

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

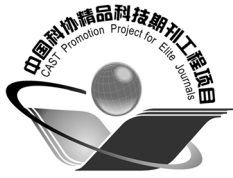


中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

第52卷 第6期

Vol.52 No.6



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

目 次

综述与评论

- 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑····· 赵彦锋 程道全 陈杰等 (1197)
- 蚯蚓对土壤温室气体排放的影响及机制研究进展····· 卢明珠 吕宪国 管强等 (1209)

研究论文

- 高寒山区地形序列土壤有机碳和无机碳垂直分布特征及其影响因素····· 杨帆 黄来明 李德成等 (1226)
- 中国中、东部典型县域土壤与地表水体多样性的粒度效应及关联性····· 任圆圆 张学雷 (1237)
- 渭北台塬区耕地土壤速效养分时空变异特征····· 于洋 赵业婷 常庆瑞 (1251)
- 黄河三角洲土壤含水量状况的高光谱估测与遥感反演····· 李萍 赵庚星 高明秀等 (1262)
- 干湿交替对黄土崩解速度的影响····· 王健 马璠 张鹏辉等 (1273)
- 晋陕蒙接壤区露天矿层状土壤水分入渗特征与模拟····· 吴奇凡 樊军 杨晓莉等 (1280)
- 旱作褐土中氧化铁的厌氧还原与光合型亚铁氧化特征····· 孙丽蓉 王旭刚 徐晓峰等 (1291)
- 流动电位法研究高岭石胶体对包铝石英砂zeta电位的影响····· 李忠意 徐仁扣 (1301)
- 近10年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析····· 于飞 施卫明 (1311)
- 太行山山麓平原30年间土壤养分与供肥能力变化····· 刘建玲 贾可 廖文华等 (1325)
- 亚热带丘陵小流域土壤碳氮磷生态计量特征的空间分异性····· 杨文 周脚根 王美慧等 (1336)
- 塔里木盆地北缘绿洲土壤化学计量特征····· 李红林 贡璐 朱美玲等 (1345)
- 东北平原土壤硒分布特征及影响因素····· 戴慧敏 宫传东 董北等 (1356)
- 浙江南部亚热带森林土壤植硅体碳的研究····· 林维雷 应雨骐 姜培坤等 (1365)
- 土壤非多次叠加污染对蚯蚓的毒性效应····· 马静静 钱新春 张伟等 (1374)
- 有机肥对黄瓜枯萎病的防治效果及防病机理研究····· 赵丽娅 李文庆 唐龙翔等 (1383)
- 滴灌枸杞对龟裂碱土几种酶活性的改良效应····· 张体彬 康跃虎 万书勤等 (1392)
- 石羊河流域中下游浅层地温变化及其对气温变化的响应····· 杨晓玲 丁文魁 马中华等 (1401)
- 高放废物处置库预选场址包气带土壤渗透性研究····· 李杰彪 苏锐 周志超等 (1412)

研究简报

- 基于TM数据的黑土有机质含量空间格局反演研究····· 宋金红 吴景贵 赵欣宇等 (1422)
- 陕西省玉米土壤肥力与施肥效应评估····· 单燕 李水利 李茹等 (1430)
- 宇宙射线土壤水分观测方法在黄土高原草地植被的应用····· 赵纯 袁国富 刘晓等 (1438)

信息

- 《土壤学报》入选“2015期刊数字影响力100强”····· (1437)

封面图片：滴灌枸杞改良龟裂碱土重度盐碱荒地（由张体彬提供）

DOI: 10.11766/trxb201409260489

浙江南部亚热带森林土壤植硅体碳的研究*

林维雷^{1, 2} 应雨骥^{1, 2} 姜培坤^{1, 2†} 黄张婷^{1, 2} 吴家森^{1, 2} 孟赐福^{1, 2}

(1 浙江农林大学环境与资源学院, 浙江临安 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, 浙江临安 311300)

摘要 植硅体封存有机碳 (Phytolith-occluded organic carbon, PhytOC) 是一种稳定的有机碳形态。它由植物自身硅化作用产生, 在植物死亡或凋落后归还于土壤, 从而影响森林生态系统稳定性碳库的储量。本文以浙江庆元县 5 种不同亚热带典型森林立地土壤为研究对象, 利用不同土层深度 (0~10 cm、10~30 cm、30~60 cm 和 60~100 cm) 土壤样品, 分析土壤植硅体含量和植硅体碳含量, 并估算土壤中植硅体碳储量。结果表明, 毛竹林、杉木林、针阔混交林、阔叶林和马尾松林土壤植硅体含量 (土壤剖面平均值) 变化范围在 8.14~19.74 g kg⁻¹, 其中毛竹林土壤植硅体含量最高。而植硅体中 PhytOC 平均含量最高的为马尾松林 (24.31 g kg⁻¹), 最低的为针阔混交林 (13.06 g kg⁻¹)。土壤 PhytOC/TOC 比值随土层深度增加而急剧增加。统计分析表明, 不同林分下土壤硅含量与土壤植硅体含量呈极显著相关关系 ($p < 0.01$), 与土壤 PhytOC 含量之间呈显著的正相关关系 ($p < 0.05$)。我国亚热带毛竹林、杉木林、马尾松林、阔叶林和针阔混交林 1 m 土体 PhytOC 总储量分别为 1.988×10^7 、 4.025×10^7 、 2.575×10^7 、 2.542×10^7 和 0.340×10^7 t。

关键词 亚热带; 森林土壤; 土层; 植硅体; 植硅体碳 (PhytOC)

中图分类号 S151 **文献标识码** A

森林生态系统是全球陆地生态系统中最大的碳库, 占整个陆地碳库的 56%。陆地植被与大气 CO₂ 的交换占整个土气交换的 90% 以上, 因此森林生态系统在控制大气 CO₂ 浓度方面起着极其重要的作用^[1]。土壤有机碳通常占土壤总碳的 95% 以上^[2]。全球土壤 1 m 深有机碳库达到 1 550 pg, 是大气碳库的 2.2 倍^[3]。

在土壤有机碳中, 包括一种通过植物死亡或凋落物掉落的途径进入土壤的有机碳, 这种有机碳被称为植硅体封存有机碳 (Phytolith-occluded organic carbon, PhytOC), 简称植硅体碳。土壤中植硅体碳仅占土壤总有机碳的一小部分, 但由于它在土壤环境具有高抗分解能力^[3-4], 可以长期 (数千年至万年以上) 封存在土壤剖面中, 从而成为陆地土壤长期 (万年尺度) 固碳的重要机制之

一。土壤植硅体碳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^[3, 5-8], 已经引起环境科学家的极大关注^[5-9]。

目前, 对森林土壤碳汇的研究多集中于土壤有机碳分布^[10-12]及有机碳储量^[13-14]估算等方面, 而对植硅体封存有机碳在陆地生态系统碳循环方面的研究一直没有得到足够的重视^[7]。对植硅体的研究多集中于高硅的禾本科植物^[5, 8, 15-18], 而且研究的重点多侧重于地上部。关于森林土壤中植硅体和植硅体碳储量及其植硅体在土壤剖面中迁移则鲜见报道。

中国亚热带森林分布十分广阔, 植被类型极其丰富, 毛竹林、杉木林、马尾松林、阔叶林和针阔混交林是其主要的森林类型。因此, 深入了解亚热带森林土壤植硅体碳储量及其长期的固碳潜力是非

* 国家自然科学基金项目 (31270667) 资助

† 通讯作者: 姜培坤 (1963—), 男, 教授, 从事土壤与环境学研究。E-mail: jiangpeikun@zafu.edu.cn

作者简介: 林维雷 (1989—), 男, 浙江温州人, 硕士研究生, 主要从事森林土壤质量与环境学研究。E-mail: branches621537@hotmail.com

收稿日期: 2014-09-26; 收到修改稿日期: 2014-11-20

常必要的。本研究旨在比较亚热带不同森林土壤中植硅体和植硅体碳含量的差异,探讨土壤植硅体碳在土壤剖面中的分布特征,估算不同森林土壤植硅体碳储量,以便为准确估算亚热带地区森林生态系统中的植硅体碳封存潜力提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于庆元县竹口镇誉双村大圩桥自然村。竹口镇地处浙江省西南部浙闽交界山区(118°54' E, 27°42' N),全境山岭连绵,群峰起伏,地势自东北向西南倾斜,由西向东海拔240~1 500 m。气候属亚热带季风区,温暖湿润,四季分明,年均气温17.4℃,降水量1 760 mm,无霜期245 d。研究区域土壤为发育于流纹岩的红壤,主要分布于海拔800 m以下;土层深厚,有机质含量高,自然肥力较好。

1.2 样地设置与样品采集

选取坡度、海拔基本一致的4个采样区作为重复,每个采样区5种森林类型齐全,基本情况如下:

(1) 毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 林: 海拔340 m, 坡度25°, 种植年限30 a, 竹龄1~3 a, 郁闭度80%, 平均胸径8 cm, 树高12 m, 林下灌木稀少;

(2) 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 林: 海拔430 m, 坡度28°, 树龄30 a, 郁闭度80%, 平均胸径15.2 cm, 树高12.5 m;

(3) 马尾松 (*Pinus massoniana*) 林: 海拔340 m, 坡度25°, 树龄28 a, 平均胸径13 cm, 树高15 m, 郁闭度90%, 林下植被有连蕊茶 (*Camellia fraterna*)、乌饭 (*Vaccinium bracteatum*) 等;

(4) 阔叶林: 海拔350 m, 坡度25°, 树龄30 a, 平均胸径12 cm, 树高12 m, 主要优势树种有青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*)、木荷 (*Schima superba*) 等;

(5) 针阔混交林: 海拔340 m, 坡度26°, 树龄29 a, 平均胸径13 cm, 树高13 m, 主要优势树种为苦槠、木荷、马尾松。

在各采样区的每种森林类型的土壤中选择20 m×20 m的代表性样地,以蛇形法选取4个点垂直挖取1 m土壤剖面,采集0~10 cm、10~30 cm、

30~60 cm、60~100 cm 4个土层土样,剔除粗大根系和砾石,同时用容重圈采集土壤。将四个采样区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。

1.3 样品分析

采回的土样经自然风干后,去除砾石和根系后,用木棍反复碾碎后过2 mm筛,直至不能过筛为止。用于提取植硅体的土样需再用玛瑙研钵磨细并过0.149 mm筛后备用。

土壤有机碳用重铬酸钾-外加热法测定;土壤有效磷用Bray I法,在650 nm波长下比色测定;土壤碱解氮用碱解扩散法测定;土壤全硅用偏硼酸锂熔融-乙酸缓冲液提取-钼蓝比色法测定^[19]。5种森林类型土壤的基本化学性质见表1。

土样中植硅体的分离采用微波消解法^[20],并用Walkley-Black方法检验植硅体外缘的有机碳是否完全除去^[21]。将分离所得植硅体放入一个已知质量的离心管中,并在75℃鼓风烘箱中烘干24 h,样品冷却后称重以确定植硅体的质量。土壤植硅体碳的测定采用杨杰等^[22]的碱溶分光光度法。在样品测定的同时加入土壤标准样(GBW07405)对测定的准确性进行检验。

1.4 数据处理

文中数据为4个采样区的平均值。土壤植硅体含量、植硅体中PhytOC含量、土壤植硅体碳含量及土壤植硅体碳储量按如下公式计算:

$$\text{土壤植硅体含量 (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{植硅体质量 (g)}}{\text{土壤质量 (kg)}} \quad (1)$$

$$\text{植硅体中PhytOC含量 (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{植硅体碳质量 (g)}}{\text{植硅体质量 (kg)}} \quad (2)$$

$$\text{土壤植硅体碳含量 (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{植硅体碳质量 (g)}}{\text{土壤质量 (kg)}} \quad (3)$$

$$\text{土壤植硅体碳储量 (kg hm}^{-2}\text{)} = \sum_{i=1}^n [10\ 000 \text{ m}^2 \times i \text{ 层土壤深度 (m)} \times i \text{ 层土壤容重 (t m}^{-3}\text{)} \times i \text{ 层植硅体碳含量 (kg t}^{-1}\text{)}] \quad (4)$$

试验数据采用Excel 2010和Origin进行作图,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

2.1 不同森林类型土壤植硅体中PhytOC的比较

如图1所示,植硅体在不同森林类型土壤中

表1 样地土壤基本理化性

Table 1 Basic physical and chemical properties of the soils in the sampling plots

森林类型 Forest type	土层 Soil depth (cm)	有机碳 Organic carbon (g kg ⁻¹)	Si (g kg ⁻¹)	碱解氮 Hydrolytic N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	pH	土壤容重 Soil bulk density (g cm ⁻³)
毛竹 Moso bamboo stand	0~10	19.05	57.10	76.8	1.37	4.82	1.10
	10~30	10.65	56.00	55.1	0.76	4.79	1.15
	30~60	6.77	60.30	41.2	0.70	4.77	1.20
	60~100	4.57	60.56	18.9	0.31	4.75	1.24
杉木林 Chinese fir stand	0~10	11.85	48.65	86.5	1.24	4.68	1.05
	10~30	5.44	45.90	58.3	1.04	4.67	1.15
	30~60	5.03	52.09	41.0	0.79	4.71	1.20
马尾松林 Masson pine stand	60~100	4.74	47.64	27.2	0.53	4.76	1.23
	0~10	16.98	26.51	79.1	0.89	4.59	1.10
	10~30	7.64	24.03	34.9	0.76	4.63	1.16
阔叶林 Broadleaf stand	30~60	5.36	27.56	26.4	0.46	4.64	1.20
	60~100	3.23	23.60	17.6	0.34	4.84	1.22
	0~10	22.31	26.11	116.9	4.41	4.71	1.02
针阔混交林 Mixed conifer- broadleaf stand	10~30	16.84	32.16	71.8	2.25	4.84	1.10
	30~60	8.37	25.22	39.2	1.34	4.89	1.15
	60~100	4.71	27.49	25.5	0.92	4.94	1.17
阔叶林 Broadleaf stand	0~10	15.10	52.66	80.8	1.81	4.90	1.08
	10~30	8.04	37.57	42.4	1.09	4.74	1.12
	30~60	5.86	41.14	27.6	0.52	4.73	1.18
	60~100	3.51	36.94	18.6	0.50	4.80	1.23

的含量以及植硅体中PhytOC的平均含量有一定的差异。不同森林类型的土壤植硅体变化范围在8.14~19.73 g kg⁻¹之间，其中毛竹林（19.73 g kg⁻¹）与马尾松林（8.14 g kg⁻¹）、阔叶林（12.24 g kg⁻¹）之间有显著差异。植硅体中PhytOC的平均含量变化范围在13.06~24.31 g kg⁻¹之间，马尾松林（24.31 g kg⁻¹）与针阔混交林（13.06 g kg⁻¹）之间存在显著差异。

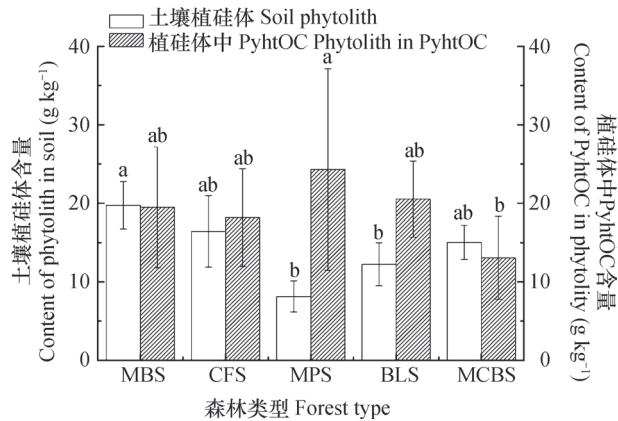
如图2所示，不同森林类型土壤植硅体碳的平均含量和PhytOC/TOC的平均比率也存在一定差异。土壤植硅体碳变化范围在0.191~0.458 g kg⁻¹之间，其中毛竹林（0.458 g kg⁻¹）与马尾松林（0.191 g kg⁻¹）、针阔混交林（0.196 g kg⁻¹）之间差异显著。而PhytOC/TOC的平均含量变化范围在2.73%~5.50%之间，毛竹林（5.50%）与马尾松林（3.05%）、针阔混交林（3.03%）和阔叶林

（2.73%）之间差异显著。

2.2 不同森林类型土壤植硅体碳在土壤剖面中的分布

土壤植硅体含量随土层深度的变化因森林类型不同而有差异（图3A）。毛竹林和马尾松林土壤植硅体含量从0~10 cm土层至10~30 cm土层的降幅较小，10~30 cm土层以下的降幅较大，尤其是毛竹林植硅体含量30~60 cm土层的降幅更大。杉木林土壤植硅体含量呈现先增后降又增的趋势。阔叶林和针阔混交林下土壤植硅体含量呈现先降低后缓慢增加的趋势。

不同森林类型土壤植硅体碳含量随土层深度的变化趋势也有差异（图3B）。毛竹林和杉木林土壤植硅体碳含量总体随土壤深度的增加而降低，阔叶林土壤植硅体碳含量随土层深度的变化呈现先降后增又降的趋势，针阔混交林土壤PhytOC含量呈



注: MBS, 毛竹林; CFS, 杉木林; MPS, 马尾松林; BLS, 阔叶林; MCBS, 针阔混交林。误差线为标准差 ($n = 4$)。同一森林类型字母不同表示差异达0.05显著水平。下同Note: MBS, Moso bamboo stand; CFS, Chinese fir stand; MPS, Masson pine stand; BLS, Broad leaf stand; MCBS, Mixed conifer-broadleaf stand. The error bar ($n=4$) represents the standard deviation. Different letter indicate significant difference for the same stand at 0.05 level. The same below.

图1 不同森林类型土壤植硅体和植硅体中PhytOC的平均含量

Fig. 1 Average contents of phytolith in soil and PhytOC in phytolith under different forest types

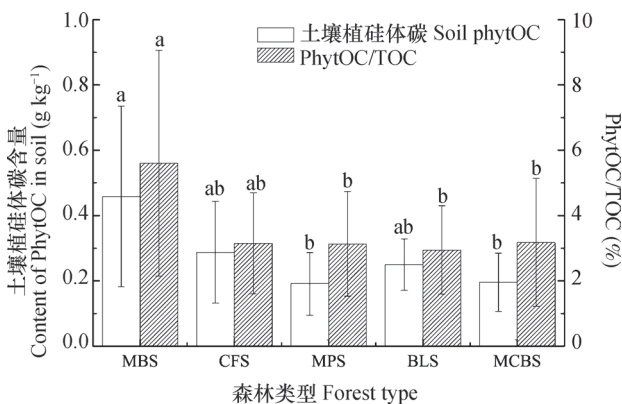


图2 不同森林类型土壤植硅体碳的平均含量和PhytOC/TOC的平均比率

Fig. 2 Average contents of soil PhytOC and average ratio of PhytOC/TOC under different forest types

现随土层深度的变化呈现先降后增的趋势, 而马尾松林土壤植硅体碳含量随土层深度增加呈现先增后降的趋势。

马尾松林PhytOC/TOC在0~30 cm土壤随着土层深度增加而急剧增加, 30 cm以下增加的趋势并不明显, 而其他4种森林土壤PhytOC/TOC随着土层

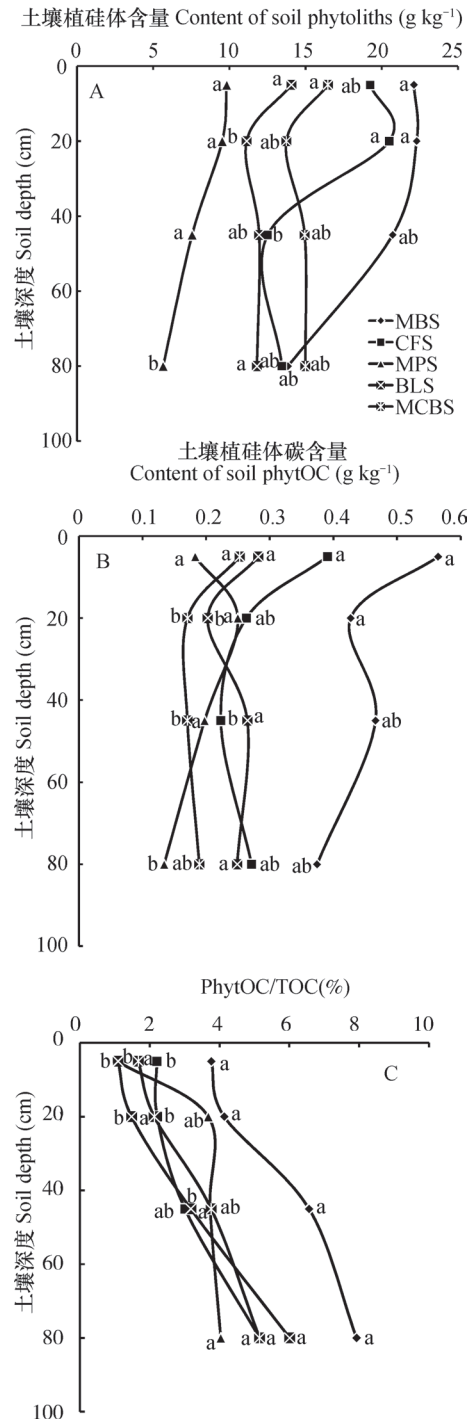


图3 不同森林类型土壤植硅体 (A)、植硅体碳含量 (B) 和PhytOC/TOC (C) 随土壤深度的变化

Fig.3 Change in phytolith (A), PhytOC (B) and PhytOC/TOC (C) in the soils under different forest stands with soil depth

深度增加而急剧增加。毛竹林、杉木林、马尾松林、阔叶林和针阔混交林30 cm以下土层的PhytOC/TOC分别为0~30 cm的1.83倍、1.84倍、1.64倍、3.57倍和2.34倍 (图3C)。

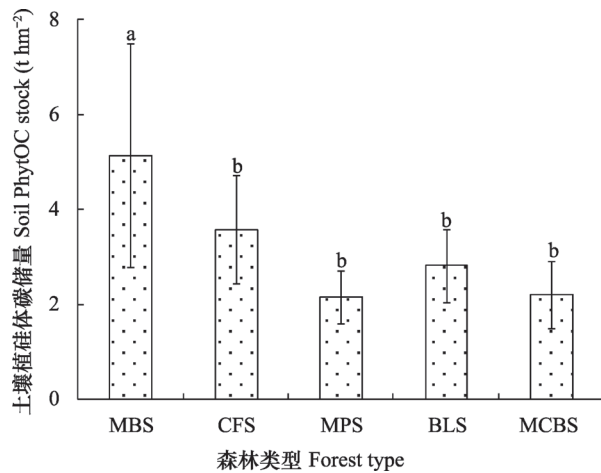


图4 不同森林类型0~100 cm土层植硅体碳储量的比较

Fig.4 Comparison of soil PhytOC stocks in 0~100 cm depth under different forest stands

由图4可以看出,不同森林类型0~100 cm土壤植硅体碳储量按如下次序递减:毛竹林(5.138 t hm⁻²) > 杉木林(3.562 t hm⁻²) > 针阔混交林(2.810 t hm⁻²) ≈ 马尾松林(2.191 t hm⁻²) ≈ 阔叶林(2.146 t hm⁻²)。毛竹林土壤植硅体碳储量显著高于其他4种林分($p < 0.05$),而其他4种森林之间的差异并不显著。

2.3 不同森林类型土壤植硅体碳总储量的估算

每种森林土壤的植硅体碳总储量可以由土壤植硅体碳储量和现有的森林面积计算得到。本研究中毛竹林、杉木林、马尾松林、阔叶林和针阔混交林面积分别为 3.87×10^6 、 1.13×10^7 、 1.20×10^7 、 1.16×10^7 ^[36]和 1.55×10^6 hm²,因此土壤PhytOC总储量分别为 1.988×10^7 、 4.025×10^7 、 2.575×10^7 、 2.542×10^7 和 0.340×10^7 t。

3 讨论

3.1 土壤植硅体碳储量的影响因素

森林土壤植硅体碳的积累速率主要取决于植物残体的植硅体含量、植硅体自身生物地球化学稳定性^[2, 7]以及植物残体年输入量。

不同森林类型土壤植硅体含量存在较大的差异主要取决于不同植物对硅的富集能力和土壤硅含量的高低。土壤植硅体主要来源于植物内形成的植硅体,而植物形成植硅体需要从土壤中吸收硅。硅

是组成植硅体的最主要元素,其含量通常在90%以上^[23]。由于不同植物对硅吸收能力不同,因此不同种、属植物间的植硅体含量存在很大的差异^[24]。若干研究表明,植物中的植硅体含量与植物中的硅含量和PhytOC含量之间呈显著的正相关^[6, 14]。一般认为,被子植物植硅体含量要高于裸子植物,而在被子植物里,隶属单子叶植物的禾本科植物植硅体含量较高^[25]。本研究结果也表明,不同森林类型土壤植硅体含量存在较大差异。其中单子叶植物毛竹林土壤植硅体含量最高,而裸子植物马尾松林土壤植硅体含量最低,它们之间的差异达显著水平(图1);同是裸子植物的杉木林,由于土壤中硅含量高于马尾松林,因此其土壤植硅体含量也较高。

土壤植硅体中PhytOC含量可以表征土壤封存植硅体碳的潜能,其含量主要取决于植硅体碳的积累速率和植硅体在土壤中的地球化学稳定性^[26]。植硅体主要成分是SiO₂^[27],具有较好的抗风化、抗腐蚀、抗高温等特性,能够在土壤长时间保存。本研究中,针阔混交林土壤植硅体中PhytOC含量与马尾松林存在显著差异(图1),这可能是由于土壤PhytOC稳定性不同造成的。马尾松林植硅体碳有最高的土壤植硅体碳含量,可能是其稳定性较高所致^[28]。由于陆地植物中的硅是从土壤吸收而来的,因此,不同森林土壤植硅体碳含量还与土壤硅含量有关。本研究的结果表明不同森林类型土壤植硅体含量与土壤硅含量呈极显著正相关($R^2=0.566$, $p < 0.01$),与PhytOC含量也呈显著的正相关性($R^2=0.474$, $p < 0.05$)。这支持了上述论点,即土壤植硅体碳含量随着土壤中硅含量的增加而增加。

森林的凋落物年输入量和植物残体的植硅体含量因森林类型不同而存在差异。森林植物凋落物积聚在土壤表层,其释放的植硅体就被保存在表土中,因此,保存在土壤中植硅体的含量也与森林凋落物生物量的大小有关。

3.2 土壤植硅体碳的剖面分布规律

土壤植硅体含量在土壤剖面中的分布主要取决于土壤剖面特征^[29]、孔隙的大小、水分状况、植硅体与黏土颗粒的黏合强度及植硅体的溶解^[30]。植硅体的大小多在2~2 000 μm之间^[8],因此,

释放到土表的植硅体可以通过土壤孔隙迁移到土壤下层^[31]。但植物残体首先进入土壤表层,因此,植硅体含量和植硅体碳含量相对较高^[3]。水耕人为土中植硅体主要分布于耕作层^[29],碳酸盐岩土壤表土含丰富且形态多样的植硅体,而20 cm以下则含量极少或没有^[32]。本研究结果也表明,土壤中植硅体含量随着土层深度的增加而下降。

植硅体碳因植硅体的抗分解能力得以稳定积累于土壤中,但不同植物生态系统的土壤植硅体碳的储量和植硅体碳稳定性有很大的差异。土壤PhytOC/TOC是土壤植硅体碳占土壤总有机碳的百分比,它是表征长期(数年至数千年)土壤有机碳封存机制的一个重要指标^[33]。Parr等^[8]对10个经济竹林土壤的研究表明,不同竹种和不同土层的PhytOC/TOC变异很大(0.72%~82.47%),表下层土壤具有较高的PhytOC/TOC,主要是由于土壤有机碳在较老土层中被分解所致^[3]。本研究结果也表明,除杉木外其他4种森林类型不同土层PhytOC/TOC有一定差异,PhytOC/TOC随着土层深度的增加而增大(图3C),与土壤有机碳(表1)在剖面中的分布规律相反。而在杉木土壤30cm以下土层中,PhytOC/TOC缓慢增加,这可能是杉木林和阔叶林土壤植硅体碳的稳定性较高并且向下迁移所致^[28]。

4 结论

5种森林类型土壤植硅体变化范围在8.14~19.73 g kg⁻¹之间,其中毛竹林土壤植硅体含量显著高于其他4种森林。植硅体中植硅体碳的含量变化范围在13.06~24.31 g kg⁻¹之间,马尾松林最高。土壤植硅体和植硅体碳含量随着土层深度的增加而减小,而PhytOC/TOC随着土层深度增加而急剧增加,这表明土壤植硅体碳可能在土壤中向下迁移。毛竹林、杉木林、马尾松林、阔叶林和针阔混交林土壤植硅体碳总储量分别为1.988×10⁷、4.025×10⁷、2.575×10⁷、2.542×10⁷和0.340×10⁷ t。

参考文献

- [1] Schlesinger W H. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. *Nature*, 1990, 348 (6298): 232—234
- [2] Berg E V D, Reich P. Organic carbon in soils of the

world. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57: 192—194

- [3] Parr J F, Sullivan L A. Soil carbon sequestration in phytoliths. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37 (1): 117—124
- [4] Wilding L P, Brown R E, Holowaychuk N. Accessibility and properties of occluded carbon in biogenetic opal. *Soil Science*, 1967, 103 (1): 56
- [5] Parr J F, Sullivan L A, Quirk R. Sugarcane phytoliths: Encapsulation and sequestration of a long-lived carbon fraction. *Sugar Tech*, 2009, 11 (1): 17—21
- [6] Song Z, Wang H, Strong P J, et al. Plant impact on the coupled terrestrial biogeochemical cycles of silicon and carbon: Implications for biogeochemical carbon sequestration. *Earth-Science Reviews*, 2012, 115 (4): 319—331
- [7] Song Z, Liu H, Si Y, et al. The production of phytoliths in China's grasslands: Implications to the biogeochemical sequestration of atmospheric CO₂. *Global Change Biology*, 2012, 18 (12): 3647—3653
- [8] Parr J, Sullivan L, Chen B, et al. Carbon bio-sequestration within the phytoliths of economic bamboo species. *Global Change Biology*, 2010, 16 (10): 2661—2667
- [9] Song Z, Parr J F, Guo F. Potential of global cropland Phytolith carbon sink from optimization of cropping system and fertilization. *Public Library of Science One*, 2013, 8 (9): e73747
- [10] 安晓娟, 李萍, 戴伟, 等. 亚热带几种林分类型土壤有机碳变化特征及与土壤性质的关系. *中国农学通报*, 2012, 28 (22): 53—58. An X J, Li P, Dai W, et al. The variation characteristics of soil organic carbon and its relationship with soil properties in typical subtropical plantations (In Chinese). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28 (22): 53—58
- [11] 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等. 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性. *生态学报*, 2013, 33 (2): 416—424. Shang S Y, Jiang P K, Song Z L, et al. Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33 (2): 416—424
- [12] 黄从德, 张健, 杨万勤, 等. 四川森林土壤有机碳储量的空间分布特征. *生态学报*, 2009, 29 (3): 1217—1225. Huang C D, Zhang J, Yang W Q, et al. Spatial distribution characteristics of forest soil organic carbon stock in Sichuan Province (In Chinese). *Acta*

- Ecologica Sinica, 2009, 29 (3): 1217—1225
- [13] 宋满珍, 刘琪璟, 吴自荣, 等. 江西省森林土壤有机碳储量研究. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34 (2): 6—10 Song M Z, Liu Q J, Wu Z R, et al. Organic carbon storage of forest soil in Jiangxi province (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2010, 34 (2): 6—10
- [14] Li Z M, Song Z L, Parr J F, et al. Occluded C in rice phytoliths: implications to biogeochemical carbon sequestration. Plant and Soil, 2013, 370 (1/2): 615—623
- [15] Li Z M, Song Z L, Li B L. The production and accumulation of phytolith-occluded carbon in Baiyangdian reed wetland of China. Applied Geochemistry, 2013, 37 (10): 117—124
- [16] Li Z M, Song Z L, Jiang P K. Biogeochemical sequestration of carbon within phytoliths of wetland plants: A case study of Xixi wetland, China. Chinese Science Bulletin, 2013, 58 (20): 2480—2487
- [17] Parr J F, Sullivan L A. Phytolith occluded carbon and silica variability in wheat cultivars. Plant and Soil, 2011, 342 (1/2): 165—171
- [18] Huang Z T, Li Y F, Jiang P K, et al. Long-term intensive management increased carbon occluded in phytolith (phytOC) in bamboo forest soils. Scientific Reports, 2013, DOI: 10.1038/srep03602
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000
- [20] Parr J F. A comparison of heavy liquid floatation and microwave digestion techniques for the extraction of fossil phytoliths from sediments. Review of Palaeobotany & Palynology, 2002, 120 (1): 315—336
- [21] Walkley A, Black I A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 1934, 37 (1): 29—38
- [22] 杨杰, 李永夫, 黄张婷, 等. 碱溶分光光度法测定植硅体碳含量. 分析化学, 2014, 42 (9): 1389—1390. Yang J, Li Y F, Huang Z T, et al. Determination of phytolith-occluded carbon (Phytoc) content using alkali dissolution-spectrophotometry (In Chinese). Analytical Chemistry, 2014, 42 (9): 1389—1390
- [23] 孟赐福, 姜培坤, 徐秋芳, 等. 植物生态系统中的植硅体闭蓄有机碳及其在全球土壤碳汇中的重要作用. 浙江农林大学学报, 2013, 30 (6): 921—929. Meng C F, Jiang P K, Xu Q F, et al. PhytOC in plant ecological system and its important role in the global soil carbon sink (In Chinese). Journal of Zhejiang A & F University, 2013, 30 (6): 921—929
- [24] 符树根, 黄宝祥, 沈彩周, 等. 毛竹专用肥试验研究. 江西林业科技, 2006 (1): 10—12 Fu S G, Wang B X, Shen C Z, et al. Experimental Research Oil Fertilizer Special for Bamboos (In Chinese). Jiangxi Forestry Science and Technology, 2006 (1): 10—12
- [25] Hodson M J, White P J, Mead A, et al. Phylogenetic variation in the silicon composition of plants. Annals of Botany, 2005, 96 (6): 1027—1046
- [26] Zuo X X, Lu H Y. Carbon sequestration within millet phytoliths from dry-farming of crops in China. Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2011, 56 (32): 3451—3456
- [27] 张新荣, 胡克, 王东坡, 等. 植硅体研究及其应用的讨论. 世界地质, 2004, 23 (2): 112—117. Zhang X R, Hu K, Wang D P, et al. Discussion on research and application of phytolith (In Chinese). Global Geology, 2004, 23 (2): 112—117
- [28] 李正才, 杨校生, 周本智, 等. 北亚热带6种森林凋落物碳素归还特征. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34 (6): 43—46 Li Z C, Yang X S, Zhou B Z, et al. Carbon dynamics of litter-fall under six forest stands in subtropical China (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2010 34 (6): 43—46
- [29] 陈留美, 张甘霖. 水耕人为土时间序列的植硅体及其闭蓄碳演变特征. 土壤通报, 2011, 42 (5): 1025—1030. Chen L M, Zhang G L. Phytoliths and its occluded organic carbon in a stagnic anthrosols chronosequence (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42 (5): 1025—1030
- [30] Rajendiran S M, Coumar M V, Kundu S, et al. Role of phytolith occluded carbon of crop plants for enhancing soil carbon sequestration in agro-ecosystems. Current Science, 2012, 103 (8): 911—919
- [31] Fishkis O, Ingwersen J, Lamers M, et al. Phytolith transport in soil: A field study using fluorescent labeling. Geoderma, 2010, 157: 27—36
- [32] 李仁成, 农日正, 何伟松. 碳酸盐岩红土风化成因的植硅体记录. 科技风, 2012 (5): 188. Li R C, Nong R Z, He W S. Phytolith records of weathering origin of red soil derived from carbonate rock (In Chinese). Technology Wind, 2012 (5): 188
- [33] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. Global Change Biology, 2000, 6 (3): 317—327

STUDY ON PHYTOLITH-OCCLUDED ORGANIC CARBON IN SOIL OF SUBTROPICAL FOREST OF SOUTHERN ZHEJIANG

Lin Weilei^{1, 2} Ying Yuqi^{1, 2} Jiang Peikun^{1, 2†} Huang Zhangting^{1, 2} Wu Jiasen^{1, 2} Meng Cifu^{1, 2}

(1 School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

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

Abstract Phytolith-occluded organic carbon (PhytOC) is a stable form of organic carbon. PhytOC is a product of silicification of a plant per se and goes back into the soil after the plant dies or withers, thus affecting storage of the stable carbon pool in the forest eco-system. Soil samples were collected from four different soil layers (0 ~ 10 cm, 10 ~ 30 cm, 30 ~ 60 cm and 60 ~ 100 cm) in soil profile under five different stands of typical subtropical forest in Qingyuan County, Zhejiang Province for analysis of effects of the forest stands on content of soil phytolith and PhytOC and distribution of PhytOC, and for estimation of total storage of soil PhytOC in these forest soils, separately.

In this study phytolith in soil samples was isolated using the microwave digestion method, and complete removal of peripheral organic carbon from phytolith was validated with the Walkley-Black method. The isolated phytoliths were put into a centrifuge tube with a known mass and dried in a forced air oven at 75°C for 24 h. After cooling down the sample was weighed to determine mass of the phytoliths. Determination of PhytOC was performed using the Alkali Dissolution-Spectrophotometry. At the same time, a portion of standard soil sample (GBW07405) was added to verify accuracy of the measurement.

Results show that the content of phytoliths varied with the type of forest soil and the mean content of PhytOC in phytoliths did, too. The content of Phytoliths in the soil was 19.73 g kg⁻¹ under bamboo groves, 8.14 g kg⁻¹ under Masson pine forest and 12.24 g kg⁻¹ under broad-leaved forest, showing sharp difference between the three. The mean content of PhytOC in soil phytoliths was 24.31 g kg⁻¹ under Masson pine forest and 13.06 g kg⁻¹ under conifer forest, also displaying sharp difference. The content of soil PhytOC under the same forest stand varied with depth in soil profile and the variation trends differed from stand to stand. The content of soil PhytOC decreased with soil depth under Moso bamboo groves and Chinese fir forest and did in a certain degree, too, under the other forest stands. PhytOC/TOC in the soil increased dramatically with soil depth under all the forest stands, except for the stand of Masson pine. The total storage of PhytOC in the soil under Moso bamboo groves, Chinese fir forest, Masson pine forest, broadleaf forest and mixed conifer-broadleaf forest was 1.988 × 10⁷, 4.025 × 10⁷, 2.575 × 10⁷, 2.542 × 10⁷ and 0.340 × 10⁷ t.

To sum up, soil phytoliths under the five different stands of forest vary in the range between 8.14 and 19.73 g kg⁻¹, and the content of soil phytoliths is significantly higher under bamboo groves than under the other four stands of forests. The content of PhytOC in phytoliths varies between 13.06 ~ 24.31 g kg⁻¹, and is the highest under the Masson pine forest. The content of soil silicon is positively related to content of soil PhytOC, suggesting that to raise the content of soil silicon is conducive to the content of soil phytoliths and soil PhytOC.

The content of Phytoliths decreases with soil depth and on the whole, the content of soil PhytOC decreases with soil depth along a soil profile, while PhytOC/TOC rises dramatically with soil depth but not so obvious in the soil layers of 10 ~ 30 cm and 30 ~ 60 cm under Chinese fir forest and broadleaf forest.

Key words Subtropics; Forest soil; Soil depth; Phytolith; Phytolith-occluded organic carbon (PhytOC)

(责任编辑：卢 萍)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system..... Zhao Yanfeng, Cheng Daoquan, Chen Jie, et al. (1207)
 Advancement in study on effect of earthworm on greenhouse gas emission in soil and its mechanism Lu Mingzhu, Lü Xianguo, Guan Qiang, et al. (1224)

Research Articles

- Vertical distributions of soil organic and inorganic carbon and their controls along toposequences in an alpine region Yang Fan, Huang Laiming, Li Decheng, et al. (1235)
 Effect of grain size on and correlation analysis of pedodiversity and surface water body diversity in counties typical of Central and East China Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei (1249)
 Spatial-temporal variability of soil readily available nutrients in cultivated land of Weibei Tableland Area Yu Yang, Zhao Yeting, Chang Qingrui (1260)
 Hyperspectral estimation and remote sensing retrieval of soil water regime in the Yellow River Delta Li Ping, Zhao Gengxing, Gao Mingxiu, et al. (1271)
 Effect of wet-dry alternation on loess disintegration rate Wang Jian, Ma Fan, Zhang Penghui, et al. (1278)
 Experiment and simulation of infiltration from layered soils in open pit mine in Jin-Shaan-Meng adjacent region Wu Qifan, Fan Jun, Yang Xiaoli, et al. (1289)
 Anaerobic redox of iron oxides and photosynthetic oxidation of ferrous iron in upland cinnamon soils Sun Lirong, Wang Xugang, Xu Xiaofeng, et al. (1299)
 Study on effect of kaolinite colloids on zeta potential of Al oxide coated quartz with streaming potential method Li Zhongyi, Xu Renkou (1309)
 Nitrogen use efficiencies of major grain crops in China in recent 10 years Yu Fei, Shi Weiming (1324)
 Changes of soil nutrients and supply capacities in the piedmont plain of Taihang Mountain during the period of 1978–2008 Liu Jianling, Jia Ke, Liao Wenhua, et al. (1334)
 Spatial variation of ecological stoichiometry of soil C, N and P in a small hilly watershed in subtropics of China Yang Wen, Zhou Jiaogen, Wang Meihui, et al. (1343)
 Stoichiometric characteristics of soil in an oasis on northern edge of Tarim Basin, China Li Honglin, Gong Lu, Zhu Meiling, et al. (1354)
 Distribution of soil selenium in the Northeast China Plain and its influencing factors Dai Huimin, Gong Chuandong, Dong Bei, et al. (1364)
 Study on phytolith-occluded organic carbon in soil of subtropical forest of southern Zhejiang Lin Weilei, Ying Yuqi, Jiang Peikun, et al. (1372)
 Toxic effect of multiple-time overlying pollution of Phe in soil on *Eisenia fetida* Ma Jingjing, Qian Xinchun, Zhang Wei, et al. (1381)
 Effect of organic manure on cucumber Fusarium wilt control and its mechanism Zhao Liya, Li Wenqing, Tang Longxiang, et al. (1390)
 Ameliorative effect of cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation on soil enzymes activities in takyric solonetz Zhang Tibin, Kang Yaohu, Wan Shuqin, et al. (1399)
 Change in shallow soil temperature and its response to change in air temperature in middle and lower reaches of Shiyang River Basin Yang Xiaoling, Ding Wenkui, Ma Zhonghua, et al. (1410)
 Soil permeability of aeration zone in Xinchang-Xiangyangshan - a preselected site for high level radioactive waste disposal Li Jiebiao, Su Rui, Zhou Zhichao, et al. (1420)

Research Notes

- Inversion of spatial pattern of organic matter contents in black soil based on TM data Song Jinhong, Wu Jinggui, Zhao Xinyu, et al. (1429)
 Analysis of soil fertility and fertilizer efficiency of maize field in Shaanxi Shan Yan, Li Shuili, Li Ru, et al. (1437)
 Application of cosmic-ray method to soil moisture measurement of grassland in the Loess Plateau Zhao Chun, Yuan Guofu, Liu Xiao, et al. (1444)

Cover Picture: Reclamation of a highly saline-sodic wasteland of takyric solonetz while cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation (by Zhang Tibin)

《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 6 Nov., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址：南京市北京东路 71 号 邮政编码：210008
电话：025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

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

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址：北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717
电话：010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

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

国内统一刊号：CN 32-1119/P

国内邮发代号：2-560

国外发行代号：BM45

定价：60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

