浙 江 农 林 大 学 学 报，2013，**30**(4)：578 – 584
Journal of Zhejiang A & F Universit

集约经营对雷竹林生态系统稳定性的影响

陈　珊，陈双林

（中国林业科学研究院 亚热带林业研究所，浙江 富阳 311400）

摘要：干扰对森林生态系统的结构和功能有着重要影响，能改变资源的有效性，会起到建设性或破坏性效果。雷竹 *Phyllostachys violascens* 是优良的笋用竹种，为达到高产高效的目的，雷竹林受到频繁的人工强度干扰。为了给雷竹林可持续经营和相关研究提供理论参考，综述了集约经营主要措施林地覆盖、施肥等对雷竹林鞭竹系统、土壤和生物性状等的影响。分析表明：雷竹林长期连年林地覆盖和过量施用化学肥料等不合理的经营干扰，会导致鞭竹系统结构稳定性降低和功能下降，土壤发生物理、化学和生物性劣变，致使立地生产力衰退。提出了有机覆盖物筛选及林地存留覆盖物促腐、测土配方平衡施肥、土壤性状改良等雷竹林生态系统稳定性维护的重点研究方向。参 49

关键词：森林经营学；雷竹；林地覆盖；施肥；鞭竹系统；土壤；综述

中图分类号：S795.9　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**2095-0756(2013)04-0578-07

Effect of intensive cultivation management on stability of *Phyllostachys violascens* forest ecosystem

CHEN Shan，CHEN Shuanglin

(Research Institute of Subtropical Forestry，Chinese Academy of Forestry，Fuyang 311400，Zhejiang，China)

Abstract: As an important factor affecting the structure and function of forest ecosystem，disturbances can change the effectiveness of the resources and play a constructive or destructive role. As an excellent shoot-purpose bamboo with high yield and efficiency，*Phyllostachys violascens* was affected by the artificial disturbance frequently and seriously. In order to provide reference for sustainable management of *Ph. violascens* forest，the effect of mulched stand and fertilization under intensive cultivation management on rhizome-culm system，soil and biological characters were summarized and analyzed. The results indicated that decreasing stability for rhizome-culm system，chemical，physical and biological deterioration of stand soil would cause degradation of stand productivity. Future research on the stability of *Ph. violascens* forest ecosystem will focus on the screening and bio-decomposing of organic mulch materials，testing soil balance fertilization and soil improvement. [Ch，49 ref.]

Key words: forest management；*Phyllostachys violascens*；mulched stand；fertilization；rhizome-culm system；soil；review

干扰显著影响森林的物种组成、年龄结构和生态系统功能，对森林更新、群落演替和物种多样性维持具有重要意义，是森林生态系统结构和功能发展的基础[1]。干扰对森林生态系统的影响程度，决定于干扰的频率、强度、空间范围和方式等，可能会起到优化结构、增强功能的建设性效果，也可能会引起劣化结构、削弱功能的破坏性效果。干扰的主要作用是改变资源的有效性，过度频繁或不合理的干扰，

收稿日期：2012-08-26；修回日期：2012-10-13

基金项目：国家林业局林业科学技术推广项目([2011]02 号)；浙江省农业科技成果转化项目(2012T201-03)；浙江省林业科技推广项目(2011B01)

作者简介：陈珊，从事竹林生态与培育研究。E-mail：chenshan927@163.com。通信作者：陈双林，研究员，博士，从事竹林生态与培育研究。E-mail：cslbamboo@126.com

可能导致森林生态系统的毁灭。在各种干扰作用下，尤其是人类不合理的干扰导致世界范围内的森林退化已成为一个十分严峻的现实问题。干扰对森林生态系统主要生态过程的影响以及森林生态系统对干扰的响应等已成为森林生态研究领域的前沿与热点问题[2-3]。维持、恢复森林生态系统固有的多种功能，实现高效、稳定、可持续就成为经营森林生态系统的总目标。目前，对森林干扰的研究主要集中于干扰因素(自然干扰与人为干扰)、干扰状况(频率、强度和时间)以及受到干扰后森林生态系统的主要生态过程[4]。雷竹 *Phyllostachys violascens* 是一种优良的笋用竹种，具有出笋早、笋期长、产量高和笋味鲜美等特点，主要分布在浙江省临安市、富阳市、德清县、余杭区等地。自 20 世纪 90 年代以来，雷竹林早产高效栽培技术在生产中得到大面积推广应用，其核心技术为：冬季在雷竹林地表覆盖稻草、竹叶或砻糠等有机物质，利用有机物料隔绝冷空气侵入土壤以及有机物料腐烂所产生的热量来达到增温、保温和保湿效果，从而达到提前出笋的目的；同时，施用大量化学肥料来补充土壤养分消耗，以维护或提高土壤肥力来达到竹笋稳产、增产的目的。针对这种集约经营模式对雷竹林生长发育等的影响前人已开展了大量的研究，发现长期集约经营在促进竹笋提前萌发，增加土壤肥力的同时会造成竹鞭提前死亡，竹子开花增多，病虫害发生严重[5]，林地土壤养分失衡、酸化、重金属含量增加等一系列的负面效应[6-7]，严重影响雷竹林的可持续经营。因此，研究集约经营对雷竹林生态系统稳定性的影响具有重要的科学价值和现实意义。本研究在前人研究结果的基础上综述了集约经营主要措施林地覆盖、施肥对雷竹林生态系统稳定性的影响，旨在为该领域的科学研究和竹林可持续经营提供参考。

1　集约经营措施对雷竹林鞭竹系统的影响

集约经营对维持竹林生产力和提高竹材、竹笋产量起到了极为重要的作用。合理覆盖、施肥可以提高雷竹叶、秆和鞭中的吲哚乙酸、赤霉素水平[8]，促进笋芽分化，提高竹笋产量。短期林地覆盖能使雷竹林竹鞭鞭段数增加，鞭段变短，总芽节数量保持较高水平，竹林具有较高的丰产潜力[9]。合理施肥能提高发笋量和新竹胸径、枝下高[10]，提高立竹叶片叶绿素和可溶性蛋白质含量，增强光合作用能力，但对立竹秆高、壁厚和尖削度影响不显著[11]，促进竹林提早行鞭，多发鞭，促进笋芽分化[12]，对竹鞭的延伸方向也有一定的影响等[13]，且施用生物肥料比施用化学肥料留养的母竹粗壮、质量好、成竹率高[14]。

过度长期集约经营导致的退化雷竹林竹秆、竹枝和地上总生物量均先上升后下降，竹叶生物量、1 年生和 2 年生立竹器官地上相对生物量、冠长及叶片叶绿素含量下降[15]，叶、秆、鞭和根中矿质元素钾、磷和毒害元素铝、砷、铅含量明显升高，而钙、镁含量降低[16]。长期集约经营造成土壤板结，透气性差，抑制根系生长，鞭梢生长慢，鞭段短，粗细不匀，芽苞弱，鞭芽腐烂，鞭径变小[13]，竹鞭幼龄化严重，地下鞭 90%以上为 1 ~ 2 年生鞭，3 ~ 4 年生的壮龄鞭多腐烂死亡。其中，林地长期覆盖对雷竹林鞭竹系统影响严重，造成竹林更新困难，鞭竹系统发生明显的不良变化。主要表现在：立竹年龄结构不合理[5,17]，立竹胸径减小，立竹整齐度、均匀度降低[5,18]。立竹秆壁厚度减小，木质化程度降低，冠长缩短，枝下高增大，遇雨雪冰冻和强风影响时，立竹易翻蔸、倒伏、竹秆劈裂或拆断[15]。叶面积指数明显降低，严重衰退林分较丰产竹林降低 50%以上，竹子开花现象严重[19]。竹鞭变黑，烂鞭严重，总鞭长、幼壮龄鞭比例、鞭径和鞭芽数等明显下降[5,9]。Ⅰ级根和Ⅱ级根生物量显著减少，而各级细根的氮、磷含量提高[20]。地下鞭系明显上浮，大都分布于存留着大量有机覆盖物的 0 ~ 10 cm 土层中[17,19]。另外，长期林地覆盖雷竹林一些立竹因来鞭和去鞭已死亡，具有强烈生理整合作用的无性系种群分株数量显著减少，甚至成为“孤立竹”，使集团抵御自然灾害的能力下降[21]。分析认为长期覆盖雷竹林地下系统长期处于高温高湿和缺氧的环境中，严重影响了地下鞭系的生长更新，从而对地上部分的林分结构及生物量分配产生不利影响，是雷竹林退化的主要原因之一[22]。不合理施肥会造成雷竹林土壤板结、酸化、生理毒性铝含量增加，养分失衡等负面效应，严重影响鞭竹系统的更新生长。过量施用化学肥料引起雷竹林土壤高磷积累，这对雷竹鞭根生长和形态会产生消极影响，使根冠比显著降低，单株根长、根表面积和根体积均受到显著的抑制作用[23]。

2　集约经营措施对雷竹林土壤理化性状的影响

集约经营初期的雷竹林耕作层土壤容重降低，团聚体含量和毛管孔隙度、非毛管孔隙度、毛管含水

量、饱和持水量和自然持水量提高，土壤物理性质得到了一定程度的改善[24]，增强了对环境变化的适应能力，其中，施用有机肥能更好地改善土壤理化性状。但长期的集约经营，会造成土壤紧实，土壤板结，透气性变差，尤其是连年林地覆盖雷竹林表层土壤会存留大量的有机覆盖物，使土壤原有的团聚体结构被破坏，物理性黏粒含量下降，而物理性砂砾含量上升，导致土壤孔隙度、通气性、持水性等物理性状发生剧变[21]。

雷竹载植后一定期限内可以提高土壤各养分物质的含量与保肥能力[7]，显著提高土壤有机质、水溶性有机碳和水溶性有机氮含量[25]。但集约经营至一定年限，雷竹林土壤化学性状会发生剧烈的劣变，立地生产力衰退，具体表现在：土壤酸化，土壤有机态营养耗竭，碳、氮、磷、钾间比例失调和酶活性异常[26-27]、重金属含量升高[6]等。集约经营过程中大量化学肥料的施用(尤其氮肥)和大量林产品移出林外是导致土壤酸化的主要原因[28]。长期林地覆盖厌氧细菌滋生产生的大量酸性物质[29-30]和覆盖物分解产生的对竹子鞭根系生长有抑制性化感作用的酚酸类物质在土壤中不断积累[31]，也能导致土壤酸化，且集约经营年限越长，土壤酸化程度越重，酸化土层越深[32]。目前，雷竹林氮肥用量已达国际限量标准的 3.9 倍，氮输入量超过了系统中植物和微生物的需要，增加了土壤氮素和阳离子损失量，致使除氮素以外的必需养分元素亏缺，形成氮毒害，出现“氮饱和”效应[33]，且投入林地的肥料养分与雷竹生长所需的养分不协调又造成土壤养分失衡，这都加剧了土壤理化性质的劣变[34]。许多雷竹林增施化学肥料对竹笋产量的提高效果已不明显，却造成养分的大量盈余[35]，致使土壤渗漏水中各形态氮、总磷明显升高，渗漏淋失量明显增多，氮素流失达 289.0 $kg\cdot hm^{-2}\cdot a^{-1}$，占氮素投入的 27.00%[36]，有效磷流失超过 200 $mg\cdot kg^{-1}$ 的土壤已占 18.18%[26]，造成雷竹林周边水体氮、磷等化学元素的富营养化，污染环境。因施肥引起的土壤氮磷钾过量积累和土壤酸化程度为复合肥+尿素＞专用复合肥或缓释肥＞微生物肥[37]，而土壤酸化又使土壤中铝、铅、铬、锰、锌等重金属元素从固定态转化为易被根系吸收的植物有效态[38-39]，且土壤腐殖质稳定性随 pH 值下降持续下降。长期集约经营雷竹林土壤过氧化氢酶和磷酸酶活性呈明显的下降趋势[38]。土壤理化性质的劣变对雷竹生长和竹笋、环境安全产生了进一步的不利影响。

3 集约经营措施对雷竹林生物性状的影响

集约经营引起土壤温度、湿度、疏松度、营养状况等的剧烈变化，必然会使竹林生物性状发生一系列的变化。雷竹种植初期，竹林耕作层深厚、疏松、土壤团粒结构好，土壤微生物、动物丰富[40]，害虫危害程度较轻[41]。此时，林地覆盖、施用有机肥或植物残体都能很好地激发土壤微生物，使土壤微生物量碳显著提高[42-43]，进而提高土壤微生物的活性及多样性。短期覆盖的雷竹林，林地土壤细菌和真菌数量、微生物总磷脂脂肪酸量及种类均有所增加，且表层土壤微生物磷脂脂肪酸量高于下层土壤[44]，土壤微生物总数可达到对照的 30 ~ 60 倍[29]，且林地覆盖期间雷竹林鼠害会明显减少[45]。但不合理的覆盖、施肥等人为干扰导致了雷竹林群落层次结构简单化，灌木层消失，草本层不明显，植物盖度下降，且雷竹林下植物的丰富度、Shannon-Wiener 和 Simpson 多样性指数随人为干扰强度的增大而减小[46]。长期集约经营雷竹林，土壤微生物群落多样性指数先增加后大幅度下降，优势种群发生更替[40]，土壤微生物活性降低，如土壤微生物量碳、氮质量分数以及微生物量碳/有机碳、微生物量氮/全氮、微生物量磷/全磷均随经营年限的延长而下降，土壤微生物量磷呈先增加后降低的变化趋势[47]，使土壤生物学总量衰退。研究表明：长期林地覆盖会使雷竹林土壤微生物总数急剧下降，连续覆盖 6 a 的雷竹林土壤微生物总量仅为对照的 28%[48]，且覆盖期间还原性微生物、厌气性微生物数量显著增加，厌气环境中产生的还原性物质会不利于竹林生长[44]。化学肥料的大量施用会造成雷竹林土壤微生物量碳下降，且随施用量的增加土壤微生物量碳和微生物利用碳源的能力均呈下降趋势，土壤微生物功能多样性明显下降[30]。随着雷竹林集约经营面积的扩大，雷竹林病虫危害也日趋猖獗，如常发性病虫害危害加剧，次生性病虫害转变为主导性病虫害，病虫害复合发生明显。主要是因为覆盖措施改变了竹林地环境条件，使地下害虫活动节律随土壤环境的变化而变化，尤其是土壤温度的变化，使地下害虫的活动为害时间提前并延长，而且有机覆盖物及其腐解过程对一些地下害虫具有吸引集聚作用，显著增加了覆盖竹林地下害虫的种类和危害程度[49]。再者，化学肥料的长期大量施用会导致雷竹林生境被污染，直接杀伤生态系统中其他生物，破坏竹林生态系统物种的平衡，诱发竹林有害生物大量发生。说明长期不合理的土壤养分补充及林地覆盖措施，会

造成雷竹林生物性状的劣变。

4　雷竹林生态系统稳定性维护的重点研究方向

4.1　有机覆盖物筛选及林地存留覆盖物促腐

林地覆盖对雷竹鞭竹系统结构稳定性影响最为严重，科学覆盖是维护雷竹林生态系统稳定性的基础。目前，雷竹林林地覆盖物多是高碳氮比(C/N)的砻糠、锯木屑等，短期内很难腐烂，林地中大量存留对地下鞭系生长有很大的负面影响。因此，必须开展低 C/N，高酿热特性的有机覆盖物筛选，研制以微生物为主体的有机覆盖物高效生态促腐制剂及雷竹林中配套应用技术。

4.2　测土配方平衡施肥

林地覆盖退化雷竹林土壤养分严重失衡。必须在研究雷竹林土地破碎化程度基础上，逐步建立以农户为单元的雷竹林土壤养分信息系统，根据雷竹生长需肥规律、土壤供肥能力等，实行测土配方平衡施肥，以生物有机肥为主要肥种，减少化学肥料使用量，显著提高养分利用率，减少环境污染。并需重视竹类植物根际联合固氮菌和根际促生菌为主要功能菌的竹林专用生物肥研制。

4.3　土壤生态改良

针对雷竹主产区雷竹林退化越趋严重的现实问题，尤其是林地覆盖雷竹林，必须以土壤为主要对象，着重开展防止雷竹林退化和退化雷竹林恢复技术的研究，包括土壤酸碱度人工调节、有害物质去除或固定、中微量元素养分有效释放和加客土垦复等。

参考文献：

[1] ATTIWILL P M. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management[J]. *For Ecol Manage*, 1994, **63**(2–3): 247 – 300.

[2] 刘艳红，赵惠勋. 干扰与物种多样性维持理论研究进展[J]. 北京林业大学学报，2000，**22**(4)：101 – 105.
LIU Yanhong, ZHAO Huixun. Advances in theory of disturbance and species diversity preservation[J]. *J Beijing For Univ*, 2000, **22**(4): 101 – 105.

[3] FRANKLIN J F, SPIES T A, VAN P R, *et al*. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example[J]. *For Ecol Manage*, 2002, **155**: 399 – 423.

[4] 朱教君，刘足根. 森林干扰生态研究[J].应用生态学报，2004，**15**(10)：1703 – 1710.
ZHU Jiaojun, LIU Zugen. A review on disturbance ecology of forest [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15**(10): 1703 – 1710.

[5] 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.

[6] 姜培坤，叶正钱，徐秋芳. 高效栽培雷竹林地土壤重金属含量的分析研究[J]. 水土保持学报，2003，**17**(4)：61 – 63.
JIANG Peikun, YE Zhengqian, XU Qiufang. Changes in heavy metal elements of soil in ecosystem of *Phyllostachys praecox* under intensive management [J]. *J Soil Water Conserv*, 2003, **17**(4): 61 – 63.

[7] 孙晓，庄舜尧，刘国群，等. 集约经营下雷竹种植对土壤基本性质的影响[J]. 土壤，2009，**41**(5)：784 – 789.
SUN xiao, ZHUANG Shunyao, LIU Guoqun, *et al*. Effect of Lei bamboo plantation on soil basic properties under intensive cultivation management [J]. *Soils*, 2009, **41**(5): 784 – 789.

[8] 童晓青，汪奎宏，华锡奇，等. 不同栽培措施雷竹植株内源激素研究[J]. 浙江林业科技，2006，**26**(4)：30 – 32.
TONG Xiaoqing, WANG Kuihong, HUA Xiqi, *et al*. Study on endogenous hormones of *Phyllostachys praecox* f. *prevernalis* with different cultivation measures [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2006, **26**(4): 30 – 32.

[9] 金爱武，周国模，郑炳松，等. 覆盖保护地栽培对雷竹地下鞭的影响[J]. 竹子研究汇刊，1998，**17**(4)：36 – 39.
JIN Aiwu, ZHOU Guomo, ZHENG Bingsong, *et al*. An effect of cultivation in mulched and protected *Phyllostachy praecox* plantations on its rhizome [J]. *J Bambooo Res*, 1998, **17**(4): 36 – 39.

[10] 唐国文，罗治建，赵虎，等. 雷竹氮磷钾肥配合施用研究[J]. 华中农业大学学报，2004，**23**(3)：304 – 306.

TANG Guowen, LUO Zhijan, ZHAO Hu, *et al*. NPK fertilization trial on *Phyllostachy praecox* f. *prevelnalis* [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2004, **23**(3): 304 – 306.

[11] 王宏，金晓春，金爱武，等. 施肥对毛竹生长量和秆形的影响[J]. 浙江农林大学学报，2011，**28**(5)：741 – 746.
WANG Hong, JIN Xiaochun, JIN Aiwu, *et al*. Growth and culm form of *Phyllostachys pubescens* with fertilization [J]. *J Zhejiang A& F Univ*, 2011, **28**(5): 741 – 746.

[12] 李继雄. 雷竹引种丰产高效技术[J]. 竹子研究汇刊，2011，**30**(1)：59 – 61.
LI Jixiong. The high yielding technology of transplanting *Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao [J]. *J Bamboo Res*, 2011, **30**(1): 59 – 61.

[13] 胡超宗，金爱武，郑建新. 雷竹地下鞭的系统结构[J]. 浙江林学院学报，1994，**11**(3)：264 – 268.
HU Chaozong, JIN Aiwu, ZHENG Jianxin. Composition of Lei bamboo rhizomatic system [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1994, **11**(3): 264 – 268.

[14] 张有珍，何钧潮，郑惠君. 肥料种类及施肥深度对覆盖雷竹林的影响[J]. 浙江林业科技，2011，**31**(3)：40 – 43.
ZHANG Youzhen, HE Junchao, ZHENG Huijun. Effect of fertilizer types and fertilization depth on mulching cultivated *Phyllostachys violascens* [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2011, **31**(3): 40 – 43.

[15] 李艳红. 林地覆盖退化雷竹林林分结构及光合生理特征研究[D]. 呼和浩特：内蒙古大学，2009.
LI Yanhong. *Study on the Structure and Physio-ecological Characteristics of Degenerated Bamboo Forest of Phyllostachys proecox with Covering Organic Material* [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2009.

[16] 季海宝，桂仁意，邵继锋，等. 集约经营雷竹林植株矿质元素的变化[J]. 竹子研究汇刊，2011，**30**(1)：48 – 52.
JI Haibao, GUI Renyi, SHAO Jifeng, *et al*. Changes of mineral elements in the plant of intensive farming bamboo forests of *Phyllostachys praecox* [J]. *J Bamboo Res*, 2011, **30**(1): 48 – 52.

[17] 周国模，金爱武，何钧潮，等. 覆盖保护地栽培措施对雷竹笋用林丰产性能的影响[J]. 中南林学院学报：自然科学版，1999，**19**(2)：52 – 54.
ZHOU Guomo, JIN Aiwu, HE Junchao, *et al*. The influence of cultivation techniques used in covered protected plots on the high-yield property of Lei bamboo plantation for edible shoots[J]. *J Center South For Coll Nat Sci*, 1999, **19**(2): 52 – 54.

[18] 刘丽，陈双林，李艳红. 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]. 浙江林学院学报，2010，**27**(1)：15 – 21.
LIU Li, CHEN Shuanglin, LI Yanhong. Stand structure and bamboo shoot number production based assessment of degradation degree of *Phyllostachys praecox* covered with organic materials [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27**(1): 15 – 21.

[19] 董林根，吴伟根，郑钢，等. 经营干扰对雷竹叶面积指数的影响[J]. 经济林研究，1999，**17** (2)：14 – 16.
DONG Lingen, WU Weigen, ZHENG Gang, *et al*. Decline in bamboo leaf area index as affected by management disturbance [J]. *Econ For Res*, 1999, **17**(2): 14 – 16.

[20] 董建. 林地覆盖措施对雷竹细根生物量及养分含量的影响[D].雅安：四川农业大学，2011.
DONG Jian. *Study on the Effect of Forest Cover on Biomass and Nutrient Content of Fine Root of Phyllostachys violascens f. prevernalis* [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2011.

[21] 刘丽. 林地覆盖雷竹林退化特征及土壤改良研究[D]. 北京：中国林业科学研究院，2009.
LIU Li. *Study on Degradation Characteristics and the Improvement of Soil in Covered Phyllostachys praecox Forest* [D]. Beijing: Chinese Academy Forestry, 2009.

[22] 李艳红，陈双林，刘丽，等. 林地有机材料覆盖退化雷竹林地上部分生物量研究[J]. 中国农学通报，2009，**25** (8)：102 – 107.
LI Yanhong, CHEN Shuanglin, LIU Li, *et al*. Study on above-ground biomass of degenerated bamboo forest of *Phyllostachys proecox* with covering organic material [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2009, **25**(8): 102 – 107.

[23] 郭安娜，桂仁意，宋瑞生，等. 不同磷水平对雷竹幼苗根系形态、酸性磷酸酶活性的影响[J]. 中国农学通报，2012，**28**(19)：220 – 224.

GUO Anna, GUI Renyi, SONG Ruisheng, *et al*. Effects of phosphorus on root morphology and acid phosphotase activity of *Phyllostachys praecox*[J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, **28**(19): 220 – 224.

[24] 刘力，潘锡东. 早竹高产笋用林及其土壤理化性质分析研究[J]. 竹子研究汇刊，1994，**13**(3)：38 – 43.
LIU Li, PAN Xidong. Study on high-yield *Phyllostachy praecox* forest for shoot and its physical and chemical properties of soil [J]. *J Bamboo Res*, 1994, **13**(3): 38 – 43.

[25] 李国栋，刘国群，庄舜尧，等. 不同种植年限下雷竹林土壤的有机质转化[J]. 土壤通报，2010，**41**(4)：845 – 849.
LI Guodong, LIU Guoqun, ZHUANG Shunyao, *et al*. Changes of organic matter in soils planted Lei bamboo with different years [J]. *Chin J Soil Sci*, 2010, **41**(4): 845 – 849.

[26] 姜培坤，俞益武，金爱武. 丰产雷竹林地土壤养分分析[J]. 竹子研究汇刊，2000，**19**(4)：50 – 53.
JIANG Peikun, YU Yiwu, JIN Aiwu, *et al*. Analysis on nutrients of soil under high-yield *Phyllostacys praecox* f. *prevelnalis forest* [J]. *J Bamboo Res*, 2000, **19**(4): 50 – 53.

[27] 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* f. *prevernalis* forest [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2000, **17**(2): 132 – 136.

[28] 陈双林，萧江华. 现代竹业栽培的土壤生态管理[J]. 林业科学研究，2005，**18**(3)：351 – 355.
CHEN Shuanglin, XIAO Jianghua. Soil ecological management of cultivated bamboo stand [J]. *For Res*, 2005, **18**(3): 351 – 355.

[29] 董林根，姜小娟，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 Xiaojuan, FANG Maosheng. Primary study of soil microorganism in Lei bamboo forest of protected cultivation [J]. *J Zhengjiang For Coll*, 1998, **15**(3): 236 – 239.

[30] 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 Zhengjiang For Coll*, 2008, **25**(5): 548 – 552.

[31] 郑仁红. 覆盖栽培对雷竹林衰退的化感效应研究[D]. 北京：中国林业科学研究院，2006.
ZHENG Renhong. *Allelopathy of Cover Planting on Decline of Phyllostachys praecox Stand* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2006.

[32] 孙晓，庄舜尧，刘国群，等. 集约经营下雷竹林土壤酸化的初步研究[J]. 土壤通报，2010，**41**(6)：1339 – 1343.
SUN Xiao, ZHUANG Shunyao, LIU Guoqun, *et al*. A preliminary study of soil acidification under Lei bamboo plantation with intensive management [J]. *Chin J Soil Sci*, 2010, **41**(6): 1339 – 1343.

[33] 顾小平，萧江华. 毛竹纸浆竹林施用氮磷钾肥料效应的研究[J]. 林业科学，1998，**34**(1)：25–32.
GU Xiaoping, XIAO Jianghua. The effects of N, P and K fertilizer applied in bamboo stand[J]. *Sci Silv Sin*, 1998, **34**(1): 25 – 32.

[34] 徐祖祥，陈丁红，李良华，等. 临安雷竹种植条件下土壤养分的变化[J]. 中国农学通报，2010，**26**(13)：247 – 250.
XU Zuxiang, CHEN Dinghong, LI Lianghua, *et al*. A study on the change in soil nutrients under the condition of bamboo shoot planting in Lin'an [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, **26**(13): 247 – 250.

[35] 孟赐福，沈菁，姜培坤，等. 不同施肥处理对雷竹林土壤养分平衡和竹笋产量的影响[J]. 竹子研究汇刊，2009，**28**(4)：11 – 17.
MENG Cifu, SHEN Jing, JIANG Peikuen, *et al*. Effects of different fertilization on soil nutrient balance and bamboo shoot yield of Phyllostachys praecox stands [J]. *J Bamboo Res*, 2009, **28**(4): 11 – 17.

[36] 黄芳，蔡荣荣，孙达，等. 集约经营雷竹林土壤氮素状况及氮平衡的估算[J]. 植物营养与肥料学报，2007，**13**(6)：1193 – 1196.
HUANG Fang, CAI Rongrong, SUN Da, *et al*. Soil nitrogen status and estimated nitrogen balance budget in an intensive managed *Phyllostachys praecox* stand [J]. *Plan Nutr Fert Sci*, 2007, **13**(6): 1193 – 1196.

[37] 陈闻，吴家森，姜培坤，等. 不同施肥对雷竹林土壤肥力及肥料利用率的影响[J]. 土壤学报，2011，**48**(5)：1021 – 1028.
CHEN Wen，WU Jiasen，JIANG Peikun，*et al*. Effects of different fertilization on soil fertility quality，fertilizer use efficiency and bamboo shoot yields of *Phyllostachys praecox* stand[J]. *Acta Pedol Sin*，2011，**48**(5)：1021 – 1028.

[38] 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.

[39] 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.

[40] 秦华，叶正钱，徐秋芳，等. 集约种植雷竹林土壤细菌群落结构的演变及其影响因素[J]. 应用生态学报，2010，**21**(10)：2645 – 2651.
QIN Hua，YE Zhengqian，XU Qiufang，*et al*. Evolvement of soil bacterial community in intensively managed *Phyllostachys praecox* stand and related affecting factors [J]. *Chin J Appl Ecol*，2010，**21**(10): 2645 – 2651.

[41] 王宗英，朱永恒，路有成，等. 宁国县竹林大型土壤动物群落结构与竹笋夜蛾危害程度的关系[J]. 生态学杂志，2000，**19**(1)：32 – 35.
WANG Zongying，ZHU Yongheng，LU Youcheng，*et al*. Relationship between community structure of big soil animals and harm degree of *Oligia vulgaxis* in bamboo forests of Ningguo County [J]. *Chin J Ecol*， 2000，**19**(1): 32 – 35.

[42] 杨芳，吴家森，钱新标，等. 不同施肥雷竹林土壤微生物量碳的动态变化[J]. 浙江林学院学报，2006，**23**(1)：70 – 74.
YANG Fang，WU Jiasen，QIAN Xinbiao，*et al*. Dynamic changes of soil microbial carbon in *Phyllostachys proecox* stand with different fertilizers[J]. *J Zhengjiang For Coll*，2006，**23**(1): 70 – 74.

[43] LIANG B C，MACKENZIE A F，SCHNIIZER M，*et al*. Management–induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils [J]. *Biol Fertil Soils*，1998，**26**: 88 – 94.

[44] 袁娜. 覆盖雷竹林土壤生化性质及其变化动态[D]. 北京：中国林业科学研究院，2009.
YUAN Na. *Soil Biological Property and Changes in Covering Phyllostachys violascens Stand*[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry，2009.

[45] 李培民，黄宗兴，史如金，等. 雷竹留笋养竹期鼠害的发生规律和防治技术[J]. 浙江林业科技，2003，**23**(2)：33 – 34.
LI Peimin，HUANG Zongxing，SHI Rujin，*et al*. Occurrence regularity and control technique of mouse during shoot keeping period of *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis*[J]. *J Zhejiang For Sci Technol*，2003，**23**(2): 33 – 34.

[46] 余树全，姜春前，李翠环，等. 人为经营干扰对人工雷竹林下植被多样性的影响[J]. 林业科学研究，2003，**16**(2)：196 – 202.
YU Shuquan，JIANG Chunqian，LI Cuihuan，*et al*. The effects of human disturbance on species diversity of *Phyllostachys praecox* grove[J]. *For Res*，2003，**16**(2): 196 – 202.

[47] 秦华，徐秋芳，曹志洪. 长期集约经营条件下雷竹林土壤微生物量的变化[J]. 浙江林学院学报，2010，**27**(1)：1 – 7.
QIN Hua，XU Qiufang，CAO Zhihong. Soil microbial biomass in long term and intensively managed *Phyllostachys praecox* stands [J]. *J Zhengjiang For Coll*，2010，**27**(1): 1 – 7.

[48] 可晓. 雷竹林存留有机覆盖物对土壤微生物量的影响及高效促腐菌株筛选[D]. 雅安：四川农业大学，2011.
KE Xiao. *Decomposing Strains Capable of the Residual Organic Mulch Materials of Phyllostachys proecox Forest and Optimization of Enzyme Production Condtions* [D]. Yaan:Sichuan Agricultural University，2011.

[49] 陈双林. 毛竹林地覆盖竹笋早出技术应用的问题思考[J]. 浙江农林大学学报，2011，**28**(5):799 – 804.
CHEN Shuanglin. Thoughts on related problems of mulched technique with organic materials in moso bamboo forest for early shooting [J]. *J Zhejiang A & F Univ*，2011，**28**(5): 799 – 804.