

文章编号: 1674-8085(2013)05-0026-05

武功山高山草甸土壤微生物生物量碳及其影响因素

曹裕松^{1,2}, 胡文杰^{1,2}, 周兵^{1,2}, 周升团^{1,2}, *宋勇生^{1,2}

(1. 井冈山大学生命科学学院, 江西, 吉安 343009; 2 江西省生物多样性与生态工程重点实验室, 江西, 吉安 343009)

摘要: 研究了武功山高山草甸3个不同坡向土壤微生物生物量碳及其影响因素, 结果表明: 东坡土壤微生物生物量碳含量与土壤有机质含量显著高于南坡和北坡土壤, 南坡土壤高于北坡; 土壤速效钾(K)浓度以东坡土壤最高, 南坡土壤次之, 北坡土壤最低, 但3个坡面土壤速效钾K含量之间的差异不显著; 东坡土壤有效磷(P)的浓度极显著地高于南坡土壤和北坡土壤有效P浓度; 不同坡面土壤铵态氮含量依次为北坡>南坡>东坡。土壤微生物生物量碳与土壤有机质含量和P浓度之间存在显著的正相关性, 与速效钾K浓度之间相关性不显著, 土壤微生物生物量碳随着土壤铵态氮含量的升高而减小。

关键词: 武功山; 高山草甸; 土壤微生物生物量碳; 土壤有机质

中图分类号: S154.3

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2013.05.007

STUDY ON SOIL MICROBIAL BIOMASS CARBON AND ITS FACTORS IN ALPINE MEADOW IN WUGONGSHAN MOUNTAINS

CAO Yu-song^{1,2}, HU Wen-jie^{1,2}, ZHOU Bing^{1,2}, ZHOU Sheng-tuan^{1,2}, *SONG Yong-sheng^{1,2}

(1. School of Life Sciences, Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi 343009, China;

2. Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Ji'an, Jiangxi 343009, China)

Abstract: In the present paper, soil microbial biomass carbon (SMBC) in three hillsides of alpine meadow in Wugongshan mountains and its factors were studied. The results showed that both SMBC and soil organic matter (SOM) contents in the east slope were significantly higher than that in the south slope, and that in the south slope were as well higher than that in the north slope. Contents of available potassium (K) in the east slope were the highest, followed by that in the south slope, the lowest in the northern slope. Contents of available phosphorus (P) in the east slope were significantly higher than that both in south and north slopes. Soil ammonium nitrogen (NH₄⁺-N) contents were the highest in the northern slope followed with that in southern slope and the lowest in eastern slope. SMBC contents in the three slopes were well correlated with SOM and available P contents. There were no significant correlation between contents of SMBC and K, but SMBC contents decreased with the increasing of soil ammonium nitrogen contents.

Key words: wugongshan mountains; alpine meadow; soil microbial carbon; soil organic matter

收稿日期: 2013-07-12; 修改日期: 2013-08-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161050); 江西省教育厅青年科学基金项目(GJJ11716);

江西省普通本科高校中青年教师发展计划访问学者项目(2012132); 井冈山大学博士启动基金项目(JZ10041)

作者简介: 曹裕松(1978-), 男, 江西瑞昌人, 讲师, 博士, 主要从事恢复生态学研究 (E-mail: caoyusongrcl@hotmail.com);

胡文杰(1974-), 男, 江西吉安人, 讲师, 博士, 主要从事保护生物学研究(E-mail: huwenjie2008@126.com);

周兵(1978-), 男, 湖北黄梅人, 副教授, 博士, 主要从事生物入侵研究 (E-mail: zhoubing113@aliyun.com);

周升团(1971-), 男, 江西瑞昌人, 讲师, 硕士, 主要从事微生物学研究(E-mail: zhoushengtuan@163.com);

*宋勇生(1977-), 男, 江西吉安人, 讲师, 博士, 主要从事土壤肥料与环境效应研究(E-mail: yshsong001@126.com).

前言

土壤微生物生物量是指土壤中体积小于 $5.0 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的生物总量, 是土壤有机质中最为活跃的组分^[1-3]。作为土壤微生物生物量的重要组成部分, 微生物生物量碳(microbial biomass carbon, 简称MBC)虽然只占土壤总有机碳的 1%~4%, 但它直接参与了土壤生物化学转化过程, 也是土壤中植物有效养分的储备库, 能促进土壤养分的有效化, 因此, 在土壤肥力和植物营养中具有重要的作用^[4-6]。微生物生物量碳还可以在土壤全碳变化之间反映土壤碳库的微小变化, 随着全球碳循环问题受到广泛关注, 微生物生物量碳日益引起人们的重视。目前, 国内外有关森林土壤微生物生物量碳的研究较多, 有关高山草甸土壤微生物生物量碳的研究尚属少数。

高山草甸又称为高寒草甸, 是在高原和高山等寒冷环境条件下发育而成的一种草地类型, 以冷中生的莎草科、禾本科以及杂类草等多年生草本植物为主要植被组成, 土壤主要为高山草甸土, 主要分布在青藏高原的东北部、四川北部。武功山高山草甸从发云界到最高峰金顶绵延数十公里, 面积达十万亩, 堪称中国一绝, 在如此高的海拔, 生长着如此大面积的高山草甸, 在中国乃至整个亚洲都十分罕见。深入研究武功山高山草甸这一独特的生态系统的结构与功能具有重要的理论与实践意义, 不仅丰富草甸生态系统的理论研究, 对于自然资源的开发利用、风景区旅游业的开发以及全球变化背景下高寒脆弱生态系统的响应都具有重要的实际意义。

然而, 到目前为止, 仅极少数学者对武功山草甸害虫名录及其区系^[7]、木本植物区系^[8]、珍稀濒危植物资源及其区系特征^[9]等进行了相关研究, 而对于武功山高山草甸生态系统结构与功能的研究几属空白。本文初步研究了武功山高山草甸不同坡向土壤微生物生物量碳及其影响因素, 以期为进一步理解武功山高山草甸土壤生态过程以其对全球变化的响应提供理论依据。

1 材料与方法

武功山位于罗霄山脉中段, 莲花、萍乡、宜春、

安福等市县境内, 呈东北—西南走向, 是吉泰盆地的西北缘。武功山属中亚热带季风气候区。受东南季风影响, 气候温暖湿润, 全年无霜期长, 四季分明且冬季较短, 有利于植物的生长发育。雨量充沛, 年降雨量在 999.5~2223.0 mm 之间, 但分配不均, 春夏多雨, 占全年降雨量的 73.7%, 空气相对湿度 80% 左右。生长季节山地多地形雨, 山中年均降雨量偏大, 空气相对湿度偏高。伏秋时节秋高气爽, 干旱无雨天气有时持续 70 余天^[8]。

试验样地位于江西省安福县武功山金顶峰(N27°26', E114°07'), 海拔 1600 m, 土壤是山地草甸土, 由于枯枝落叶丰富以及积水、低温等因素, 有机物腐烂分解缓慢, 土层浅薄, 色泽幽黑, 干后成块。在天然草地上, 主要有禾本科的野古草(*Arudinella hirta* Tanaka)、芒类(*Miscanthus spp.*)、冬茅(*Imperata spp.*)等, 还有少量蓼科、蔷薇科、元宝草科、唇形科和十字花科植物^[7]。

野外采样于 2012 年 9 月进行。在同一海拔(1600 m)的东面、南面和北面 3 个坡面上各设立 3 个面积为 5 m×5 m 的样方, 在每个样方中沿对角线方向用土钻($d=5 \text{ cm}$)分别取 5 钻表层(0~20 cm)土壤, 混合装袋, 袋口放一小团棉花, 带回实验室, 从每个样品袋中分取 150 g 土样, 进行微生物生物量碳测定, 其余土样在室内自然风干, 供理化性质测定。

土壤微生物生物量碳利用氯仿薰蒸直接提取法^[10]进行测定。先测定土壤含水量, 除去植物根系和砂砾, 分取 20 g 土壤两份, 一份作为薰蒸样, 另一份作为不薰蒸样。薰蒸样放入干燥器中, 用重蒸氯仿薰蒸 48 h。薰蒸样和未薰蒸样用 60 mL 浓度为 0.5M 的 K_2SO_4 溶液进行提取, 利用总有机碳分析仪(TOC-500, Shimadzu, Kyoto, Japan)分析提取液中 TOC 含量。土壤微生物生物量碳通过下面的公式计算:

$$MBC = \frac{F_{TOC} - NF_{TOC}}{K_c}$$

式中 F_{TOC} 和 NF_{TOC} 分别代表薰蒸样和未薰蒸样的 TOC 含量, K_c 为常数, 一般取 0.33。

土壤有机质、铵态氮、有效磷、速效钾分别采用重铬酸钾容量法、氯化钾浸提-靛酚蓝比色法、盐酸-氟化铵浸提-钼锑抗比色法、乙酸铵浸提-火焰光度法测定^[11]。

所有数据分析运用 Excel 2003 进行整理与处理, 运用 SPSS 15.0 进行 One-way ANOVA 分析。

2 结果分析

2.1 土壤微生物量生物量碳含量

不同坡位土壤微生物生物量碳含量表现出较大的异质性, 最大值($1.638 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)比最低值($1.228 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)高 33.4%。东坡土壤的微生物生物量碳含量($1.616 \pm 0.013 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)显著高于南坡和北坡土壤的微生物生物量碳含量, 差异达极显著水平($p = 0.001, n = 3$), 南坡土壤的微生物生物量碳含量($1.300 \pm 0.048 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)高于北坡土壤的微生物生物量碳含量($1.259 \pm 0.020 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 但差异未达到显著水平(图 1, $P = 0.383, n = 3$)。

2.2 土壤有机质对土壤微生物量生物量碳的影响

武功山高山草甸不同坡向土壤有机质含量差异明显(表 1)。东坡土壤有机质含量最高(4.757 ± 1.012)%, 显著地高于南坡($P = 0.019, n = 3$), 南坡土壤有机质含量(2.722 ± 0.198)%高于北坡, 但差异不显著

($P = 0.416, n = 3$)。

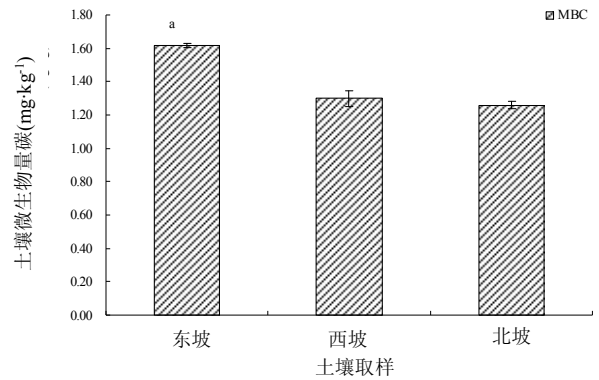


图 1 土壤微生物量生物量碳含量

Fig.1 Contents of soil microbial biomass carbon

不同坡向之间土壤有机质含量的这种差异与其土壤微生物量生物量碳的差异一致, 分析土壤有机质含量与土壤微生物量生物量碳之间的相关性(图 2), 结果表明两者之间存在显著的正相关性($r = 0.675$, 表 2), 即土壤微生物生物量碳含量随着土壤有机质含量的增加而增加。

表 1 土壤微生物量生物量碳和养分含量

Table 1 Soil microbial biomass carbon and nutrient contents

	微生物量生物量碳 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机质(%)	K 浓度($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	P 浓度($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	铵态氮($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
东坡	1.616 ± 0.013	4.757 ± 1.012	66.643 ± 0.070	35.391 ± 9.580	39.931 ± 9.215
南坡	1.300 ± 0.048	2.722 ± 0.198	66.511 ± 0.586	14.044 ± 3.903	49.145 ± 19.985
北坡	1.259 ± 0.020	1.960 ± 0.285	66.045 ± 0.507	7.508 ± 3.217	52.217 ± 12.286

注: 表中数值表示平均值 \pm 标准误

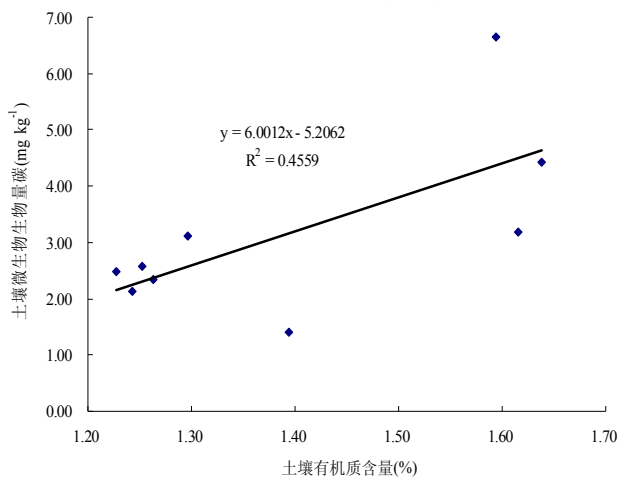


图 2 土壤微生物量生物量碳与有机质含量的相关性

Fig.2 The correlations between soil MBC contents and soil organic matter contents

2.3 土壤无机养分对土壤微生物量生物量碳的影响

土壤速效钾(K)浓度以东坡土壤最高, 南坡土壤次之, 北坡土壤最低, 但 3 个坡面土壤速效钾 K 含量之间的差异不显著(表 1)。东坡土壤有效磷(P)的浓度显著高于南坡土壤($P = 0.052, n = 3$)和北坡土壤($P = 0.020, n = 3$), 南坡土壤有效 P 浓度极高于北坡土壤 P 浓度, 但差异不显著($P = 0.488, n = 3$)。北坡土壤铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)含量最高, 南坡次之, 两者均显著高于东坡土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量。

土壤微生物生物量碳与土壤溶液中 P 浓度之间存在显著的相关性($r = 0.704, n = 9$), 与速效钾 K 浓度之间相关性不显著。土壤微生物量生物量碳随着土壤铵态氮含量的升高而降低, 但两者的相关性不显著(表 2)。

表2 土壤微生物量生物量碳与土壤养分含量的相关性

Table 2 The correlations between soil microbial carbon and nutrients contents.

	微生物量生物量碳	土壤含水量	有机质	K 浓度	P 浓度	铵态氮
微生物量生物量碳	1					
土壤含水量	0.395	1				
有机质	0.675*	0.212	1			
K 浓度	0.208	0.636	0.296	1		
P 浓度	0.704*	0.266	0.855**	0.389	1	
铵态氮	0.008	0.082	0.177	0.005	0.231	1

注: *. 表示在 0.05 水平显著相关, **. 表示在 0.01 水平显著相关(双尾检验)。

3 讨论

不同坡位土壤微生物生物量碳含量与土壤有机质含量均表现出较大的异质性, 东坡土壤显著高于南坡和北坡土壤, 南坡土壤高于北坡土壤, 土壤微生物量生物量碳与土壤有机质含量之间存在显著的正相关性, 即土壤微生物生物量碳含量随着土壤有机质含量的增加而增加。大量研究表明^[12-13], 微生物大多数是异养型的, 新鲜而易分解的生物有机质的含量往往是决定它们分布和活性的主要因素, 土壤微生物生物量碳与土壤有机碳和全氮之间密切相关。不同的植被类型因其地上部分生物量及其枯落物的质量的差异使输入到土壤中的有机碳量明显不同, 致使土壤有机碳含量差异, 从而影响土壤微生物的活动^[6]。但本试验所在的区域地上植被类型均以野古草(*Arundinella anomala Stend*)、细叶芒(*Miscanthus sinensis*)、冬茅(*Miscanthus sinensis Anderss*)为主, 不同坡面之间并无明显差异, 土壤有机质出现差异的主要原因可能是气候因素所致, 东坡和南坡由于东南季风气团在抬升过程中冷却, 雨水较充沛, 有利于土壤微生物活动, 同时, 东坡接受的日照时间较长, 土壤温度相对较高, 促进了土壤微生物活性和有机质的积累。而北坡气温较低, 晚上有大量水汽冷凝成细雨降落, 对土壤有机质淋溶作用, 从而减少了土壤有机质含量。

结果表明 3 个不同坡面土壤铵态氮含量依次为北坡 > 南坡 > 东坡, 土壤微生物量生物量碳随着土壤铵态氮含量的升高而减小。这与前人的报道正好相反。Wardle 的研究发现土壤微生物生物量碳与底物的碳、氮成显著正相关, 而且微生物生物量碳与底物氮的相关性比与底物碳的相关性来得强, 表明土壤氮是影响微生物生物量碳大小的主要因素^[14]。可能的原因是土壤湿度条件的影响, 一般而

言, 土壤微生物生物量会随着水分的干湿交替而改变^[15]。本试验测定的北坡土壤含水量平均为 41.43%, 达到田间持水量(以 60% 计算)的 69.04%, 土壤湿度太大, 导致土壤通气不良、厌气缺氧, 抑制了土壤菌类的生长发育, 同时也使得土壤铵态氮含量增加。并且, 结果表明土壤微生物量生物量碳以及土壤铵态氮含量与土壤含水量之间并无显著的相关性(表 2)。另一方面, 有研究表明草地土壤在持续干旱条件下, 微生物生物量碳显著下降^[16-17]。Van Gestel 等^[18]也报道也认为淋溶土或泥炭土干旱时, 微生物生物量碳减小 26%~30%, 而武功山伏秋时节秋高气爽, 干旱无雨天气有时持续 70 余天^[8], 这可能是土壤微生物量生物量碳低下的主要原因。

土壤微生物对土壤的形成发育、物质循环和肥力演变等均有重大影响, 过去有关土壤微生物的研究长期停留在对土壤微生物区系的组成和作用过程的定性探讨, 并且很多报道都是在室内对受干扰的土壤样品进行研究, 很少关注野外环境下的微生物生物量碳动态变化^[6], 同时, 主要集中对农业土壤微生物生物量碳的研究, 近年来, 森林土壤微生物生物量碳开始受到关注^[19], 但高山草甸土壤微生物生物量及其群落多样性却较少人涉及, 而且, 土壤微生物生物量碳受到碳氮限制、不同树种、土地利用方式、管理措施、土壤湿度和温度、土壤质地等诸多因素的影响, 研究高山草甸生态系统土壤微生物生物量碳及其影响因素, 对于恢复原有微生物群落的结构和功能、提高土壤微生物多样性和土壤生态肥力, 均具有重要的理论与实践意义, 相关方面的研究将是今后应该加强研究的重要工作。

参考文献:

- [1] Zogg G P, Zak D R, Pregitzer K S, et al. Microbial immobilization and the retention of anthropogenic nitrate

- in a northern hardwood forest [J]. *Ecology*, 2000, 81:1858-1866.
- [2] Dilly O, Blume H P, Sehy U, et al. Variation of stabilized, microbial and biologically active carbon and nitrogen in soil under contrasting land use and agricultural management practices [J]. *Chemosphere*, 2003, 52: 557-569.
- [3] 王岩, 沈其荣, 史瑞和, 等. 土壤微生物量及其生态效应[J]. *南京农业大学学报*, 1996, 19(4):45-51.
- [4] Wander M M, Traina S J, Stinner B R, et al. The effects of organic and conventional management on biologically active soil organic matter fraction [J]. *Soil Sci. Am. J.*, 1994, 58:1130-1139.
- [5] Coleman D C, Reid CPP, Colo C. Biological strategies of nutrient cycling in soil systems [J]. *Advances in Ecological Research*, 1983(13):1-55.
- [6] 黄辉, 陈光水, 谢锦升, 等. 土壤微生物生物量碳及其影响因子研究进展[J]. *湖北林业科技*, 2008, 152(4):34-41.
- [7] 章士美, 龚航莲, 欧阳贵明. 江西武功山金顶草甸害虫名录及其区系分析[J]. *江西农业学报*, 1989, 1(1):75-76.
- [8] 高贤明. 江西安福武功山木本植物区系的研究[J]. *江西农业大学学报*, 1991, 13(2):141-147.
- [9] 肖宜安, 郭恺强, 刘旻生, 等. 武功山珍稀濒危植物资源及其区系特征[J]. *井冈山学院学报(自然科学)*, 2009, 30(4):5-8.
- [10] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring microbial biomass C [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19:703-707.
- [11] 刘光崧, 蒋能慧, 张连第, 等. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [12] Tessier L, Gregorich E G, Topp E. Spatial variability of soil microbial biomass measured by the fumigation extraction method, and KEC as affected by depth and manure application [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30:1369-1377.
- [13] Wang Y, Shen Q R, Yang Z M, et al. Size of microbial biomass in soils of China [J]. *Pedosphere*, 1996, 6(3):265-272.
- [14] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil [J]. *Biological reviews*, 1992, 67: 321- 358.
- [15] Bottner P. Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in a soil incubated with ^{14}C and ^{15}N -labelled plant material [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985 (17): 329-337.
- [16] Kieft T L, Sorocser E, Firestone M K. Microbial biomass response to a rapid increase in water potential when dry soil is wetted [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987 (19):119-126.
- [17] Rosacker L L, Kieft T L. Biomass and adenylate energy charge of a grassland soil during drying [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990(22):1121-1127.
- [18] Van Gestel M, Ladd J N, Amato M. Carbon and nitrogen mineralization from two soils of contrasting texture and micro aggregate stability: Influence of sequential fumigation, drying and storage [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991(23):313-322.
- [19] Bauhus J, Pare D, Cote L. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30:1077-1089.