湘东大围山不同海拔带土壤溶解性有机碳含量

马 欣 盛 浩* 魏 亮 潘 博 罗兰芳 周 清 张杨珠
(湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

摘 要 为了解土壤溶解性有机碳(DOC)含量在中山海拔带上的分异规律,选取亚热带湘东大围山花岗岩风化物发育的典型土壤垂直带谱:红壤、黄壤、黄棕壤和灌丛草甸土(亚类),挖掘土壤剖面深至母质层/母岩,研究海拔和土层深度对 DOC 含量的影响。结果表明,土壤剖面 DOC 含量介于 9~5326 mg·kg^{-1},表土(A 层)和底土(A 层以下)DOC 含量均随海拔升高而升高。土壤有机碳(SOC)、水分变化可以解释 DOC 含量的垂直带分异规律。DOC/SOC 介于 0.8%~34.9%,无明显的高度带现象,且 DOC/SOC 峰值大多出现在底土层。在同一海拔带,发育深厚的典型黄壤 DOC 含量和 DOC/SOC 均在底土中较高,发育较浅的黄壤性土则相反。本研究表明,表土和底土 C 含量及组成呈现不同的垂直带分异规律,山地海拔带上土壤 C 库研究应重视深层底土。

关键词 活性有机碳; 土壤发生层次; 深层底土; 花岗岩; 垂直带谱

Content of soil dissolved organic C along an altitude gradient in Daweishan Mountain of eastern Hunan Province. MA Xin, SHENG Hao*, WEI Liang, PAN Bo, LUO Lan-fang, ZHOU Qing, ZHANG Yang-zhu (*College of Resources & Environment, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China*).

Abstract: In order to understand soil dissolved organic C (DOC) content along an altitude gradient in mountain area, soils derived from granite along an elevation gradient (179-1573 m) in Daweishan Mountain of Hunan Province were collected. Soil profiles were excavated down to parent material or rock horizon, and the effects of altitude and soil depth on DOC content were investigated. The results showed that DOC content ranged from 9 to 5326 mg·kg^{-1}, and increased with increasing the altitude both in top soil and subsoil. Soil organic C (SOC) and moisture can well explain the alteration of DOC content along the altitude gradient. DOC to SOC ratio ranged from 0.8% to 34.9%, and was similar at the foot and on the mountain peak. DOC to SOC ratio generally peaked in subsoil. At the same altitude, typical yellow soil with deep B horizon showed higher DOC content and DOC to SOC ratio in subsoil, while yellow soil with indistinct B horizon had lower DOC content and DOC to SOC ratio in subsoil. This study suggests that soil C content and composition varied differently with increasing altitude in top and subsoil. Deep subsoil should be considered in assessing mountain soil C pools.

Key words: labile organic carbon; soil genetic horizon; deep subsoil; granite; altitudinal zonation.

湖南多山,全省约 80%的土地为丘岗山地(杨锋,1989)。山地成土环境复杂,土壤垂直带谱结构鲜明,景观尺度上土壤类型极具多样性(盛浩等,2015)。已有研究发现,许多土壤物理、化学、生物组分和过程都有明显的高度带现象,如:随着海拔升高,土壤温度降低湿度增大,土壤有机碳(SOC)含量升高(钟祥浩,2000)。较之平缓地段,山地物质和环境具有不稳定和生态脆弱的特点,对人为干扰的响应敏感。近年来,随着大规模山地综合开发和基地建设,中、低海拔植被转变明显,对山地海拔带土

湖南省自然科学基金项目(13JJ4066)、湖南省教育厅科研优秀青年项目(15B110)和国家大学生创新创业训练计划项目(G(S)CX1410)资助。
收稿日期: 2015-06-10 接受日期: 2015-12-01
*通讯作者 E-mail: shenghao82@hunau.edu.cn

壤质量和健康状况的了解有待增强。

溶解性有机碳(DOC)作为SOC中最活跃的组分之一,是土壤食物网各级生物可利用的碳源,能快速有效地指示土壤质量变化(Kaiser *et al.*,2012)。尽管土壤DOC的来源、含量、组成、分类、功能、去向、影响因素和环境效应已有大量报道,但主要集中在平缓低地的浅层表土(Bolan *et al.*,1996)。土壤DOC含量与海拔的关系复杂。据报道,武夷山0~40 cm土层DOC含量随海拔升高而升高(Bu *et al.*,2012),但川西亚高山-高山0~20 cm表土DOC含量与海拔没有明显关系(秦纪洪等,2013)。神农架表土DOC含量在海拔最低的常绿阔叶林和海拔最高的亚高山灌丛相对最高(卢慧等,2014)。然而,目前有关山地深层底土DOC含量仍有待加强了解(蒋友如等,2014;Sheng *et al.*,2015)。本研究选择中亚热带湘东幕阜-罗霄山支脉大围山(主峰1608 m),沿海拔带分别采集红壤、黄壤、黄棕壤和灌丛草甸土的剖面发生层样品,研究山地土壤剖面DOC含量沿海拔变化的规律,分析DOC与SOC、水分的关系,为了解山地土壤C库特征和合理评价山地垂直带土壤质量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

采样地位于湖南省东部的大围山国家森林公园(114°02′E—114°12′E、28°21′N—28°26′N),属典型花岗岩中山地貌,海拔最低点(花门电站)仅230 m,最高点(七星峰)1608 m,相对高差1378 m。当地属典型中亚热带山地湿润气候,年均温11~17 ℃,年降水量1200~2000 mm,年相对湿度>83%(于青漪等,2014)。森林覆盖率达99%,但中、低海拔带原生植被破坏严重,仅残存人工林、毛竹林和灌丛。海拔<500 m地带,植被多为杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)人工林和毛竹(*Phyllostachys edulis*)林,500~1200 m范围多分布毛竹、樱桃树(*Cerasus pseudocerasus*)、锥栗(*Castanea henryi*),1200~1400 m多为黄山松(*Pinus taiwanensis*),>1400 m以杜鹃(*Rhododendron simsii*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)草灌群落为主。成土母质主要为花岗岩风化物。土壤垂直地带性明显,<600~800 m为红壤,800~1100 m为黄壤,1100~1300 m为黄棕壤,>1300 m为灌丛草甸土。

2014年5月,按土壤亚类分类,沿山麓至山顶分别选取典型的红壤(179、482 m)、黄壤性土(1102 m)、黄壤(1198 m)、暗黄棕壤(1379 m)和灌丛草甸土(1573 m)设置样地。采样地概况参见表1。

1.2 样品采集和分析

每个样地内随机挖掘土壤剖面2~3个,观察剖面形态,按颜色、紧实度、土壤质地和植物根系分布划分土壤发生层次,描述发生层的形态学特征。按发生层采集土壤,同一层次样品混匀,剔除枯枝落叶和残根、小石子及肉眼可辨的土壤动物等土壤异物,装入布袋。带回室内的新鲜土壤,进一步挑去石砾、可见动植物残体后,一部分过2 mm孔径尼龙筛,混匀,密封置于4 ℃冰箱中避光保存,用于土壤DOC的分析测定;另一部分经风干、过0.149 mm孔径尼龙筛后用于SOC的测定。

土壤DOC测定采用0.5 mol·L^{-1} K_2SO_4浸提-重铬酸钾外加热容量法(Bolan *et al.*,1996;蒋友如等,2014);SOC含量采用重铬酸钾外加热容量法,土壤水分采用烘干法(鲁如坤,2000)。据报道,重铬酸钾外加热容量法不能完全氧化溶液中的C,所得DOC含量低于总有机碳分析仪(TOC)法测得数据。盛浩等(2015)报道了本区类似土壤DOC数据的转换方程:TOC仪法测得DOC含量(mg·kg^{-1})=1.8×容量法测得的DOC含量(mg·kg^{-1})−27.5(盛浩等,2015)。采用上式将容量法测得的DOC含量进行校正。

表1 土壤采样地概况

Table 1 Basic information of soil sampling sites

亚类	地理坐标	土体构型	土层深度(cm)	优势植物种
红壤(179 m)	114°00.945′E, 28°27.045′N	O-A-AB-B1-B2-B3	3~0、0~14、14~60、60~120、120~174、>174	杉木
红壤(482 m)	114°03.289′E, 28°25.473′N	O-A-B-C1-C2	3~0、0~49、49~107、107~198、>198	毛竹
黄壤性土(1102 m)	114°05.313′E, 28°25.889′N	O-A-AB-BC-C	4~0、0~24、24~64、64~86、>86	樱桃
黄壤(1198 m)	114°05.489′E, 28°25.648′N	O-A-B-BC	4~0、0~30、30~87、>87	毛竹
暗黄棕壤(1379 m)	114°05.883′E, 28°25.225′N	O-A-AB-B-BC1-BC2	5~0、0~14、14~33、33~81、81~115、>115	黄山松、杜鹃
灌丛草甸土(1573 m)	114°09.598′E, 28°26.183′N	O-A-AB-BC1-BC2	5~0、0~8、8~24、24~86、>86	五节芒、杜鹃

1.3　数据处理和统计

DOC、SOC 含量的均值、标准差均在 Excel 2003 软件平台下实现。基于线性回归分析,研究 DOC 含量与海拔、SOC 含量、水分的关系,回归方程统计显著性水平设为 0.05。

2　结果与分析

2.1　土壤有机碳含量

所选大围山海拔带,土壤 SOC 含量介于 1.22~105.27 g·kg^{-1},总体上随海拔升高而升高(图 1)。从表土(A 层)看,SOC 含量从山脚红壤的 10~30 g·kg^{-1}升高到山顶灌丛草甸土的 50~60 g·kg^{-1};从底土(B 层及以下)看,SOC 含量亦呈随着海拔升高呈上升趋势,且黄壤地带 SOC 含量有骤然升高的现象。不同海拔带 SOC 含量均随土层的加深而降低,其中山脚红壤 SOC 含量随土层加深而降低幅度最小,但山顶灌丛草甸土 SOC 含量随土层加深而下降幅度最大(表 1)。

2.2　土壤溶解性有机碳含量

土壤 DOC 含量介于 9~5326 mg·kg^{-1},随海拔升高而升高(图 2)。从表土看,海拔最低的红壤 DOC 含量最低(483.1 mg·kg^{-1}),山顶灌丛草甸土的 DOC 含量最高(5326 mg·kg^{-1})。从底土看,DOC含量亦随海拔升高而升高,但黄壤性土例外,

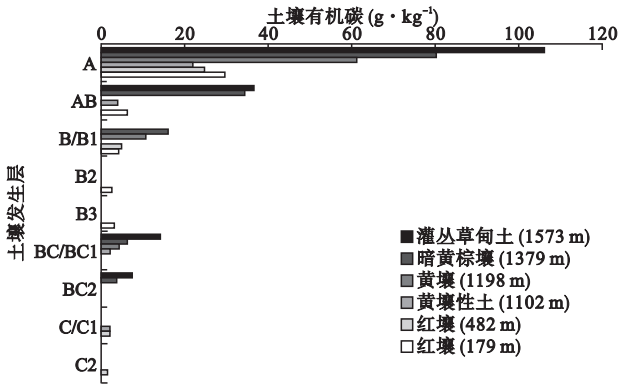


图 1　大围山海拔带土壤(亚类)剖面上有机碳的含量

Fig.1　Contents of soil organic C along an elevation gradient in Daweishan Mountain

可能与黄壤性土发育度较浅、水土不稳有关。DOC 含量大多随土层加深而降低,但红壤、黄壤在某些深层底土(B、BC 层),DOC 含量有升高趋势。海拔 482 m 处红壤剖面上,母质层 DOC 含量仍较高。回归分析显示,DOC 含量与海拔、SOC 含量、土壤质量含水量呈显著线性正相关关系(图 3)。

2.3　土壤溶解性有机碳占有机碳的比例

土壤 DOC 占 SOC 的比例(DOC/SOC)介于 0.8%~34.9%,没有明显的海拔带分布规律(表 2)。A 层土壤 DOC/SOC 以海拔最高的灌丛草甸土最高,低海拔红壤(482 m)较高。底土 DOC/SOC 则在

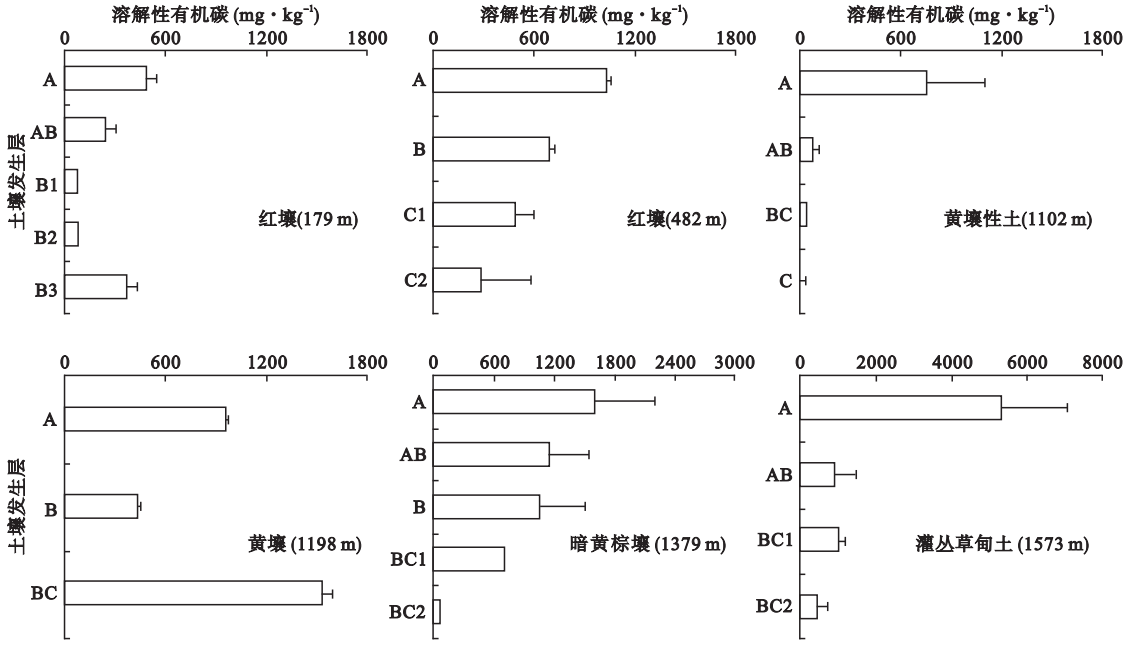


图 2　大围山海拔带土壤(亚类)剖面上溶解性有机碳的含量

Fig.2　Contents of soil dissolved organic C along an elevation gradient in Daweishan Mountain

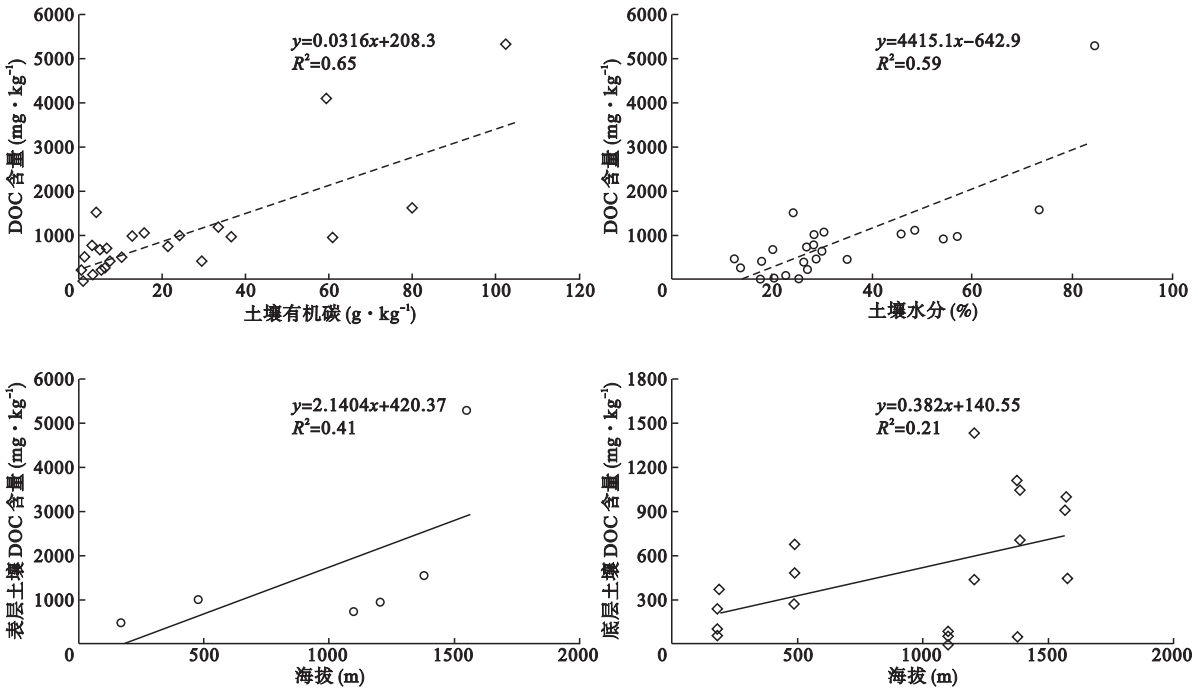


图 3 土壤溶解性有机碳含量与海拔、土壤有机碳含量、水分的关系

Fig.3 Correlations of dissolved organic C with altitude, soil organic C, and water content

表 2 湘东大围山海拔带土壤溶解性有机碳占有机碳的比例(%)

Table 2 Proportions of DOC to SOC along an elevation gradient in Daweishan Mountain

土壤发生层	红壤 (179 m)	红壤 (482 m)	黄壤性土 (1102 m)	黄壤 (1198 m)	暗黄棕壤 (1379 m)	灌丛草甸土 (1573 m)
A	1.6	4.3	3.5	1.6	2.0	5.1
AB	4.3	–	2.1	–	3.3	2.6
B/B1	3.1	14.2	–	4.3	6.7	–
B2	2.7	–	–	–	–	–
B3	14.7	–	–	–	–	–
BC/BC1	–	–	0.9	34.9	11.0	7.3
BC2	–	–	–	–	1.7	6.2
C/C1	–	23.1	0.8	–	–	–
C2	–	21.3	–	–	–	–
平均值	5.3	15.7	1.8	13.6	4.9	5.3

黄壤的 BC 层出现峰值,在红壤 B 层较高。除黄壤性土外,随着剖面的加深,DOC/SOC 均呈升高趋势,B 层以下的底土尤为明显。

3 讨 论

3.1 大围山海拔带土壤 DOC 的含量

大围山海拔带(179~1573 m)土壤 DOC 含量介于 9~5326 mg · kg^{-1}。据报道,武夷山主峰黄岗山 500~2150 m 垂直带 0~40 cm 表土水溶性有机 C 含量介于 5~192 mg · kg^{-1}(周焱等,2009),神农架不同海拔(1083~2758 m)0~10 cm 表土水溶性有机 C 含量介于 150~310 mg · kg^{-1}(卢慧等,2014)。本区花岗岩红壤剖面上 DOC 含量介于 27~185 mg · kg^{-1}(汪伟等,2008;蒋友如等,2014)。与其他高海拔地区 DOC 含量相比,本文大围山高海拔带土壤中的 DOC 含量较高,产生这一差异的原因可能主要与不同地区海拔带土壤中 SOC 含量、土壤母质,以及 DOC 测定方法的不同有关。

山地高高突起于陆地之上,改变景观物质、能量分布格局,直接引起水热因子、植被变化,进而影响土壤 C 输入和输出量的微妙平衡。本文中,随海拔升高,土壤剖面 DOC 含量总体呈升高趋势,主要原因可能是:(1)随着海拔升高植被由低海拔的杉木、毛竹人工群落逐渐转为自然的常绿落叶樱桃群落、落叶矮林和灌丛草地,地面枯枝落叶层加厚(表 1),地下细根周转的活性有机 C 输入量可能升高(权伟等,2008);(2)随海拔增高温度降低、降水增加,山顶有时还出现土壤渍水状况(陈健飞,2001),SOC 和 DOC 的矿化损失量减少,高海拔带表土中丰富的 DOC 可能较易淋溶至底土中积累;本文中,土壤 DOC 含量与 SOC 含量、水分呈显著线性正相关关系也证实了这一点(图 3)。(3)随海拔升高,B 层底土质地趋于粘重,活性或络合态 Fe 氧化物数量升高(冯跃华等,2005),粘粒和氧化物通过物理、化学吸

附作用固定 DOC 数量可能更高。黄壤 BC 层底土 DOC 含量甚至高出表土,很可能与大量 DOC 从表土淋失到底土并为矿质粘粒强烈吸附有关。庐山海拔 1100 m 山地棕壤 60~80 cm 底土层也有与表土层类似的高含量 DOC(王连峰等,2002)。蒋友如等(2014)在低海拔丘陵地带(约 100 m)的研究也发现,酸性紫色土和板岩红壤 DOC 含量在 60~100 cm 底土出现第二峰值的现象,与底土中粘粒含量升高一致。

3.2　大围山海拔带土壤 DOC 占 SOC 的比例

DOC/SOC 常视作土壤质量的指标,比值越大,指示土壤 C 库质量越高(盛浩等,2013)。一些研究报道,高海拔土壤的 DOC/SOC 高于低海拔土壤(Leifeld *et al.*,2009;Bu *et al.*,2012;刘帅等,2015)。从表土看,高海拔灌丛草甸土的 DOC/SOC 最高,印证了上述观点。然而,底土 DOC/SOC 峰值则出现在山腰的黄壤 BC 层,反映出大围山海拔带上表土和底土 DOC/SOC 可能具有不同的调控机理。在大围山海拔带上,表土 DOC/SOC 并无明显的分异规律。在青藏高原亚高山-高山地带,随着海拔升高 SOC 含量升高,但水溶性有机 C 含量与海拔无明显关系,DOC/SOC 并无明显的垂直带分异(秦纪洪等,2013)。也有报道,北亚热带高海拔的灌丛表土具有最高的 DOC 含量,但低海拔带常绿阔叶林土壤也具有较高的 DOC 含量,DOC/SOC 也无明显的垂直带分异规律(卢慧等,2014)。本文中,土壤 DOC/SOC 没有明显垂直带分异规律,可能主要与不同海拔带的 DOC 来源、土壤 DOC 保存机理不同有关。

在大围山海拔带上,除黄壤性土外,DOC/SOC 随剖面加深而在某些深层土层出现峰值。蒋友如等(2014)报道,邻近的不同母质发育林地土壤的研究也发现了类似现象,主要与底土层粘粒含量、植物根系的剖面分布有关(蒋友如等,2014)。黄壤性土 DOC/SOC 随剖面加深而降低,则可能与其发育程度浅、土体浅薄,未形成典型深厚的 B 层有关(表 1)(杨锋,1989)。

4　结　论

在中亚热带典型花岗岩山体发育的土壤海拔带谱上,不论表土或底土,DOC 含量总体上随海拔升高而升高。SOC 和水分含量可以部分解释 DOC 含量的这种垂直地带性分异现象。然而,DOC/SOC 无明显的海拔带分异规律,山脚红壤和山顶灌丛草甸土 DOC/SOC 类似。在土壤剖面上,底土 DOC/SOC 普遍高于表土。但在同一海拔带,发育深厚的典型黄壤 DOC 含量和 DOC/SOC 均在底土中较高,而发育较浅的黄壤性土则相反。本研究表明,土壤 DOC 含量具有明显的高度带现象,但表土和底土 DOC 可能存在不同的保存机理,DOC/SOC 能否反映海拔带谱上土壤 C 库的质量仍有待深入研究。

参考文献

陈健飞. 2001. 福建山地土壤的系统分类及其分布规律. 山地学报, **19**(1): 1-8.

冯跃华, 张杨珠, 邹应斌, 等. 2005. 井冈山土壤发生特性与系统分类研究. 土壤学报, **42**(5): 720-729.

蒋友如, 盛　浩, 王翠红, 等. 2014. 湘东丘陵区 4 种林地深层土壤溶解性有机碳的数量和光谱特征. 亚热带资源与环境学报, **9**(3): 61-67.

柯娴氡, 张　璐, 苏志尧. 2012. 粤北亚热带山地森林土壤有机碳沿海拔梯度的变化. 生态与农村环境学报, **28**(2): 151-156.

刘　帅, 陈玥希, 孙　辉, 等. 2015. 西南亚高山-高山海拔梯度上森林土壤水溶性有机碳时间动态. 西北林学院学报, **30**(1): 33-38.

卢　慧, 丛　静, 薛亚东, 等. 2014. 海拔对神农架表层土壤活性有机碳含量的影响. 林业科学, **50**(8): 162-167.

鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社.

马和平, 郭其强, 刘合满. 2012. 西藏色季拉山土壤微生物量碳和易氧化态碳沿海拔梯度的变化. 水土保持学报, **26**(4): 163-171.

秦纪洪, 王　琴, 孙　辉. 2013. 川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化. 生态学报, **33**(18): 5858-5864.

权　伟, 徐　侠, 王　丰, 等. 2008. 武夷山不同海拔高度植被细根生物量及形态特征. 生态学杂志, **27**(7): 1095-1103.

盛　浩, 宋迪思, 王翠红, 等. 2015. 土壤溶解性有机碳 4 种测定方法的对比和转换. 土壤, **47**(6): 1049-1053.

盛　浩, 周　萍, 袁　红, 等. 2013. 亚热带不同稻田土壤溶解性有机碳的剖面分布特征. 生态学杂志, **32**(7): 1698-1702.

盛　浩, 周　清, 黄运湘, 等. 2015. 我国亚热带山地土壤发生特性和系统分类研究进展. 中国农学通报, **31**(5): 143-149.

王连峰, 潘根兴, 石盛莉, 等. 2002. 酸沉降影响下庐山森林生态系统土壤溶解有机碳分布. 植物营养与肥料学报, **8**(1): 29-34.

汪　伟, 杨玉盛, 陈光水, 等. 2008. 罗浮栲天然林土壤可溶性有机碳的剖面分布及季节变化. 生态学杂志, **27**(6): 924-928.

向成华, 栾军伟, 骆宗诗, 等. 2010. 川西沿海拔梯度典型植被类型土壤活性有机碳分布. 生态学报, **30**(4): 1025-

1034.
杨 锋. 1989. 湖南土壤. 北京: 农业出版社.
于青漪, 王翠红, 甘丽仙, 等. 2014. 浏阳大围山土壤铜锌含量的剖面分布规律. 农业现代化研究, **35**(4): 477-480.
钟祥浩. 2000. 山地学概论与中国山地研究. 四川: 四川科学技术出版社.
周 焱, 徐宪根, 阮宏华, 等. 2009. 武夷山不同海拔土壤水溶性有机碳的含量特征. 南京林业大学学报: 自然科学版, **33**(4): 48-52.
Bolan NS, Baskaran S, Thiagarajan S. 1996. An evaluation of the methods of measurement of dissolved organic carbon in soils, manures, sludges, and stream water. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **27**: 2723-2737.
Bu X, Ruan H, Wang L, *et al*. 2012. Soil organic matter in density fractions as related to vegetation changes along an altitude gradient in the Wuyi Mountains, southeastern China. *Applied Soil Ecology*, **52**: 42-47.
Garten Jr CT, Hanson PJ. 2006. Measured forest soil C stocks and estimated turnover times along an elevation gradient. *Geoderma*, **136**: 342-352.
Kaiser K, Kalbitz K. 2012. Cycling downwards: Dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, **52**: 29-32.
Leifeld J, Zimmermann M, Fuhrer J, *et al*. 2009. Storage and turnover of carbon in grassland soils along an elevation gradient in the Swiss Alps. *Global Change Biology*, **15**: 668-679.
Sheng H, Zhou P, Zhang Y, *et al*. 2015. Loss of labile organic carbon from subsoil due to land-use changes in subtropical China. *Soil Biology and Biochemistry*, **88**: 148-157.
Sjgersten S, Turner BL, Mathieu N, *et al*. 2003. Soil organic matter biochemistry and potential susceptibility to climatic change across the forest-tundra ecotone in the Fennoscandian mountains. *Global Change Biology*, **9**: 759-772.
Zhu B, Wang XP, Fang JY, *et al*. 2010. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. *Journal of Plant Research*, **123**: 439-452.

作者简介 马 欣,女,1993年生,硕士研究生,专业方向为土壤资源利用与环境。E-mail: 2539393041@qq.com
责任编辑 魏中青