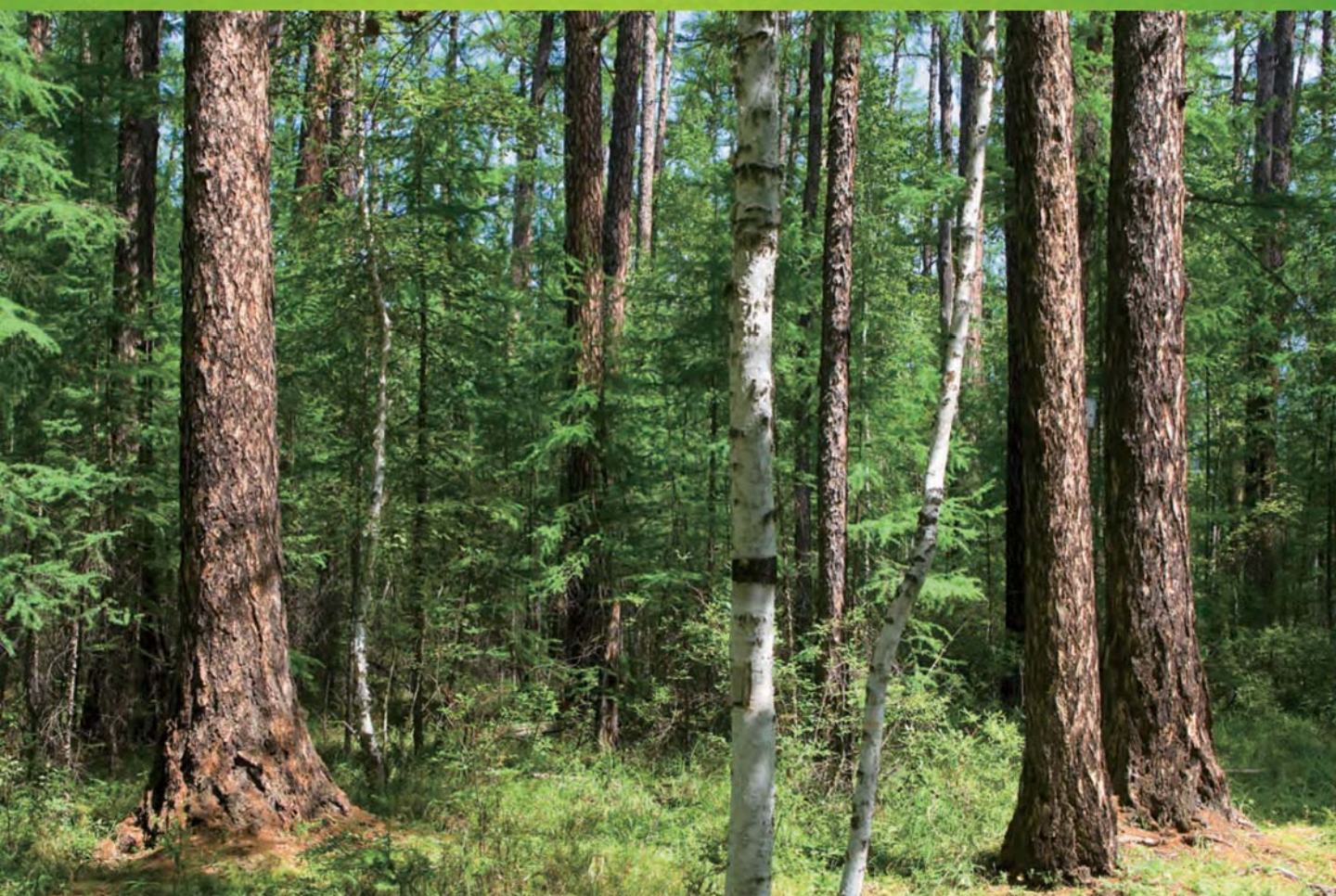


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 23 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究..... 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例..... 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响..... 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响..... 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响..... 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系..... 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化..... 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响..... 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量..... 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响..... 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用..... 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.....
..... 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.....
..... 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征..... 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估..... 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响..... 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响..... 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类..... 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH₄ 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应..... 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征..... 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化.....	周小平,王效科,张红星,等 (7525)
不同排放源周边大气环境中 NH_3 浓度动态.....	刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)
施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N_2O 排放的影响	罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

资源与产业生态

基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测.....	孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)
应用支持向量机评价太湖富营养化状态.....	张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

研究简报

亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征	徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)
青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应	白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)
NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程	王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)
基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法.....	张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)
施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响	马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

学术信息与动态

未来地球——全球可持续性研究计划.....	刘源鑫,赵文武 (7610)
-----------------------	----------------

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 292 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说: 兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO_2 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201208191165

黄张婷, 张艳, 宋照亮, 姜培坤, 项婷婷. 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化. 生态学报, 2013, 33(23): 7373-7381.

Huang Z T, Zhang Y, Song Z L, Jiang P K, Xiang T T. Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7373-7381.

雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化

黄张婷¹, 张 艳¹, 宋照亮^{1,2}, 姜培坤^{1,2,*}, 项婷婷¹

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院, 临安 311300; 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, 临安 311300)

摘要:以冬季地表覆盖增温为核心的雷竹早产高效栽培技术被广泛应用于我国亚热带地区的雷竹(*Phyllostachys praecox*)产区。为探明雷竹覆盖物(稻草和竹叶)的分解速率及在分解残余物中硅含量的年动态变化规律,在浙江临安市雷竹主产区采用分解管法进行了覆盖物分解试验。试验结果表明,稻草、竹叶的月平均分解速率分别为 8.5% 和 11.9%,在 1a 内分别分解了 67.5% 和 79.3%。分解过程中,稻草和竹叶 C 含量随时间的推移而下降,而 N 含量则随时间的推移而增加,两者的 C/N 比总体都呈现下降的趋势,但在试验初期前者的下降幅度显著大于后者。稻草、竹叶覆盖残余物中的 Si 含量随着分解时间的增加而增加,并都在 12 月达到最大值 81.8 g/kg 和 80.0 g/kg。稻草、竹叶的分解残余物中硅含量与铝含量或铁含量之间均呈极显著正相关($P < 0.01$),但与磷含量无显著相关性($P > 0.05$)。

关键词:雷竹;覆盖物;分解速率;硅含量

Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands

HUANG Zhangting¹, ZHANG Yan¹, SONG Zhaoliang^{1,2}, JIANG Peikun^{1,2,*}, XIANG Tingting¹

1 School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China

2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China

Abstract: Phytolith-occluded organic carbon (PhytOC) in the soils is an important long-term carbon pool in terrestrial and plays an important role in regulation of global carbon cycle and mitigation of global climate warming. Intensive management technique including winter mulching has been widely used in the cultivation area of *Phyllostachys praecox* in the subtropical regions of China. The decomposition of mulching materials with high silicon content (bamboo leaves and rice straw) provides large amounts of silicon for *Phyllostachys praecox* ecosystem, thus affecting the formation of PhytOC in the ecosystem. To ascertain decomposition rate of mulching materials and silicon dynamic change of mulching residue on the land of *Phyllostachys praecox* stand, a decomposition experiment of mulching materials was conducted in the main typical production area of *Phyllostachys praecox* of Lin'an city, Zhejiang province by using decomposition tube method. The experiment results showed that the decomposition of rice straw and bamboo leaves mainly occurred between March and October.

The decomposition peak of rice straw and bamboo leaves happened in July and August and the decomposition rates were 16.3% and 19.1%, respectively. The decomposition half-life of rice straw and bamboo leaves was 228 d and 166 d, respectively. Rice straw and bamboo leaves were decomposed by 67.5% and 79.3% during one year decay, respectively. During one-year decomposition process, C contents in rice straw and bamboo leaves decreased with time, whereas N contents

基金项目:浙江省自然科学基金重点基金资助项目(LZ12C16003)

收稿日期:2012-08-19; 修订日期:2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangpeikun@zafu.edu.cn

in those increased with time. Carbon contents in bamboo leaves and rice straw and were decreased by 14.8% and 15.3%, respectively. Nitrogen contents in bamboo leaves and rice straw were increased by 15.8 and 174.4%, respectively. The ratios of C/N in bamboo leaves and rice straw were a decrease tendency with time. Decline ranges of the C/N ratios in bamboo leaves and rice straw were 26.4% and 67.5%, respectively. During the experiment period, Si contents in the mulching residues of rice straw and bamboo leaves increased with time. The maximum Si contents in the mulching residues occurred in December. Silicon contents in the mulching residues of rice straw and bamboo leaves were 81.8g/kg and 80.0 g/kg at the end of the experiment, respectively, which were 3.9 and 3.1 times greater than before the decomposition. The contents of Al and Fe in the mulching residues of rice straw and bamboo leaves increased with time. The contents of Al and Fe in the mulching residues of rice straw and bamboo leaves ranged 0.2—8.4 g/kg and 0.3—5.4 g/kg, respectively. The changes trends of P contents in the mulching residues of rice straw and bamboo leaves were the two-peaked curves. The P content in the mulching residues of rice straw ranged from 0.7 g/kg to 1.4 g/kg. The P contents in the mulching residues of bamboo leaves ranged from 1.0 g/kg to 1.7 g/kg. Silicon contents in the mulching residues of rice straw and bamboo leaves was positively correlated with Al or Fe contents ($P<0.01$), but where was no relationship between Si contents and P contents ($P>0.05$).

Key Words: *Phyllostachys praecox*; mulching materials; decomposition rate; silicon contents

雷竹(*Phyllostachys praecox*)属于禾本科竹亚科刚竹属,是我国优良的笋用竹,在我国亚热带地区被广泛引种栽培。自 20 世纪 80 年代以来,雷竹早产高效栽培技术的广泛应用,使雷竹笋的上市时间提早到春节时期,极大地提高了竹农的经济收益^[1],同时也产生了一些如竹林退化^[2]、周边水体污染^[3]等问题。早产高效栽培技术的核心是通过冬季地表覆盖来提高土壤温度,促使雷竹提早出笋,通过施重肥以大幅增加产量。

雷竹覆盖物作为外源有机物料,因生产需要,被大量引入林地中,与雷竹林地自然凋落物有较大差别,又经人为处理,其分解过程不同于一般的林地自然凋落物,分解行为对土壤元素循环(如 Si 元素)和土壤的环境因子的影响与林地自然凋落物有较大差别。

硅(Si)是地壳中除氧外含量最丰富的元素,其丰度约为 28.8%。陆地植物每年以 BSi 的形式固定约 1.68×10^9 — 5.60×10^9 t 的 $\text{Si}^{[4]}$,可见通过这种形式进入陆地生态系统循环中的 Si 数量相当可观。研究发现^[5],单子叶植物中 Si 含量高于双子叶植物,其中又以禾本科植物为陆地环境中积累高浓度 Si 的代表。雷竹作为典型的禾本科植物,具有 Si 超富集能力^[6]。Si 是多种植物生长所必需的营养元素,对植物的生长产生积极的影响^[7]。植物体本身就是一个相当大的硅库,在植硅体形成的过程中,活细胞中有机碳可被固定在其中形成植硅体碳(phytolith-occluded organic carbon, PhytOC)。土壤中的许多其他有机碳可能在一个较短的时间内分解而进入大气,而 PhytOC 由于受植硅体保护可长期累积于土壤中^[8],从而成为陆地土壤长期(万年尺度)固碳的重要机制之一(贡献率为 15%—37%)^[5]。土壤中 PhytOC 是一个重要的长期的陆地碳库,因此,在调节全球碳循环和缓解全球气候变暖趋势等方面具有重要作用^[8-9]。

在雷竹早产高效技术中使用的覆盖材料(竹叶、稻草)本身也是具有高硅含量的禾本科植物残体,分解后能为雷竹生态系统额外提供大量 BSi 的输入,因此雷竹林生态系统中的硅素变化具有其特殊性。而以往对雷竹的研究主要集中在雷竹栽培、雷竹林地土壤的基本养分及其周边水体的质量变化等方面,而对雷竹生态系统中的覆盖物分解的研究不多,尤其是对在雷竹林中覆盖高硅含量材料的硅含量变化规律尚不清楚。因此,有必要开展雷竹林覆盖物分解速率的年动态变化和覆盖分解物中硅含量变化规律的研究,为今后开展雷竹林生态系统植硅体及其固碳方面的研究做铺垫,也为雷竹林地生产实践提供一定的理论依据。

1 试验设计与研究方法

1.1 研究区域概况

试验地设在浙江省临安市三口乡葱坑村的雷竹主产区($30^{\circ}14' \text{ N}$, $119^{\circ}42' \text{ E}$)。该地区海拔 150 m,属中

亚热带季风气候区,年平均气温 16℃,无霜期 236 d,年平均降水量 1614 mm,降水日 158 d,日照充足,四季分明,气候垂直变化明显。降水量年内分配不均,集中于汛期 4—10 月,其中 7—8 月受太平洋副热带高压控制,相对于汛期其他月份,气温高、雨量少。土壤为发育于粉砂岩的红壤土类,黄红壤亚类,地形以丘陵为主。

该试验地雷竹建园历史 8 a,雷竹地立竹密度 20450 株/hm²,立竹平均胸径 3.9 cm。按照当地竹农的栽培习惯,在每年 11 月下旬进行雷竹林地表覆盖(先覆盖 10 cm 稻草,再覆盖 20 cm 竹叶),到翌年 4 月中旬揭去未腐烂的覆盖物。并在每年 11 月中旬、翌年 5 月中旬和 9 月下旬施肥 3 次,3 次肥料用量比例分别控制在 35%—40%,30% 和 30%—35%,化肥以尿素和复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)为主,尿素 1.125 t/hm²,复合肥 2.25 t/hm²。施肥后,结合翻耕 1 次。

1.2 设计与采样分析

供试的覆盖物(竹叶和稻草)的化学性质见表 1。覆盖物分解试验采用分解管分解法。在 20 m×30 m 的采样区内一次均匀放置 36 个直径为 30 cm 的 PVC 分解管,分解底部(即靠近地面的一端)用尼龙网包扎,尼龙网孔径为 0.5 mm。先将覆盖物(下层为 10 cm 厚的稻草,上层再盖 20 cm 厚的竹叶)分别装入已编号的分解管中,然后将分解管放置在已去除枯枝落叶的林地地表,在顶端包扎同样的尼龙网。采集覆盖物材料样品(稻草、竹叶各 1 份)作为本底样。翌年 1—12 月每月 15 日左右采样 1 次,每次取回分解管 3 个。将管内剩余的稻草和竹叶取出,仔细分拣,小心剔除分解剩余稻草和竹叶表面沾的泥沙及其他非分解残余物后,分别于 80℃ 烘干至恒重,称量得到稻草和竹叶的残余质量,计算两者的分解速率和质量损失率。将烘干后的样品在高速粉碎机中磨细,贴上标签保存备用。

将每月处理好的样品分为两份,一份用 Elementar vario MAX CN 碳氮元素分析仪测定其 C、N 元素含量。另一份用偏硼酸锂熔融-ICP-AES 法,用 ICP perkin 7000 测定其 Si、Al、Fe 等元素的含量,用钼蓝比色-分光光度法测定 P 元素含量^[10]。

表 1 覆盖物的化学性质

Table 1 Chemical properties of the mulching materials used in the experiment

	Si 含量 Si content /(g/kg)	C 含量 C content /(g/kg)	N 含量 N content /(g/kg)	P 含量 P content /(g/kg)	C/N
竹叶 Bamboo leaves	20.50	456.58	22.26	1.10	20.51
稻草 Rice straw	26.43	423.60	8.64	0.66	49.04

1.3 土壤取样与分析

在试验区内,用自制采样器蛇形法多点分 3 层采集 0—20 cm、20—40 cm 和 40—60 cm 土样。土壤样品风干后,磨细过筛,备用。土样分析方法如下:土壤有机质,重铬酸钾外加热法;全氮,凯氏法;水解氮,碱解法;有效磷,Bray 法;速效钾,乙酸铵浸提^[10]。试验地土壤基本理化性质见表 2。

表 2 试验地土壤基本理化性质

Table 2 The basic physicochemical properties of the soil used in the experiment

土层 Soil depth /cm	总孔隙度 Total Porosity /%	土壤容重 Bulk density /(g/cm ³)	pH	有机质 Organic matter /(g/kg)	全氮 Total N /(g/kg)	水解氮 Hydrolytic N /(mg/kg)	有效磷 Available P /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)
0—20	52.80	1.25	5.03	38.42	1.71	254	76.6	96
20—40	56.35	1.16	5.24	36.57	1.53	159	24.2	150
40—60	53.81	1.22	6.05	34.30	0.98	76	1.6	70

1.4 覆盖物分解速率和质量损失速率的计算

$$\text{覆盖物分解速率} = (W_i - W_{i+1}) / W_i \times 100\%$$

式中, W_i 为第 i 次取样时的剩余干质量, W_{i+1} 为下一次取样时的剩余干质量, $i=1, 2, \dots, 11$ 。

$$\text{覆盖物质量损失速率(失重率)} = (W_0 - W_i) / W_0 \times 100\%$$

式中, W_0 为覆盖物本底样的干质量, W_i 为覆盖后第 i 次取样时的剩余干质量, $i=1, 2, \dots, 12$ 。

1.5 数据分析

数据计算及作图采用 Excel 软件处理。数据处理使用 DPS 系统进行统计分析。

2 结果分析

2.1 覆盖物分解速率和物质量损失率动态变化规律

由图 1 可见, 在覆盖物 1a 的分解过程中, 竹叶和稻草的月平均分解速率分别为 11.9% 和 8.5%。竹叶的分解速率从分解的第 2 个月起迅速提高, 除了 5 月、6 月外, 其余月份均超过 10%; 稻草在 1—4 月缓慢分解, 从 5 月起分解速率迅速提高, 此后除 11 月出现一次低值, 其余月份也都高于 10%, 5—12 月稻草的平均分解速率高达 12.0%。

总体来说, 在分解过程中, 竹叶和稻草的月分解速率都有一定的波动, 两者的分解高峰处于 3—10 月, 7—8 月时两者的分解速率最高可达 16.3% 和 19.1%。

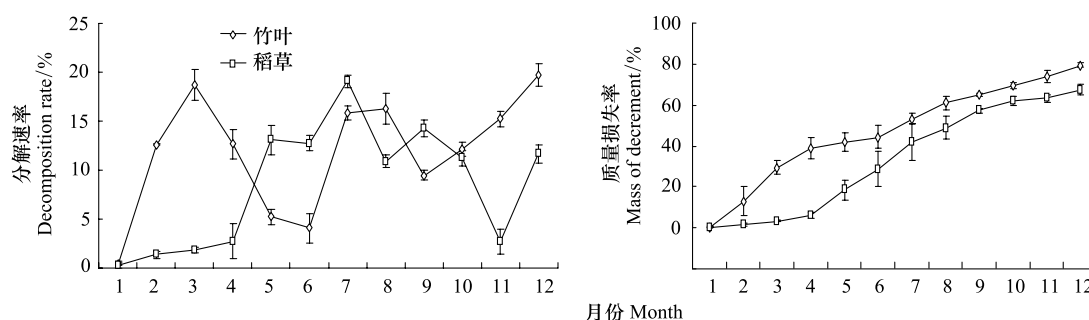


图 1 覆盖物分解速率动态变化规律和物质量损失率动态变化规律

Fig.1 Monthly decomposition rate and mass losing rate of mulching materials

在覆盖物 1a 的分解过程中, 竹叶和稻草的总分解量分别达到 79.3% 和 67.5% (图 1)。两种覆盖物质量损失率变化趋势基本一致, 即随着时间的延长, 覆盖物的质量损失率增加, 但增加幅度缓急不一。竹叶质量损失率在 1—4 月迅速提高, 5—6 月竹叶质量损失率变化不明显, 此后又持续上升直至 12 月。与竹叶不同的是, 稻草 1—4 月的质量损失率很低, 从 5 月起迅速提高, 并持续至 10—12 月才有所减缓。

2.2 覆盖物 C、N 含量及 C/N 动态变化

在 1a 的分解过程中, 竹叶和稻草分解残余物的 C 含量随时间的推移而下降 (图 2), 竹叶 C 含量下降了 14.8%, 稻草 C 含量下降了 15.3%; 两者的 N 含量都出现了增加的趋势 (图 2), 到 12 月时, 竹叶、稻草 N 含量分别增加到 25.71 g/kg 和 23.61 g/kg, 是试验开始时的 1.16 和 2.74 倍。从分解过程来看, 2 种覆盖物 N 含量的最大值均出现在 9 月, 分别为 27.33 g/kg 和 24.92 g/kg。经过 1a 的分解, 竹叶 N 含量只增加了 15.8%; 而稻草 N 含量则增加了 174.4%, 且主要集中于分解初期。

从图 2 可以看出, 竹叶 C/N 波动不大, 总体呈现下降趋势, 分解 1a 后, 从 20.33 下降到 14.97, 下降幅度为 26.4%, 而稻草 C/N 从 49.04 下降到 15.93, 下降幅度为 67.5%, 其中 1—2 月下降了 26.44, 占全年下降总量的 79.9%, 除此之外, 其它月份变化与竹叶一致。

2.3 覆盖物 Si 含量及其与其他元素的关系

2.3.1 覆盖分解残余物中 Si 含量

图 3 显示, 竹叶和稻草两种覆盖物在 1a 的分解过程中, 分解残余物中 Si 含量变化趋势基本一致, 都随着分解时间的增加而提高, 但两者在不同月份之间 Si 含量增幅有所不同。在整个分解过程中, 竹叶分解残余物中 Si 含量处平稳上升趋势, 在分解末期达到一年中的最大值 (80.8 g/kg), 为本底样 Si 含量的 3.9 倍。稻草残

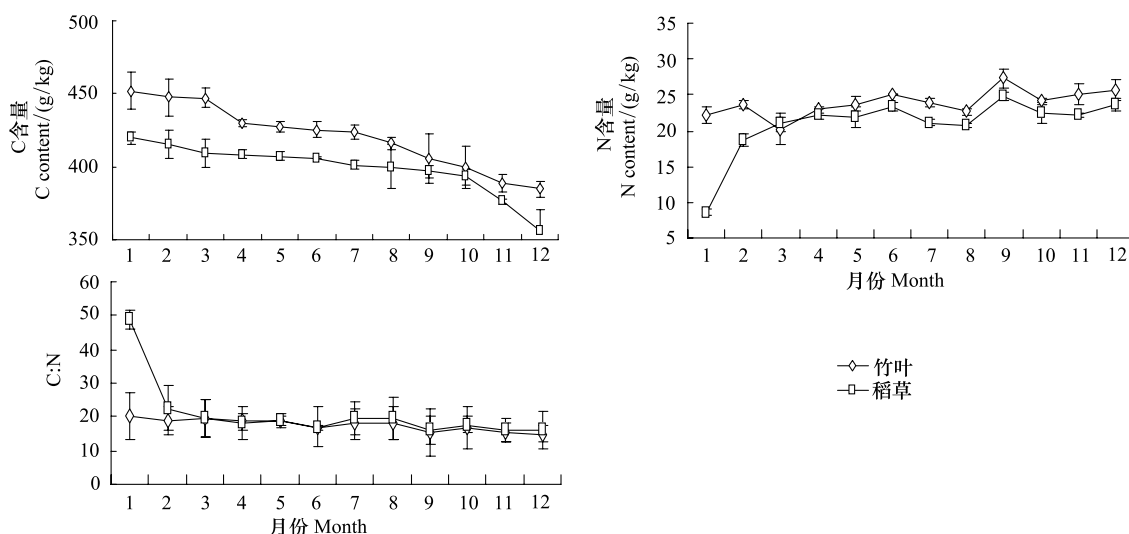


图2 覆盖物 C 含量、N 含量及 C:N 动态变化

Fig.2 Dynamic changes in carbon and nitrogen concentrations, and carbon to nitrogen ratio (C:N) in residual mulching materials

余物的 Si 含量在 1—2 月有明显上升,此后上升幅度减缓,同样在分解末期达到最大值(81.8 g/kg),是本底样 Si 含量的 3.1 倍。

2.3.2 覆盖分解残余物中其他元素含量

图 4 显示,在 1 a 的分解中,两种覆盖物分解残余物中 Al 含量变化趋势基本一致,即随着分解时间的延长,覆盖分解残余物中的 Al 含量基本呈现上升趋势,但在分解末期出现分异。稻草分解残余物中 Al 含量变化范围在 0.2—8.4 g/kg,变化幅度达 4100%;竹叶分解残余物中 Al 含量变化范围在 0.3—5.4 g/kg,变化幅度达 1700%。竹叶和稻草 Al 含量从分解开始到 9 月一直平稳上升,但 9 月之后两种覆盖物中的 Al 含量开始出现不同的变化:竹叶中 Al 含量迅速上升后,到 10 月开始缓慢下降,而稻草中的 Al 含量则在试验末期迅速提高。

Fe 含量变化趋势与 Al 含量变化趋势相近,且在末期也出现一致的分异(图 4)。竹叶残余物中 Fe 含量变化范围为 0.3—3.6 g/kg,稻草残余物中 Fe 含量变化范围为 0.2—3.8 g/kg,变幅分别达 1100%和 1800%。

两种覆盖物的分解残余物中 P 含量变化趋势与 Al、Fe 含量的变化差异较大,曲线大致呈现双峰型,尤其在稻草 P 含量变化趋势上更为明显(图 4(c))。稻草分解过程中 P 含量变化范围为 0.7—1.4 g/kg,分解末期比初期提高了 1 倍,在 4 月和 11 月时出现峰值,最小值则出现在分解初和 8 月份;竹叶中 P 含量变化范围为 1.0—1.7 g/kg,峰值出现在 5 月和 10 月,最小值的出现时期与稻草相同。

2.3.3 覆盖分解残余物中 Si 含量与其他元素含量的相关性

本研究发现,稻草分解残余物中的 Si 含量与 Al 含量呈极显著的指数相关($R^2=0.8057, P<0.01$), Si 含量与 Fe 含量呈极显著的指数相关($R^2=0.8239, P<0.01$);竹叶分解残余物中的 Si 含量与 Al 含量呈极显著的指数相关($R^2=0.8425, P<0.01$), Si 含量与 Fe 含量呈极显著的指数相关($R^2=0.9124, P<0.01$)。但两者的分解残余物中 Si 含量与 P 含量之间的相关性都不显著(图 5)。

3 结论与讨论

3.1 雷竹覆盖物的分解过程

雷竹冬季地表覆盖物是一种特殊的外源有机物,目的在于提高冬季雷竹林地土壤温度,实现竹笋反季节

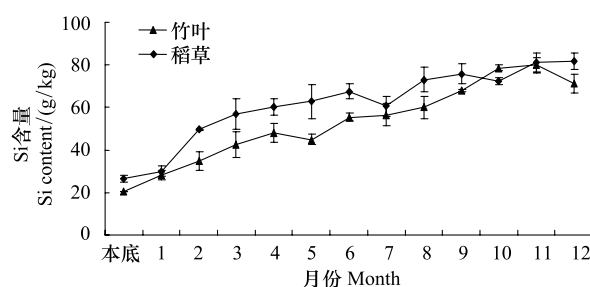


图3 覆盖残余物 Si 含量动态变化规律

Fig.3 Dynamic changes in Si contents in residual mulching materials

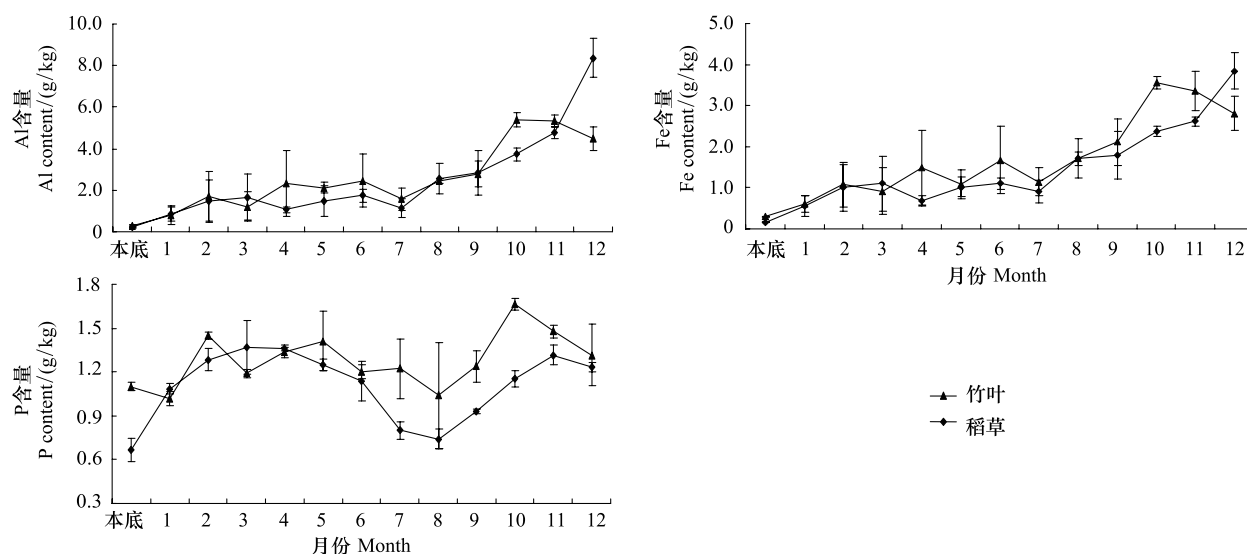


图4 覆盖物 Al 含量、Fe 含量和 P 含量的动态变化

Fig. 4 Dynamic changes in Al, Fe and P contents in residual mulching materials

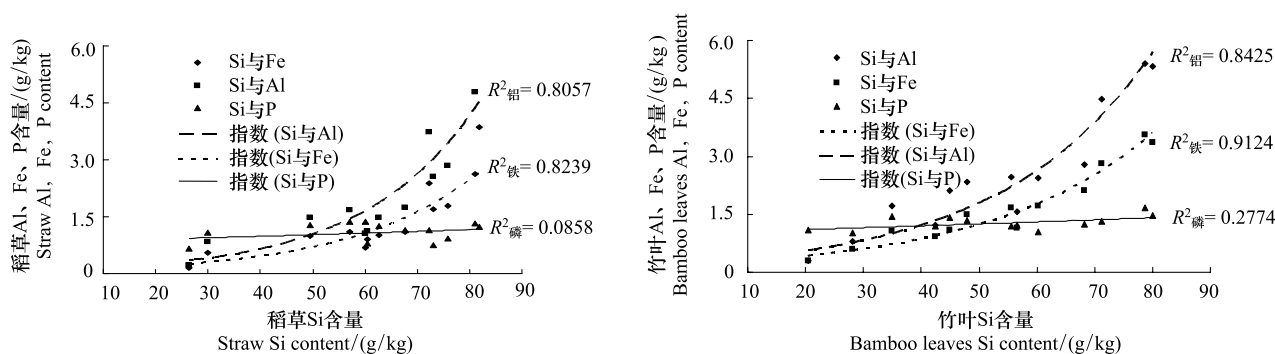


图5 稻草和竹叶覆盖物中 Si 含量与 Al 含量、Fe 含量、P 含量之间的相关性

Fig. 5 Relationship between Si contents and in Al, Fe or P contents in residual mulching materials of straw and bamboo leaves

生产。这些覆盖物的分解有别于一般的林木凋落物,但作为有机物料,其分解过程及其对环境条件的响应与林木凋落物有一定的相似之处。植物分解损失 50% 的质量所需要的时间称为该植物分解的半衰期,其大小因植物种类不同而变化。本试验中,竹叶、稻草的半衰期分别为 166 d 和 228 d,远小于我国亚热带主要树种(水杉、青冈、毛竹等 9 种的分解半衰期为 0.98—4.95 a)^[11]、亚热带人工林(马尾松、湿地松等)^[12]和一些其他树种^[13-19],说明雷竹覆盖物分解速率大于亚热带地区多数林地的自然凋落物。

从凋落物性质来看,影响凋落物分解的因素有 N 浓度、P 浓度、木质素与纤维素浓度、C/N、木质素/N、C/P 等^[20],其中 N 浓度、C/N 最能影响分解的速率^[21-22]。N 浓度决定微生物生物量的增长和微生物矿化有机碳的周转,高 N 浓度的植物残体更易被微生物分解^[21,23]。本试验中竹叶 C/N 比为 20.51,显著低于稻草的 C/N 比(49.04),竹叶 N 含量为 22.26 g/kg,远高于稻草 N 含量(8.64 g/kg),这是竹叶分解较快的原因之一(表 1)。雷竹冬季覆盖中采用双层覆盖技术,一般稻草处于厚重的竹叶覆盖物的下层,在分解过程中, O_2 被好氧微生物耗尽,加上土壤呼吸释放的 CO_2 不能及时排出,使好氧菌的生长受到影响,降低了微生物生物量,改变了种群结构,可能使稻草分解比较缓慢(图 1)。另外, Si 含量较高的植物残体具有较低的可分解性^[24],而稻草中的 Si 含量高于竹叶(表 1),这可能是稻草月平均分解速率低于竹叶的另一原因。本试验中,采用分解管内双层覆盖物的处理是为了更好地还原实际生产中的覆盖技术操作,研究该种雷竹栽培条件下覆盖物的分解动态变化过程,因此不可避免地产生如两种覆盖物的分解条件有些许差异的问题。为更好地表达稻草和竹叶这两

种覆盖物在相同条件下的雷竹林地内分解时的不同规律,并探讨其与实际生产操作之间的差异,在今后的实验设计中,应当增加分解管内单层覆盖稻草或者竹叶这两种对照处理。另外,为了更好地模拟自然状态下的分解状态,应当在供试的 PVC 分解管壁上开若干小孔,并用孔径为 0.5 mm 的尼龙网盖住,使管内覆盖物既不会掉落又大大增加其通气程度,以期分解在尽可能接近自然的条件下进行。

从雷竹覆盖物分解动态来看,竹叶和稻草分解高峰处于 3—10 月,主要是由于气温回暖,微生物活性增强,分解速率随温度的升高而增加^[25-26]。5 月起稻草分解速率激增、质量损失率迅速提高可能是真菌作用所致,在 5 月采集稻草样品时发现大量的白色菌类,表明土壤中的真菌深入稻草中,加速了稻草中木质素等难分解物质的分解^[27]。受梅雨季节和夏季台风暴雨的影响,覆盖物的分解加速,到 7 月、8 月,竹叶、稻草分解速率分别高达 16.3% 和 19.1%。试验结果中,关于 C、N、C/N 的结果与前人研究结果一致:竹叶和稻草在分解过程中 C 含量随时间的推移而下降^[28-29],而 N 元素出现富集现象^[28-32]。覆盖物分解过程中的 N 素富集可能还与大气 N 沉降^[33]、微生物固持^[20]和其他土壤生物的活动有关^[28]。另外,稻草中 N 素的迅速增加可能还与上层竹叶分解后 N 素淋溶下渗有关。

3.2 分解残余物中 Si 含量及其与其他元素的关系

本试验中,覆盖物的分解残余物中 Si 含量出现相对富集,这与 Si 元素通常被结合在较难分解的物质中有关;而在分解末期竹叶分解残余物中 Si 含量较高,这可能是由于竹叶质量损失率较稻草大,而通常损失的这部分质量大多是易分解的糖、蛋白质、纤维素等一些类似的有机物被分解而引起的^[34],而 Si 含量的增加正是伴随着这些物质的分解,产生了含量上的相对富集,使竹叶分解残余物中 Si 含量高于稻草。残余物中 Si 含量与 Al、Fe 含量之间呈极显著的相关性,而与 P 含量之间无显著相关性。可能是因为 Si 与 Al、Fe 的生物分解系数比较接近,而与 P 相差较大^[14],在分解过程中损失缓慢,都表现为相对富集。

References:

- [1] Jin A W, Zhou G M, Zheng B S, Zhao X W. Preliminary study on degenerative mechanism of *Phyllostachys praecox* stand. Journal of Fujian College of Forestry, 1999, 19(1): 94-96.
- [2] Jiang P K, Yu Y W, Zhang L Q, Xu X W. Study on enzyme activities of soil under *Phyllostachys praecox* f. prevelnalis forest. Journal of Zhejiang Forestry College, 2000, 17(2): 14-18.
- [3] Jiang P K, Xu Q F, Zhou G M, Meng C F. Soil quality under *Phyllostachys praecox* stands and its evolution trend. Beijing: Agriculture Press, 2009: 267.
- [4] Conley D J. Terrestrial ecosystems and the global biogeochemical silica cycle. Global Biogeochem Cycle, 2002, 16(4): 1121.
- [5] Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1994, 91(1): 11-17.
- [6] Parr J F, Sullivan L A, BiHua C, GongFu Y, WeiPeng Z. Carbon bio-sequestration within the phytoliths of economic bamboo species. Global Change Biol, 2010, 16(10): 2661-2667.
- [7] Chang Z L. Silicon nutrition in plant and the popularization of silicate fertilizer. Journal of Weifang University, 2004, 4(2): 25-26.
- [8] Parr J F, Sullivan L A. Soil carbon sequestration in phytoliths. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(1): 117-124.
- [9] Zuo X X, Lü H Y. Carbon sequestration within millet phytoliths from dry-farming of crops in China. Chinese Science Bull, 2011, 56(32): 3451-3456.
- [10] SSSC(Soil Science Society of China). Analytical method of soils and agricultural chemistry. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [11] Jiang X L, Dou R P, Jiang H, Yu S Q, Ma Y D. Leaf Litter Decomposition of Main Subtropical Plants with Different Origin Time in the South Subtropical Asia. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(24): 12054-12058.
- [12] Li H T, Yu G R, Li J Y, Chen Y R, Liang T. Decomposition dynamics and nutrient release of litters for four artificial forests in the red soil and hilly region of subtropical China. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 898-908.
- [13] Li J B, Yan W D, Ma X H. Litter fall production and nutrient dynamics of *cinnamomum camphora* in subtropical region. Journal of Central South University & Technology, 2011, 31(5): 223-228.
- [14] Yu Y W, Wu J S. Dynamics and decomposition of characteristics of litter of evergreen broad-leaved forest with *schima superba*. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2): 63-65.

- [15] Ma C, Dong S F, Mo J M. Response of litter decomposition to changes of litter input in a pine forest of Dinghushan. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(4): 647-653.
- [16] Dou R P, Jiang H, Yu S Q, Ma Y D, Guo P P. Decomposition of *Cryptomeria fortunei* leaf litter in subtropical and tropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1758-1763.
- [17] Lin K M, Zhang Z Q, Ye M F, Lin Y, Li Q S. Dynamic analysis of decomposition characteristics and content change of nutrient elements of leaf litter of *Cunninghamia lanceolata*, *Phoebe bournei* and *Schima superba* under *C. lanceolata* artificial forest. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2010, 19(2): 34-39.
- [18] Dou R P, Jiang H, Yu S Q, Ma Y D, Song X Z, Guo P P, Zhang X C. Leaf litter decomposition of four tree species in subtropical China. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2010, 27(2): 163-169.
- [19] Dou R P, Jiang H, Yu S Q, Ma Y D, Guo P P, Song X Z. Leaf litter decomposition of six trees in Mid-subtropical and tropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(16): 4521-4528.
- [20] Liu Q, Peng S L. *Ecology of plant litter*. Beijing: Science Press, 2010. 184.
- [21] Heal O W, Anderson J M, Swift M J. *Plant litter quality and decomposition: an historical overview. Driven by nature: plant litter quality and decomposition*. CAB International, Wallingford, 1997: 3-30.
- [22] Taylor B R, Parkinson D, Parsons W F. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*, 1989, 70(1): 97-104.
- [23] Hunt J E, McNeil D L. Nitrogen status affects UV-B sensitivity of cucumber. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1998, 25(1): 79-86.
- [24] Cornelissen J C, Thompson K. Function leaf attributes predict litter decomposition rate in herbaceous plant. *New Phytol*, 1997, 135(1): 109-114.
- [25] Guo J F, Yang Y S, Chen G S, Lin P, Xie J S. A Review on litter decomposition in forest ecosystem. *Scientia Silvae Sinica*, 2006, 42(4): 93-100.
- [26] Wang Q B, Li L H, Bai Y F, Xing X R. Effects of simulated climate change on the decomposition of mixed litter in three steppe communities. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(6): 674-679.
- [27] Amundsen K A. (Lin B Q, Zhou Z G translation.). *The nature and function of forest soil*. Beijing: Science Press, 1984:33-46.
- [28] Xie B D, Fang S Z, Qi S D, Li H Y. Decomposition and nutrient release of four mulching plants in the upland area of Guizhou Province. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2009, 33(5): 12-15.
- [29] Liu Y, Han S J, Lin L. Dynamic Changes in Soil Nutrients of Four Types of Forests in Changbai Mountains during Litter Decomposition. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(8): 28-30.
- [30] Zhao H M, Huang G, Ma J, Li Y, Fan L L, Zhou L. Study on Dynamic Status of Litter Decomposition and Nutrients of Typical Desert Plants. *Arid Zone Research*, 2012, 29(4): 628-634.
- [31] Hou L L, Sun T, Mao Z J, Lü H L, Zhao J, Song Y. Litter Decomposition and Nutrient Dynamic of *Betula platyphylla* Secondary Forest with Different Stand Ages in Xiaoxing'an Mountains. *Bulletin of Botanical Research*, 2012, 32(4): 492-496.
- [32] Wang X, Gao M D, Yang F, Guo Y P, Ma C M. Litter Decomposition and Nutrient Dynamics of *Larix principis-rupprechtii* Plantations of Different Ages. *Journal of Northeast Forestry University*, 2012, 40(10): 56-60.
- [33] Guo W, Zhang J, Huang Y M, Liu X, Wang W, Xue L. Research progress on the influencing factors of forest litter. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2009, 37(4): 1544-1546.
- [34] Huang C Y, G L B, X P G. *Soil Science*. Beijing: Agriculture Press, 2000: 311.

参考文献:

- [1] 金爱武, 周国模, 郑炳松, 赵夏威. 雷竹保护地栽培林分退化机制的初步研究. *福建林学院学报*, 1999, 19(1): 95-97.
- [2] 姜培坤, 俞益武, 张立钦, 许小婉. 雷竹林地土壤酶活性研究. *浙江林学院学报*, 2000, 17(2): 132-136.
- [3] 姜培坤, 徐秋芳, 周国模, 孟赐福. 雷竹林土壤质量及其演变趋势. 北京市: 中国农业出版社, 2009: 267.
- [7] 常志隆. 植物的硅素营养及硅肥的推广应用. *潍坊学院学报*, 2004, 4(2): 25-26.
- [10] 中国土壤学会. *土壤农业化学分析方法*. 北京市: 中国农业科学技术出版社, 2000.
- [11] 姜小丽, 窦荣鹏, 江洪, 余树全, 马元丹. 不同起源时间的亚热带主要树种凋落物在南亚热带的分解研究. *安徽农业科学*, 2012, 40(24): 12054-12058.
- [12] 李海涛, 于贵瑞, 李家永, 陈永瑞, 梁涛. 亚热带红壤丘陵区四种人工林凋落物分解动态及养分释放. *生态学报*, 2007, 27(3): 898-908.
- [13] 李洁冰, 闫文德, 马秀红. 亚热带樟树林凋落物量及其养分动态特征. *中南林业科技大学学报*, 2011, 31(5): 223-228.
- [14] 俞益武, 吴家森. 木荷林凋落物的归还动态及分解特性. *水土保持学报*, 2004, 18(2): 63-65.
- [15] 马川, 董少锋, 莫江明. 鼎湖山马尾松林凋落物分解对凋落物输入变化的响应. *生态环境学报*, 2012, 21(4): 647-653.

- [16] 窦荣鹏, 江洪, 余树全, 马元丹, 郭培培. 柳杉凋落物在中国亚热带和热带的分解. 生态学报, 2010, 30(7): 1758-1763.
- [17] 林开敏, 章志琴, 叶发茂, 林艳, 李卿叁. 杉木人工林下杉木、楠木和木荷叶凋落物分解特征及营养元素含量变化的动态分析. 植物资源与环境学报, 2010, 19(2): 34-39.
- [18] 窦荣鹏, 江洪, 余树全, 马元丹, 宋新章, 郭培培, 张小川. 4 种亚热带树木凋落物的分解研究. 浙江林学院学报, 2010, 27(2): 163-169.
- [19] 窦荣鹏, 江洪, 余树全, 马元丹, 郭培培, 宋新章. 热带尖峰岭和亚热带千岛湖六种凋落物的分解特征. 生态学报, 2010, 30(16): 4521-4528.
- [20] 刘强, 彭少麟. 植物凋落物生态学. 北京市: 科学出版社, 2010. 184.
- [25] 郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 林鹏, 谢锦升. 森林凋落物分解研究进展. 林业科学, 2006, 42(4): 93-100.
- [26] 王其兵, 李凌浩, 白永飞, 邢雪荣. 模拟气候变化对 3 种草原植物群落混合凋落物分解的影响. 植物生态学报, 2000, 24(6): 674-679.
- [27] 阿姆森, 林柏群, 周重光译. 森林土壤: 性质和作用. 北京市: 科学出版社, 1984. 241.
- [28] 谢宝东, 方升佐, 蔡山丁, 李华勇. 四种生物覆盖植物的自然分解及养分释放动态. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009, 33(5): 12-15.
- [29] 刘颖, 韩士杰, 林鹿. 长白山 4 种森林凋落物分解过程中养分动态变化. 东北林业大学学报, 2009, 37(8): 28-30.
- [30] 赵红梅, 黄刚, 马健, 李彦, 范连连, 周丽. 典型荒漠植物凋落物分解及养分动态研究. 干旱区研究, 2012, 29(4): 628-634.
- [31] 侯玲玲, 孙涛, 毛子军, 吕海亮, 赵娟, 宋元. 小兴安岭不同林龄天然次生白桦林凋落物分解及养分变化. 植物研究, 2012, 32(4): 492-496.
- [32] 王欣, 高明达, 杨飞, 郭延鹏, 马长明. 不同林龄华北落叶松人工林叶凋落物分解及养分动态比较. 东北林业大学学报, 2012, 40(10): 56-60.
- [33] 郭伟, 张健, 黄玉梅, 刘旭, 王伟, 薛林. 森林凋落物影响因子研究进展. 安徽农业科学, 2009, 37(4): 1544-1546.
- [34] 黄昌勇, 李保国, 潘根兴. 土壤学. 北京市: 中国农业出版社, 2000: 311.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

Autecology & Fundamentals

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zebrafish *Danio rerio* XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

Population, Community and Ecosystem

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH₄ uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N₂O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 王德利

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元