1\,800 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 产值 $20 \text{ 亿元} \cdot \text{a}^{-1}$, 占全县农业总产值 $1/4$ ^[2]。安吉县竹林面积居全国前列, 浙江首位, 竹业总产值居全国之首, 其中毛竹林面积为 $5.53 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 覆盖率达 29.3%, 面积占全县森林面积的 41.2%^[3]。土壤肥力质量的高低与土地利用方式的改变也密切相关。由于栽培毛竹和白茶的经济效益高, 尤其白茶利润丰厚, 致使安吉县毛竹和白茶的栽培面积逐年扩大^[4], 其中大部分是由常绿阔叶林改变而来, 导致森林资源破坏, 水土流失严重^[2]。黄锦法等^[5]报道了稻麦轮作田改为保护地菜田土壤肥力质量的演变, 但常绿阔叶林改为毛竹林和白茶园后土壤肥力质量的演变并未有人涉及。本研究根据安吉县森林资源经营档案, 在全面踏查的基础上, 在该县梅溪镇钱坑桥村的 3 个小流域, 进行了常绿阔叶林改为毛竹林和白茶园后土壤肥力质量的演变研究, 以期对毛竹林、白茶园土壤肥力质量的提高和森林可持续经营提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于安吉县东端的梅溪镇($30^\circ 28' \text{ N}$, $119^\circ 24' \text{ E}$), 处于天目山脉在安吉境内的东支末梢, 北亚热带季风气候, 年平均气温为 $15.1 \text{ }^\circ\text{C}$, 年降水量为 $1\,286.0 \text{ mm}$, 无霜期 228.0 d 。该区的原生植被为天然阔叶林, 绝大部分分布于低山丘陵地带。天然植被有青冈 *Cyclobalanopsis glauca*-苦槠 *Castanopsis sclerophylla* 常绿阔叶林、马尾松 *Pinus massoniana* 林、针阔混交林、竹林以及灌丛植被。人工植被有杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林, 湿地松 *Pinus elliotii* 林及经济林。土壤主要是发育于酸性岩浆岩和沉积岩的红壤土类。梅溪镇是安吉县主要毛竹产区, 毛竹林面积为 $2\,700 \text{ hm}^2$; 白茶栽培面积为 $1\,300 \text{ hm}^2$, 占安吉县白茶产量的 $1/5$ 。毛竹林通常每年 5 月上、中旬施肥 1 次, 肥料用量控制在 $100 \sim 150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。白茶施肥 $2 \text{ 次} \cdot \text{a}^{-1}$, 修剪后施 1 次追肥, 10 月后施 1 次基肥。肥料以有机肥为主($30 \sim 35 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 适量使用复合肥($300 \sim 450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

1.2 土壤采样与分析方法

2015 年 7 月, 在梅溪镇钱坑桥村的 3 个小流域(区组), 分别选择有代表性的 10 年生和 40 年生毛竹林和白茶园各 3 块($20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$), 并在样地周围选择 40 年生常绿阔叶林作为对照, 挖土壤剖面 3 个·区组⁻¹, 分别采集 0~10, 10~30, 30~60 和 $>60 \text{ cm}$ 等 4 个土层样品, 剔除粗大根系和砾石, 同时用容重圈采集土壤。将 3 个剖面的土样按相同土层深度分别混匀, 以四分法取 500 g 样品带回实验室。采回的土样经自然风干后, 去除根系后, 用木棍碾碎, 过 2 mm 孔径筛子, 供化学分析用。分析方法如下: 土壤 pH 值 [$m(\text{土}):m(\text{水})=1:5$] 用酸度计测定, 有机碳采用重铬酸钾外加热法, 碱解氮用碱解扩散法, 有效磷采用盐酸-氟化铵($\text{HCl}-\text{NH}_4\text{F}$)浸提钼锑抗比色法, 速效钾用醋酸铵浸提火焰光度法, 土壤容重用环刀法测定^[6]。

1.3 数据统计

试验数据采用利用 Excel 2003 进行数据统计、相关性分析和作图, 用 SPSS 18.0 系统进行方差分析, 并采用 Duncan's 新复极差法(LSR)在 0.05 水平下进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同利用方式下土壤肥力随土层深度的变化

常绿阔叶林改为毛竹林和白茶园并集约经营 10 a 和 40 a 后的土壤 pH 值(图 1)和有机碳质量分数的结果(图 2)显示, 不同林地土壤 pH 值不同土层之间没有显著性差异, 但土壤有机碳质量分数则随土层深度的增加而显著下降。不同林地土壤碱解氮、有效磷和速效钾质量分数随土层深度的增加而显著下降(图 3~5)。耕作层(0~30 cm)土壤容重低于心土层(30~60 cm), 但差异没有达到 5%显著水平(表 1)。

2.2 不同利用方式下土壤肥力的比较

常绿阔叶林改为白茶园和毛竹林 10 年生后各个土层的土壤 pH 值均有不同程度升高, 40 年生白茶园各个土层的土壤 pH 值与 10 年生白茶园各个土层的土壤 pH 值之间没有显著差异, 但 40 年生毛竹林各个土层的土壤 pH 值比 10 年生毛竹林各个土层的土壤 pH 值提高了 0.27~0.63(图 1)。

与常绿阔叶林比较, 10 年生白茶园的 0~10 cm 土层有机碳质量分数略有降低, 但其他各土层有机碳质量分数有明显增加。随着种植年限的增加, 40 年生白茶园的 0~30 cm 土层有机碳质量分数又有了明显的降低, 但 30 cm 以下土层的有机碳质量分数并未降低; 10 年生毛竹林的 0~10 cm 土层的有机碳质量分数降低了 8.97 g·kg⁻¹, 但其他各土层的有机碳质量分数基本没有下降, 40 年生毛竹林的各土层的有机碳质量分数维持 10 年生毛竹林土壤有机碳水平(图 2)。

与常绿阔叶林相比, 10 年生白茶园 0~10 cm 和 10~30 cm 土层的碱解氮质量分数略有降低, 40 年生白茶园碱解氮质量分数进一步降低, 分别降低了 26.1 mg·kg⁻¹ 和 11.9 mg·kg⁻¹, 30 cm 以下土层的碱解氮质量分数呈现先增后减的趋势(图 3)。白茶园和毛竹林 0~10 cm 和 10~30 cm 土层的有效磷和速效钾质量分数, 呈现随栽培年限增加先增后减的趋势。30 cm 以下土层有效磷和速效钾质量分数随有效磷和速效钾质量分数增加呈现无规律的变化(图 4~5)。

常绿阔叶林改为白茶园后, 10 年生白茶园和毛竹林的土壤容重显著降低了, 但 40 年生白茶园和 40

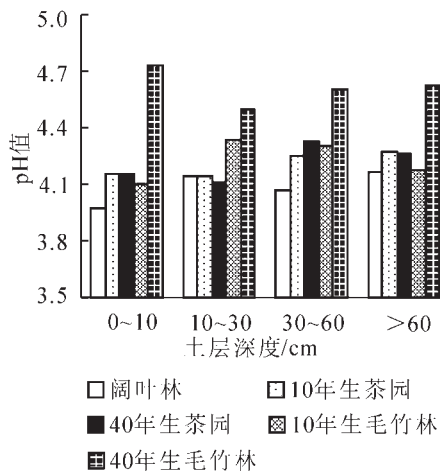


图 1 土壤 pH 值随土层深度的变化
Figure 1 Changes of soil pH with soil depths

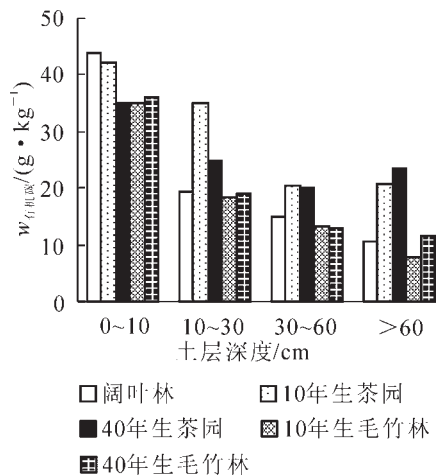


图 2 土壤有机碳质量分数随土层深度的变化
Figure 2 Changes of organic carbon contents in the soils

表 1 不同利用方式下土壤容重

Table 1 Bulk densities in the soils under different utilization ways

土层/cm	土壤容重/(g·cm ⁻³)				
	阔叶林	10 年生茶园	40 年生茶园	10 年生毛竹林	40 年生毛竹林
0~30	1.34 a	1.05 b	1.09 b	1.14 b	1.11 b
30~60	1.42 a	1.26 b	1.24 b	1.24 b	1.23 b

说明: 不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

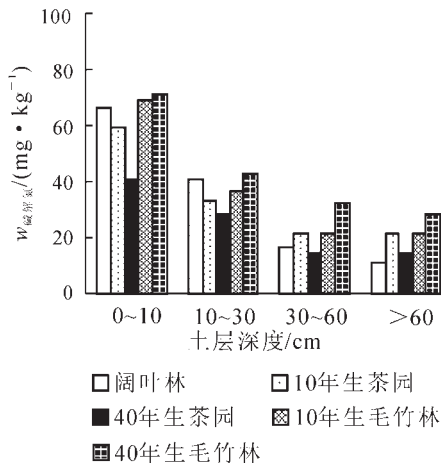


图 3 土壤碱解氮质量分数随土层深度的变化
Figure 3 Changes of available N contents in soils

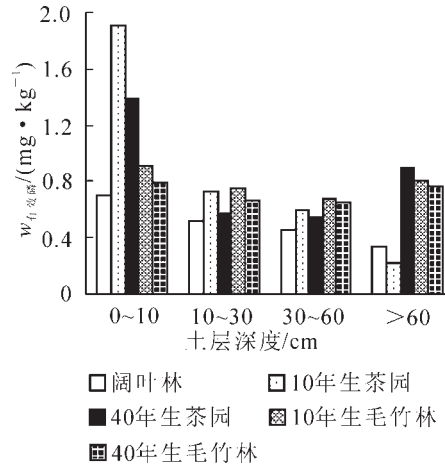


图 4 土壤有效磷质量分数随土层深度的变化
Figure 4 Changes of available P contents in soils

年生毛竹林的土壤容重就不再降低了。

2.3 土壤有机碳质量分数与土壤速效养分质量分数之间的相关分析

不同林地土壤有机碳质量分数与土壤速效养分质量分数之间的相关分析结果显示：土壤有机碳质量分数与土壤碱解氮质量分数(图 6A)，速效钾质量分数(图 6B)之间的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$)，而与土壤有效磷质量分数(图 6C)的相关性未达 5%显著水平。

2.4 常绿阔叶林改为毛竹林和白茶园后土壤肥力质量的评价

参照林地土壤和园地土壤肥力的分级指标(表 2)^[7-8]，安吉县不同种植年限的白茶园和毛竹林土层的有机碳质量分数分别为 $35.03 \sim 42.16 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $18.24 \sim 35.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，换算为有机质质量分数分别为 $60.39 \sim 72.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $31.45 \sim 60.39 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，属于 4 级水平；碱解氮质量分数分别为 $40.4 \sim 71.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $28.5 \sim 42.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，属于 4 级水平；有效磷质量分数分别为 $0.79 \sim 1.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.57 \sim 0.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，属于 5 级水平；速效钾质量分数分别为 $43.5 \sim 82.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $22.1 \sim 46.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，属于 4 级水平。

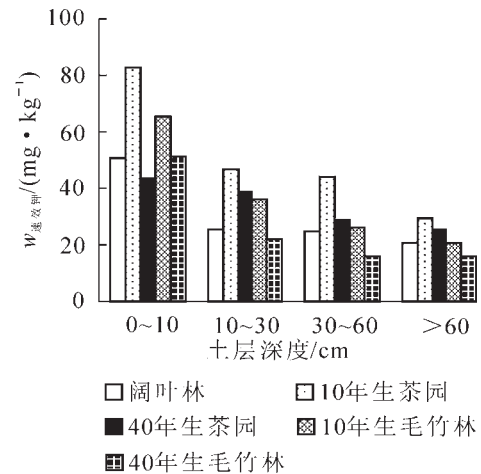


图 5 土壤速效钾质量分数随土层深度的变化
Figure 5 Changes of available K contents in soils

3 讨论与结论

随着农林产业结构的逐步调整，浙江省以果、蔬、茶、竹为主的经济作物面积不断扩大，如由杭嘉湖平原稻麦轮作田改为蔬菜等经济作物连作的旱地和半永久性的保护地^[5]，浙北稻田或林地改为毛竹^[9-10]、

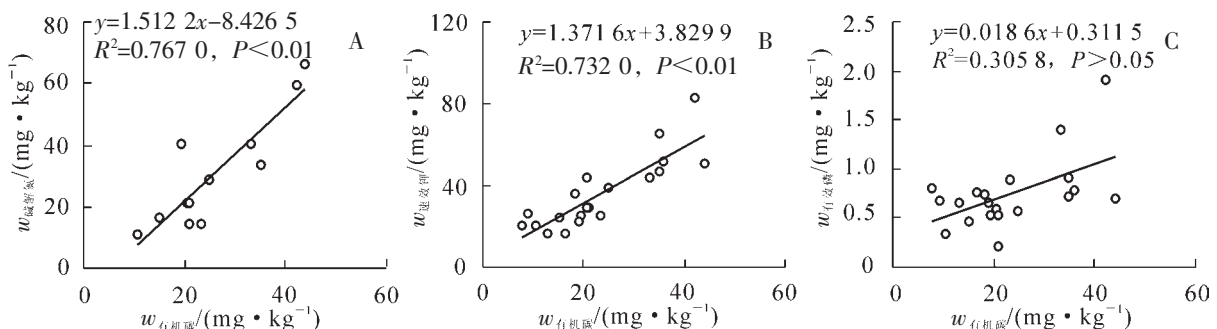


图 6 土壤有机碳与土壤速效养分之间的关系

Figure 6 Relationships between organic carbon contents and available nutrient contents in the soils

表 2 林地土壤和园地土壤肥力的分级指标

Table 2 Fertility grading indicators of the soils under orchards and forest stands

指标等级	园地土壤 ^[7]			林地土壤 ^[8]		
	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	有效钾/(mg·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效钾/(mg·kg ⁻¹)
1	>15	>150	>150	>15	>200	>120
2	10~15	100~150	100~150	10~15	100~200	80~120
3	5~10	50~100	50~100	5~10	80~100	50~80
4	3~5	30~100	20~50	3~5	<80	<50
5	<3	<60	<20	<3		

雷竹 *Phyllostachys violascens*^[11-12]和白茶等经济作物。由于改制前后的土壤类型、作物及施肥管理模式的不同,导致改制后土壤肥力质量的演变趋势产生巨大差异。例如,稻麦轮作田改为保护地菜田后,pH 值大幅下降,导致土壤酸化^[5],稻田改为毛竹和雷竹同样导致了土壤酸化^[10-12]。但本研究常绿阔叶林改为毛竹林和白茶园后并未引起土壤酸化,甚至土壤 pH 值略有升高。究其原因,一是稻田改为雷竹林后的施肥量,特别是化肥用量大大高于本研究的样地,二是稻田土壤 pH 值高于林地^[10]。基于同样的理由,稻田改为雷竹林后土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾等均有大幅增加,尤其是速效磷超负荷累积^[12-15],但本研究毛竹林和茶园的土壤有机质、速效磷、速效钾增加幅度很小,其土壤肥力指标仍属缺乏范围。

改制后土壤肥力质量随种植时间增加的演变趋势因不同改制模式也有巨大差异。强度集约经营导致雷竹林土壤有机质质量分数和速效氮磷钾质量分数随时间推移而大幅提高^[12-15]。姜培坤等^[11]报道,2007 年土壤有机质质量分数比 1999 年增加了 1.00 倍,平均增加 3.34 g·kg⁻¹·a⁻¹,土壤全氮和速效氮质量分数分别增长 2.47 倍和 2.05 倍,土壤速效磷质量分数增长 10.10 倍,土壤速效钾提高 44.0%。本研究的种植 10 年生和 40 年生的毛竹林和白茶园 0~10 cm 土壤的有机碳质量分数反而略有降低,土壤碱解氮、速效磷、速效钾的增加幅度也很小。与改制后强度集约经营雷竹林土壤有机质质量分数和速效氮磷钾质量分数随时间变化趋势相反,集约经营导致毛竹林土壤有机质质量分数在前 20 a 随时间推移而快速下降,此后趋向平衡^[10,16-17],其原因是雷竹集约经营的强度比毛竹高,而且雷竹经营过程中还采取了覆盖措施。另外相关研究表明,适量的施肥有利于土壤有机质的积累^[18],一般经营毛竹林土壤有机质含量大于集约经营^[19]。本研究的结果显示:常绿阔叶林改为毛竹林和白茶园后土壤肥力质量的演变趋势是土壤 pH 值略有升高,土壤有机碳、碱解氮和速效钾质量分数属于缺乏水平,而速效磷质量分数属于极度缺乏水平,因此,从土壤肥力质量演变趋势看来,应适当增加有机肥和化肥的用量,以确保土壤肥力质量的提高。

4 参考文献

- [1] 徐建明, 张甘霖, 吕晓男, 等. 中国土壤质量指标与评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 40 - 56.
- [2] 任富丽, 王文龙, 杨国庆. 安吉白茶产业发展面临的主要问题及其对策[J]. 湖州师范学院学报, 2015, 37(9): 10 - 13.
REN Fuli, WANG Wenlong, YANG Guoqing. The major problem facing the development of Anji white tea industry and its countermeasures [J]. *J Huzhou Univ*, 2015, 37(9): 10 - 13.
- [3] 潘春霞, 李雪涛, 吕玉龙. 安吉县毛竹资源及其生物量研究[J]. 浙江林业科技, 2010, 30(1): 82 - 84.
PAN Chunxia, LI Xuetao, LÜ Yulong. Resources and biomass of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* in Anji [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2010, 30(1): 82 - 84.
- [4] 陆文渊, 钱文春, 赖建红, 等. 安吉白茶产业的现状及发展对策[J]. 茶叶科学技术, 2012(1): 25 - 27.
LU Wenyuan, QIAN Wenchun, LAI Jianhong, et al. Situation and development measures of Anji Baicha industry [J]. *Tea Sci Technol*, 2012(1): 25 - 27.
- [5] 黄锦法, 曹志洪, 李艾芬, 等. 稻麦轮作田改为保护地菜田土壤肥力质量的演变[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 19 - 25.
HUANG Jinfa, CAO Zhihong, LI Aifen, et al. Soil fertility quality evolution after land use change from rice-wheat rotation to plastic film covered vegetable [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2003, 9(1): 19 - 25.

- [6] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- [7] 沈汉. 土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分[J]. 华北农学报, 1990, **5**(3): 63 – 69.
SHEN Han. The selection of participating factors in soil evaluation and the determination of gradation indices [J]. *Acta Agric Boreal-Sin*, 1990, **5**(3): 63 – 69.
- [8] 国家林业局. LY/T 1210-1279-1999 森林土壤分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [9] 周国模, 姜培坤, 徐秋芳. 竹林生态系统中碳的固定与转化[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 199 – 206.
- [10] XU Qiufang, XU Jinming. Changes in soil carbon pool induced by substitution of plantation for native forest [J]. *Pedospheres*, 2003, **13**(3): 271 – 278.
- [11] 姜培坤, 徐秋芳, 周国模, 等. 雷竹林土壤质量及其演变趋势[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 251 – 261.
- [12] 蔡荣荣, 黄芳, 孙达, 等. 集约经营雷竹林土壤有机质的时空变化[J]. 浙江林学院学报, 2007, **24**(4): 450 – 455.
CAI Rongrong, HUANG Fang, SUN Da, *et al.* Temporal and spatial variation of soil organic matters in *Phyllostachys praecox* stands with intensive cultivation management [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2007, **24**(4): 450 – 455.
- [13] JIANG Peikun, MENG Cifu, WU Jiasen, *et al.* Accumulation and leaching risk of soil phosphorus in Lei bamboo stands in the upper reaches of Taihu Lake [J]. *Am-Eur J Agric Environ Sci*, 2013, **13**(7): 891 – 900.
- [14] 姜培坤, 周国模, 徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学, 2002, **38**(6): 6 – 11.
JIANG Peikun, ZHOU Guomo, XU Qiufang. Effect of intensive cultivation on the carbon pool of soil in *Phyllostachys praecox* stands [J]. *Sci Silv Sin*, 2002, **38**(6): 6 – 11.
- [15] MENG Cifu, JIANG Peikun, LI Yongfu, *et al.* Contrasting Effect of application of chemical fertilizers or/and organic manure on soil quality under a *Phyllostachys praecox* stand in subtropical China [J]. *World J Agric Sci*, 2011, **7**(3): 351 – 358.
- [16] 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.
ZHOU Guomo, XU Jinming, WU Jiasen, *et al.* Changes in soil active organic carbon with history of intensive management of *Phyllostachys pubesens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2006, **42**(6): 124 – 128.
- [17] ZHOU Guomo, MENG Cifu, JIANG Peikun, *et al.* Review of carbon fixation in bamboo forests in China [J]. *Bot Rev*, 2011, **77**(3): 262 – 270.
- [18] 李翀, 周国模, 施拥军, 等. 不同经营措施对毛竹林土壤有机碳的影响[J]. 林业科学, 2015, **51**(4): 26 – 35.
LI Chong, ZHOU Guomo, SHI Yongjun, *et al.* Effects of different management measures on soil carbon in bamboo forest ecosystems [J]. *Sci Silv Sin*, 2015, **51**(4): 26 – 35.
- [19] 李国栋, 周科朝, 杨明莹, 等. 不同类型人工毛竹林土壤碳氮含量及转化特征[J]. 水土保持学报, 2013, **27**(3): 248 – 252.
LI Guodong, ZHOU Kechao, YANG Mingying, *et al.* Characteristics of the soil carbon and nitrogen contents and transformation rates on the different types moso bamboo plantations [J]. *J Soil Water Conserv*, 2013, **27**(3): 248 – 252.