

DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-3142. 2013. 05. 008

郭子武, 王为宇, 杨清平, 等. 林地覆盖对雷竹林土壤碳氮磷化学计量特征的影响 [J]. 广西植物, 2013, 33 (5): 627-632
Guo ZW, Wang WY, Yang QP, et al. Effects of mulching management on stoichiometry of soil C, N and P in *Phyllostachys praecox* plantations [J].
Guihaia, 2013, 33 (5): 627-632

林地覆盖对雷竹林土壤碳氮磷化学计量特征的影响

郭子武¹, 王为宇², 杨清平¹, 李迎春¹, 陈双林^{1*}

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省临安市林业技术服务总站, 浙江 临安 311300)

摘要: 林地覆盖措施可明显促进雷竹笋芽提早萌发, 显著提高竹林经济效益, 但长期连年覆盖会导致雷竹林退化为雷竹林。对不同覆盖年限 (1、3、6 a) 雷竹林和不覆盖雷竹林土壤 C、N、P 含量和化学计量比及相关性进行了研究。结果表明: 不同覆盖年限雷竹林和不覆盖雷竹林土壤 C、N、P 含量均随土壤深度的增加而极显著降低。不同土层土壤 C、N、P 含量不同覆盖年限雷竹林极显著地高于不覆盖雷竹林。随覆盖年限的延长, 雷竹林 0~20 cm 土壤 C、N 含量极显著提高。覆盖 1、3 a 雷竹林和不覆盖雷竹林 0~50 cm 土壤 P 含量和 20~50 cm 土壤 C、N 含量差异均不显著, 均显著地低于覆盖 6 a 雷竹林土壤。不同覆盖年限雷竹林各土层土壤 C:N 差异不显著, 而 C:P、N:P 随覆盖年限的延长呈升高趋势。随覆盖年限的延长, 土壤 C、N、P 间正相关关系减弱, C 与 N、P 协同变化速率降低。研究表明: 雷竹鞭根系统主要分布区 0~20 cm 土壤养分过量积累及引起的土壤养分失衡是林地覆盖雷竹林退化的主要原因。应实行轮闲覆盖和测土配方平衡施肥, 并在雷竹自然出笋开始时 (3 月上旬) 及时撤除有机覆盖物。为雷竹林可持续经营提供理论依据。

关键词: 雷竹; 林地覆盖; 土壤养分; 化学计量; 竹林退化

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142 (2013) 05-0627-06

Effects of mulching management on stoichiometry of soil C, N and P in *Phyllostachys praecox* plantations

GUO Zi-Wu¹, WANG Wei-Yu², YANG Qing-Ping¹,
LI Ying-Chun¹, CHEN Shuang-Lin¹

(1. *Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, China;*

2. Lin' an Forestry Bureau of Zhejiang, Lin' an 311300, China)

Abstract: In order to gain better price and incomes by shoot earlier sprouting, the practice of mulching management of *Phyllostachys praecox* plantations in Zhejiang Province has been carried out, while mulching management for years led to the stand degradation. Thus the contents of soil carbon, nitrogen and phosphorus elements and its stoichiometry for the treatments of 6, 3, 1 a mulching and non-mulching (NM) in *P. praecox* stands were analyzed to provide theoretical basis for sustainable management of the stand. The results showed that contents of soil C, N and P for mulching and NM *P. praecox* stands decreased significantly with soil depth increasing, and the contents of soil C, N and P for mulching stand were significantly higher than that of NM stand. Meanwhile C and N contents in topsoil (0-20 cm) increased significantly with the extended years of mulching management. There was no significant difference on P content at soil layers 0-50

收稿日期: 2012-11-25 修回日期: 2013-01-21

基金项目: 国家林业局林业技术推广项目 ([2011] 02 号); 国家林业公益性行业科研专项 (201004008); 浙江省林业建设项目 (2011B01); 杭州市科研院所专项 (20090332N01)

作者简介: 郭子武 (1975-), 男, 山东武城人, 博士, 助理研究员, 从事竹林生态研究, (E-mail) hunt-panther@163.com。

* 通讯作者: 陈双林, 博士, 研究员, 主要从事竹林生态与培育研究, (E-mail) cslbamboo@126.com。

cm and C, N contents at soil layers 20—50 cm among 3, 1 a and NM stands, while that for 6 a mulching stand was significant higher than those for 3, 1 a and in NM stand. Moreover it was found that there was no significant difference for soil C : N in the same soil layers, while with the extended years of mulching management, soil C : P and N : P increased on the whole, and positive correlation coefficient and coordinated variations of C and N, P decreased. All results indicated that excessive accumulations of C and N at distribution area of rhizome-root system (0—20 cm soil layers) and imbalance of soil nutrients were the main reasons of stand degradation for *P. praecox* plantations. Hence it was concluded that management measures including scientific fertilization, removal of mulching materials after mulching management in time, rotated mulching should be conducted to avoid stand degradation further.

Key words: *Phyllostachys praecox*; mulching of bamboo land; soil nutrients; stoichiometry; degradation of bamboo stand

生态化学计量学主要用于探索生态过程能量、多种元素平衡及其相互关系 (Elser *et al.*, 2000), 是当今生态研究的热点问题 (Allen *et al.*, 2009; Amatangelo *et al.*, 2008)。由于氮 (N) 和磷 (P) 是生物生长的限制性养分, 碳 (C) 是结构性物质, 三者均在生态系统物质和能量循环以及多元素平衡过程中发挥着重要作用。因此, 生态化学计量学的研究主要集中在 C、N、P 元素的计量关系上, 包括化学计量特征、限制因素判定及生态指示作用等方面 (Zhang *et al.*, 2003)。而且土壤 C、N、P 生态化学计量学研究对于揭示土壤中养分的可获得性、养分元素的循环和平衡机制、生态系统健康状况均具有重要意义 (Ågren *et al.*, 2008; Tian *et al.*, 2009; 王维奇等, 2010)。

雷竹 (*Phyllostachys praecox*) 是中国著名的优良笋用竹种, 具有成林速度快 (新造 3~4 a 即可成林投产)、出笋早、笋期长、品质佳、产量高等特点, 已在中国的南方许多省份得到规模化推广栽培。为追求更高的经济产出, 自 20 世纪 90 年代初以来, 林地覆盖竹笋早出经营措施在浙江省临安市、富阳市、余杭区等雷竹主产区得到了大规模推广应用, 竹笋萌发时间显著提前, 竹笋产量和经济效益显著提高, 但长期的林地覆盖栽培, 易导致雷竹林生态系统退化 (方伟等, 1994), 主要表现在雷竹林立竹胸径减小、枝下高增大、新竹留养困难、立竹年龄结构不合理、竹鞭上浮、竹笋产量和质量降低等 (周国模等, 1998; 刘丽等, 2009)。为防止雷竹林退化及促进退化雷竹林恢复, 自 20 世纪 90 年代末以来, 陆续开展了人工干扰对雷竹林土壤性质的影响研究 (余树全等, 2003), 表明长期的林地覆盖会使土壤养分含量显著提高, 而土壤 pH 值和微生物 C、N、P 含量及活性降低, 活性铝含量提高等, 土壤发生了物理、化学和生物性劣变。但对于林地覆

盖雷竹林土壤主要养分元素化学计量特征的研究鲜见报道。为此, 笔者在雷竹主产区浙江省临安市开展了不同林地覆盖年限雷竹林土壤 C、N、P 含量和生态化学计量比及其相互关系的研究, 旨在为林地覆盖雷竹林可持续经营提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 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, 年均气温为 15.8 °C, 7 月平均气温 28.1 °C, 1 月平均气温 3.4 °C, 极端高温 41.9 °C, 极端低温 -13.3 °C, 年均日照时数为 1939 h, 年均无霜期 234 d。土壤为红壤。

太湖源镇是临安市雷竹主要产出乡镇, 现有雷竹林面积一万多公顷。自 20 世纪 90 年代以来进行了雷竹林林地覆盖竹笋早出经营技术的大规模推广应用, 竹笋业已成为当地农村经济社会发展的支柱产业和农民家庭经济收入的主要来源。但由于长期的林地覆盖, 雷竹林立地生产力衰退日趋严重, 目前有 80% 以上的雷竹林出现了不同程度的退化, 已影响到区域竹产业的可持续发展 (刘丽等, 2010)。

试验雷竹林为 2000 年 3 月移栽胸径 2~3 cm 的 1~2 a 母竹在原种植水稻的农田中营造, 面积约 3.6 hm², 集中连片分布, 初植密度每公顷约 1500 株, 2003 年笋期后成林。试验林由一经营户统一经营管理, 2004 年冬季开始实施林地覆盖经营, 具体林地覆盖方法为 11 月中、下旬对竹林进行撒施式施肥, 后浇透水, 再先在林地中铺设 10 cm 左右厚的稻草 (增温层), 再覆盖约 20 cm 厚的荻糠 (保温层), 至次年自然出笋时清除覆盖物, 通过自然出笋期的选择性留笋长竹和伐竹来调控林分结构。试

验林实行连续覆盖法，至 2009 年试验林中有不同林地覆盖年限的雷竹林，这给本研究提供了条件。

1. 2 试验方法

于 2010 年 9 月在试验林中选择不同林地覆盖年限 (1、3、6 a) 和不覆盖 (NM) 雷竹林各 6 块，每块雷竹林面积不小于 0.1 hm²。林地覆盖雷竹林每年施三次肥，施肥时间分别为 5 月、9 月和 11 月 (覆盖前)，施肥量为无机复合肥 (N:P₂O₅:K₂O=16:16:16) 2.25 t·hm⁻² 和尿素 (含 N 46%) 1.125 t·hm⁻²，或施养分含量基本相同的有机肥。不进行林地覆盖的雷竹林年施二次肥 (5 月、9 月)，较覆盖雷竹林施肥量减少 1/3。试验林林分结构见表 1。

表 1 试验雷竹林林分结构
Table 1 Stand structure of test *P. praecox* forest

处理 Treatment	立竹密度 Stand density (株·hm ⁻²)	立竹胸径 DBH (cm)	年龄结构 Age composition (3 a:2 a:1 a)
不覆盖 NM	19 500	5.35	1:1.26:1.84
覆盖 1 a	19 200	5.27	1:1.24:1.78
覆盖 3 a	18 900	5.12	1:1.21:1.76
覆盖 6 a	18 060	5.01	1:1.19:1.74

在每块试验雷竹林中各布点 5 个，采用土壤剖面取样法分别取每个样点的 0~10、10~20、20~30 和 30~50 cm 土层土壤，混合均匀后四分法取 500 g，装于取样袋中带回实验室风干，研磨过 100 目筛，装袋储于真空干燥器中以便化学分析，试验重复 6 次。土壤有机碳 (C)、全氮 (N)、全磷 (P) 含量分别采用重铬酸钾容量法、凯氏定氮法及钼锑抗比色法测定 (鲍士旦, 2007)。

1. 3 数据分析

试验数据在 Excel 2003 统计软件中进行整理和图表制作，在 SPSS 14.0 统计软件中进行 One-way 方差分析和 Two-tailed 的 Pearson 相关性分析及线性相关分析。试验数据均为各个指标测定数据的平均值±标准差。

2 结果和分析

2. 1 不同林地覆盖年限雷竹林土壤 C、N 含量

从表 2 分析可知，林地覆盖 1、3、6 a 雷竹林和不覆盖雷竹林 0~50 cm 土层土壤 C、N、P 含量的变化范围分别为 3.10~24.31、0.42~2.43、0.16~1.39 g·kg⁻¹。随着覆盖年限的延

长，土壤 C、N、P 含量总体均呈升高趋势，其中，0~20 cm 土层土壤 C、N 含量随覆盖年限的延长极显著提高，20~30 cm 土层土壤 C、N 含量和 30~50 cm 土层土壤 C 含量不同覆盖年限雷竹林间的变化趋势一致，均为覆盖 6 a>3 a、1 a>NM，覆盖雷竹林与不覆盖雷竹林 20~30 cm 土层土壤 C、N 含量和 30~50 cm 土层土壤 C 含量差异均极显著。30~50 cm 土层土壤 N 含量覆盖雷竹林间差异不显著，且覆盖雷竹林极显著地高于不覆盖雷竹林。不同土层土壤 P 含量覆盖雷竹林极显著地高于不覆盖雷竹林，且覆盖 6 a 雷竹林极显著地高于覆盖 3、1 a 雷竹林，覆盖 3、1 a 雷竹林间差异不显著。随土壤深度的增加，不同覆盖年限雷竹林土壤 C、N 和 P 含量总体上均极显著降低，其中 P 含量变化最大，深层土壤 (30~50 cm) 仅为表层土壤 (0~20 cm) 的 20.9%~34.3%；其次为 C 含量，深层土壤为表层土壤的 23.1%~41.1%；N 含量变异相对较小，深层土壤为表层土壤的 33.6%~50.2%。

2. 2 不同林地覆盖年限雷竹林土壤 C、N、P 化学计量比

林地覆盖 1、3、6 a 雷竹林和不覆盖雷竹林 0~50 cm 土层土壤 C:N、C:P 和 N:P 变化范围分别为 7.21~10.47、17.85~25.93 和 1.71~3.27。不同覆盖年限雷竹林各土层土壤 C:N 差异均不显著，而土壤 C:P、N:P 随覆盖年限的延长总体上呈升高趋势，其中，0~20 cm 土层均为覆盖 3、6 a 雷竹林 C:P、N:P 显著高于覆盖 1 a 和不覆盖雷竹林，前二者之间差异显著，后二者之间差异不显著；20~30 cm 土层土壤 C:P、N:P 均以覆盖 6 a 雷竹林最高，显著高于不覆盖雷竹林，而覆盖 3、1 a 雷竹林的土壤 C:P 及覆盖 1、3 a 雷竹林和不覆盖雷竹林的土壤 N:P 差异均不显著，而且均显著低于覆盖 6 a 雷竹林；30~50 cm 土层土壤 C:P 以覆盖 6 a 雷竹林最高，显著高于覆盖 3、1 a 雷竹林和不覆盖雷竹林，而且后三者之间差异不显著。30~50 cm 土层土壤 N:P 在不同覆盖年限雷竹林之间差异均不显著 (图 1)。

不同林地覆盖年限雷竹林土壤 C:N、C:P 和 N:P 随土壤深度增加的变化规律差异较大。随土壤深度的增加，林地覆盖 6 a 和不覆盖雷竹林土壤 C:N 均呈降低趋势，C:P、N:P 均呈先升高后降低的趋势。林地覆盖 3 a 雷竹林土壤 C:N、C:P 随土壤深度的增加均呈倒“N”型变化趋势，N:P 呈升高趋势。林地覆盖 1 a 雷竹林土壤 C:

N、N:P 随土壤深度的增加也均呈倒“N”型变化趋势，C:P 呈“N”型变化趋势（图 1）。

2.3 林地覆盖对雷竹林土壤 C、N 和 P 关系的影响

不同林地覆盖年限雷竹林土壤 C、N 含量间存

表 2 不同林地覆盖年限雷竹林土壤有机碳、全氮和全磷含量

Table 2 Contents of soil carbon, nitrogen and phosphorus from *Phyllostachys praecox* stand with different years of mulching management

养分含量 Nutrient content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	土层 Soil layer (cm)	不覆盖 NM	覆盖 1 年 1 a	覆盖 3 年 3 a	覆盖 6 年 6 a
C	0~10	13.39 \pm 0.36 ^A	16.90 \pm 0.49 ^C	20.18 \pm 0.62 ^A	24.30 \pm 0.47 ^A
	10~20	7.36 \pm 0.64 ^D	11.64 \pm 0.51 ^B	16.16 \pm 0.24 ^B	18.09 \pm 0.18 ^B
	20~30	5.49 \pm 0.35 ^E	8.85 \pm 0.56 ^B	7.97 \pm 0.40 ^C	14.26 \pm 0.13 ^C
	30~50	3.10 \pm 0.13 ^F	6.63 \pm 0.31 ^B	6.49 \pm 0.28 ^B	9.99 \pm 0.62 ^A
N	0~10	1.28 \pm 0.15 ^A	1.72 \pm 0.12 ^C	2.16 \pm 0.06 ^B	2.43 \pm 0.11 ^A
	10~20	0.84 \pm 0.04 ^D	1.25 \pm 0.08 ^C	1.68 \pm 0.04 ^B	2.04 \pm 0.03 ^A
	20~30	0.72 \pm 0.03 ^E	1.14 \pm 0.09 ^B	1.01 \pm 0.07 ^C	1.72 \pm 0.04 ^C
	30~50	0.43 \pm 0.02 ^F	0.92 \pm 0.06 ^C	0.81 \pm 0.03 ^D	1.22 \pm 0.02 ^D
P	0~10	0.75 \pm 0.01 ^A	0.91 \pm 0.04 ^A	0.92 \pm 0.03 ^A	1.19 \pm 0.06 ^A
	10~20	0.39 \pm 0.01 ^B	0.61 \pm 0.01 ^B	0.64 \pm 0.02 ^B	0.82 \pm 0.05 ^A
	20~30	0.27 \pm 0.03 ^C	0.41 \pm 0.02 ^B	0.36 \pm 0.01 ^B	0.55 \pm 0.05 ^C
	30~50	0.16 \pm 0.03 ^D	0.31 \pm 0.01 ^B	0.28 \pm 0.01 ^C	0.44 \pm 0.02 ^A

注：上标大写字母表示相同土层同一元素不同覆盖年限雷竹林间差异极显著 ($P < 0.01$)；下标大写字母表示相同覆盖年限雷竹林同一元素含量不同土层间差异极显著 ($P < 0.01$)。相同大写字母表示无显著差异。

Note: Different superscripts indicate significant differences ($P < 0.01$) among mulching treatments; different subscripts indicate significant differences ($P < 0.01$) among soil layers. Same capital letters indicate no difference among mulching treatments or soil layers ($P > 0.05$).

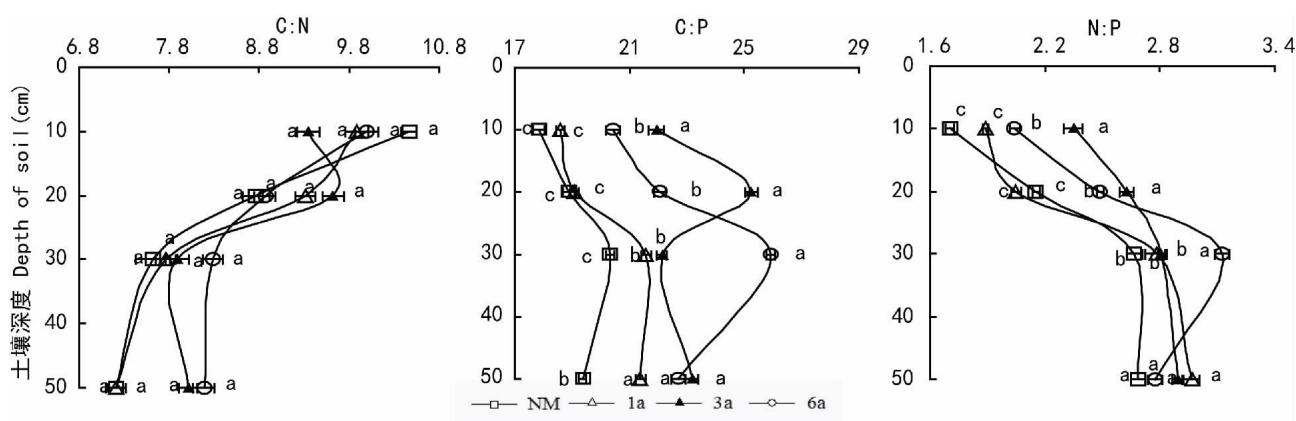


图 1 不同覆盖年限雷竹林土壤碳、氮、磷化学计量特征 不同小写字母示差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 1 Stoichiometry of soil C, N and P from *Phyllostachys praecox* stand with different mulching management years. Different small letters of same soil layers indicate significant differences ($P < 0.05$).

在着极显著的正相关关系。土壤 C、P 含量间也呈极显著正相关关系，说明土壤 P 含量不仅受人工经营措施的影响，而且还与土壤 C 含量密切相关。雷竹林土壤 N、P 含量间也存在着极显著的正相关关系，体现了雷竹林土壤系统中 N、P 供应的协同性。不同林地覆盖年限雷竹林土壤以 C、N 相关性最高，N、P 相关性其次，C、P 相关性最低。随林地覆盖年限的增加，雷竹林土壤 C、N、P 间的相关性逐渐变弱，且 C 与 N、C 与 P 的关系曲线斜率呈下降趋

势，表明土壤 C 含量的变化对土壤 N、P 含量变化的影响程度有所下降，即协同变化速率降低（图 2）。

3 结论与讨论

本研究发现，随土层深度的增加，不同林地覆盖年限雷竹林土壤 C、N、P 含量极显著降低，且土壤 C、N、P 变异性增强，反映了土壤 C、N、P 的来源及地化循环特征差异（孙达等，2007）。林地覆盖雷竹

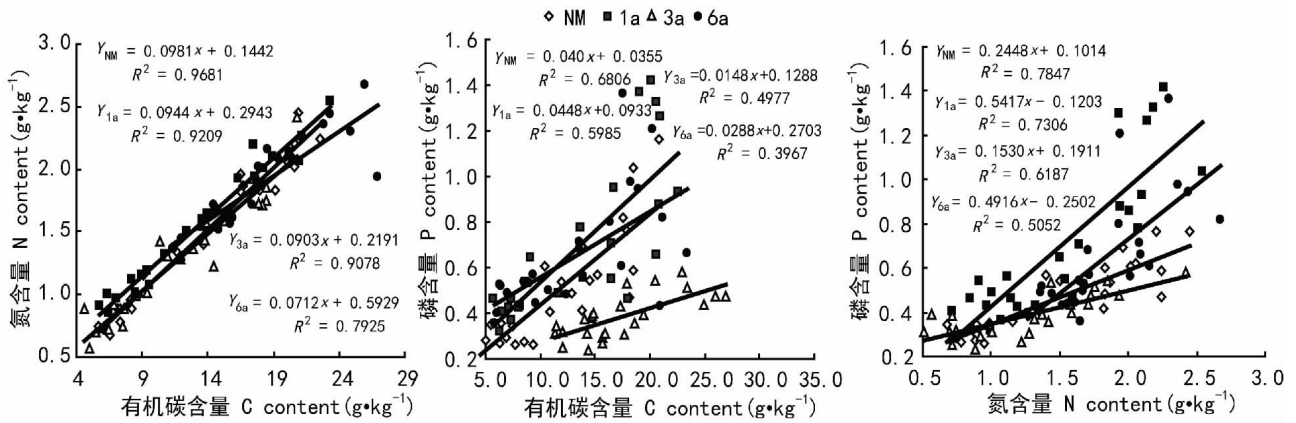


图2 雷竹林土壤碳、氮、磷相互关系

Fig. 2 Relationship between soil C, N and P of *Phyllostachys praecox* stand

林不同土层土壤 C、N、P 含量较不覆盖雷竹林极显著升高，特别是雷竹林地下鞭根系统主要分布层土壤（0~20 cm）C、N、P 含量的升高尤为明显，表现出上层土壤养分的明显累积现象，说明林地覆盖经营对雷竹林土壤的扰动主要集中在表层土壤，这与雷竹林林地覆盖经营过程中，土壤主要养分特别是氮肥的人为大量施入和有机覆盖物存留等有关（孙晓等，2009）。而且林地覆盖雷竹林表层土壤有机覆盖物的大量存留和腐解会引起土壤中生物活性物质含量的明显改变，如酚酸的大量积累和酶活性的降低等（郑仁红，2006），而土壤 N 素的大量积累会发生硝化作用，产生大量的 H^+ 和 NO_3^- ，导致土壤酸化及活性铝的释放（Álvarez *et al.*, 2005；李子川等，2011），反映出雷竹林林地覆盖经营过程中有机覆盖物的大量输入和以氮肥为主的化学肥料大量施用，对土壤主要养分元素储量及循环过程会产生深刻的影响，会造成土壤质量的显著下降（Güsewell, 2004；张金锦等，2011）。

林地覆盖经营对雷竹林土壤 C:N 没有明显影响，主要原因是 C、N 元素之间具有紧密的联系且对环境变化的响应具有同步性，而且 C、N 作为有机体的结构性成分，积累与消耗过程存在着相对固定的比值（Cleveland *et al.*, 2007）。而林地覆盖经营对土壤 C:P、N:P 有较大影响，林地覆盖 3、6 a 的雷竹林 0~20 cm 表层土壤 C:P、N:P 较覆盖 1 a 和不覆盖雷竹林显著增大，主要是因为大量有机覆盖物和以 N 肥为主的化肥大量施用致使表层土壤 C、N 含量增加较快（蔡荣荣等，2007），而 P 素因其来源不同且具有相对的稳定性，因而增加相对较慢（Tian *et al.*, 2009；Cleveland *et al.*, 2007）。不同林地覆盖年限雷竹

林土壤 C、N、P 间存在极显著的正相关关系，相关性随林地覆盖年限的增加逐渐变弱，且 C、N 和 C、P 间协同变化速率下降，说明林地覆盖对雷竹林土壤主要养分元素的均衡性和协同性产生了不利影响，造成土壤主要养分的失衡，这是覆盖雷竹林立地生产力衰退的驱动力之一。

在雷竹林覆盖经营过程中，在雷竹自然出笋开始时（3 月上旬）应及时撤除林地有机覆盖物，尽量减少有机覆盖物的林地存留量，而且应以生物有机肥为主要应用肥种，实行测土配方平衡施肥，大幅度减少化学氮肥的施用量；针对林地覆盖雷竹林土壤劣变越趋严重的现实问题（郑仁红，2006），采取施用熟化石灰的土壤 pH 值调节、加客土林地深层垦复等措施来改善林地覆盖雷竹林土壤理化性状，并且需开展林地存留有机覆盖物生态促腐，低 C/N 覆盖材料选择等方面的针对性研究。

参考文献：

- 鲍士旦. 2007. 土壤农化分析 [M]. 北京：中国农业出版社
 Allen AP, Gillooly JF. 2009. Towards an integration of ecological stoichiometry and the metabolic theory of ecology to better understand nutrient cycling [J]. *Ecol Lett*, **12** (5): 369–384
 Amatangelo KL, Vitousek PM. 2008. Stoichiometry of ferns in Hawaii: implications for nutrient cycling [J]. *Oecologia*, **157**: 619–627
 Cai RR (蔡荣荣), Huang F (黄芳), Sun D (孙达), *et al.* 2007. Temporal and spatial variation of soil organic matters in *Phyllostachys praecox* stands with intensive cultivation management (集约经营雷竹林土壤有机质的时空变化) [J]. *J Zhejiang For Coll* (浙江林学院学报), **24** (4): 450–455
 Cleveland CC. 2007. Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass? [J]. *Bio-geochem*, **85** (3): 235–252
 Elser JJ, Sterner RW, Gorokhova E, *et al.* 2000. Biological stoichiometry from genes to ecosystems [J]. *Ecol Lett*, **3** (6): 540–550
 Fang W (方伟), He JQ (何钧潮), Lu XK (卢学可), *et al.*

1994. Cultivation techniques of early shooting and high yielding for Lei bamboo sprout (雷竹早高产栽培技术) [J]. *J Zhejiang For Coll* (浙江林学院学报), **11** (2): 121-128
- Güsewell S. 2004. N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance [J]. *New Phytol*, **164** (2): 243-266
- Liu L (刘丽), Chen SL (陈双林). 2009. Research summary of the negative influences of the mulched ecosystem of *Phyllostachys praecox* f. *prevernalis* forests with organic materials (有机材料林地覆盖对雷竹林生态系统的负面影响研究综述) [J]. *Guihaia* (广西植物), **29** (3): 327-330
- Liu L (刘丽), Chen SL (陈双林), Li YH (李艳红). 2010. Stand structure and bamboo shoot number production based assessment of degradation degree of *Phyllostachys praecox* covered with organic materials (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) [J]. *J Zhejiang For Coll* (浙江林学院学报), **27** (1): 15-21
- Sun X (孙晓), Zhuang XY (庄舜尧), Liu GQ (刘国群), et al. 2009. Effect of Lei bamboo plantation on soil basic properties under intensive cultivation management (集约经营下雷竹种植对土壤基本性质的影响) [J]. *Soils* (土壤), **41** (5): 784-789
- Sun D (孙达), Huang F (黄芳), Cai RR (蔡荣荣), et al. 2007. Temporal and spatial variation of soil phosphorus in *Phyllostachys praecox* stands under intensive cultivation management (集约经营雷竹林土壤磷素的时空变化) [J]. *J Zhejiang For Coll* (浙江林学院学报), **24** (6): 670-674
- Tian HQ, Chen GS, Zhang C, et al. 2009. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data [J]. *Biogeochem*, **98** (1): 139-151
- Wang WQ (王维奇), Tong C (仝川), Jia RX (贾瑞霞), et al. 2010. Ecological stoichiometry characteristics of wetland soil carbon, nitrogen and phosphorus in different water-flooded frequency (不同淹水频率下湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征) [J]. *J Soil Wat Cons* (水土保持学报), **24** (3): 238-242
- Yu SQ (余树全), Jiang CQ (姜春前), Zhou GM (周国模), et al. 2003. Study on *Phyllostachys praecox* forest ecosystem health (雷竹林生态系统健康的研究) [J]. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), **25** (5): 15-19
- Zhang JJ (张金锦), Duan ZQ (段增强). 2011. Preliminary study on classification and grading standards and causes and hazards of secondary salinization of facility vegetable soils (设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展) [J]. *Soils* (土壤), **43** (3): 361-366
- Zhang LX, Bai YF, Han XG. 2003. Application of N:P stoichiometry to ecology studies [J]. *Acta Bot Sin*, **45** (9): 1 009-1 018
- Zheng RH (郑仁红). 2006. Allelopathy of cover planting on decline of *Phyllostachys praecox* stand (覆盖栽培对雷竹林衰退的化感效应研究) [D]. CAF (中国林业科学研究院): 28-37
- Zhou GM (周国模), Jin AW (金爱武), Zheng BS (郑炳松), et al. 1998. Preliminary study on composition of Lei bamboo in protected plot (雷竹保护地栽培林分立竹结构的初步研究) [J]. *J Zhejiang For Coll* (浙江林学院学报), **15** (2): 111-115
- Ågren GI. 2008. Stoichiometry and nutrition of plant growth in nature communities [J]. *Ann Rev Ecol Evol Syst*, **39** (1): 153-170
- Álvarez E, Fernández-Marcos ML, Fernández-Sanjurjo MJ. 2005. Application of aluminium toxicity indices to soils under various forest species [J]. *For Ecol Manag*, **211**: 227-239

(上接第 694 页 Continue from page 694)

- higher plants; biogenetic proposals and a chemotaxonomic survey [J]. *Phytochemistry*, **8**: 2 013-2 026
- Chiang YM, Kuo YH. 2003. Two novel α -tocopheroids from the aerial roots of *Ficus microcarpa* [J]. *Tetrahedron Lett*, **44**: 5 125-5 128
- Doan TN, Kim EK, Qui HJ, et al. 2008. Antioxidant and cytotoxic activities of compounds isolated from stem bark of *Garcinia oblongifolia* (Clusiaceae), a vietnamese medicinal plant [J]. *Plant Med*, **74** (9): 1 034-1 034
- Hamed W, Brajeul S, Mahuteau-Betzer F, et al. 2006. Oblongifolins A-D, polyprenylated benzoylphloroglucinol derivatives from *Garcinia oblongifolia* [J]. *J Nat Prod*, **69** (5): 774-777
- Huang SX, Feng C, Zhou Y, et al. 2009. Bioassay-guided isolation of xanthenes and polycyclic prenylated acylphloroglucinols from *Garcinia oblongifolia* [J]. *J Nat Prod*, **72** (1): 130-135
- Jiang Z (姜哲), LI XZ (李雪征), LI N 李宁, et al. 2009. Chemical constituents in *Dioscorea septemloba* (绵萆薢化学成分研究) [J]. *Chin Trad Herb Drugs* (中草药) **40** (7): 1 024-1 026
- Qiu GH (邱桂华), Zuo WJ (左文健), Wang JH (王金辉). 2006. Studies on the chemical constituents of *Ledum palustre* L. (杜香化学成分的研究) [J]. *Mod Chin Med* (中国现代中药), **8** (6): 18-20
- Ruan X, Li ZH, Wang Q. 2011. Autotoxicity and allelopathy of 3, 4-Dihydroxyacetophenone isolated from *Picea schrenkiana* needles [J]. *Molecules*, **16**: 8 874-8 893
- Si JY (斯建勇), Li GQ (李国清), Guo J (郭剑), et al. 1996. Water-soluble constituents of *Clerodendranthus spicatus* (肾茶水溶性成分的研究) [J]. *Chin Trad Herb Drugs* (中草药), **27** (7): 393-394
- Wang XF (王晓飞), Wang XJ (王晓静). 2007. Study on chemical constituents of *Ixeris chinensis* Nakai (中华苦苣菜化学成分研究) [J]. *Chin Trad Herb Drugs* (中草药), **38** (8): 1 151-1 152
- Wei J (魏健), Yang XS (杨小生), Zhu HY (朱海燕), et al. 2008. Chemical constituents of *Vaccinium carlesii* (短尾越橘化学成分研究) [J]. *Guihaia* (广西植物), **28** (4): 558-560
- Xu JH (徐娟华), Lu QH (卢启洪), Zhao Y (赵昱). 2007. Studies on chemical constituents of green algae *Ulva pertusa* (绿藻孔石莼脂类化学成分研究) [J]. *Chin J Chin Mat Med* (中国中药杂志), **32** (15): 1 536-1 538
- Zhang ZF (张正付), Bian BL (边宝林), Yang J (杨健), et al. 2004. Studies on chemical constituents in roots of *Jasminum samba* (茉莉根化学成分的研究) [J]. *Chin J Chin Mat Med* (中国中药杂志), **29** (3): 237-239