

柽柳林地土壤微生物量碳及相关因素的分布特征*

朱宏^{1,2} 赵成义¹ 李君^{1,2} 李玉杰^{1,2} 王锋^{1,2}

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF SOIL MBC AND RELEVANT FACTORS IN WOODLAND OF TAMARIX RAMASSISSIMA, CENTRAL ASIA

Zhu Hong^{1,2} Zhao Chengyi¹ Li Jun^{1,2} Li Yujie^{1,2} Wang Feng^{1,2}

(1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

(2 Graduate School, Chinese Academy Sciences, Beijing 100039, China)

关键词 空间变异; 微生物量碳; 地统计学; 土壤呼吸; 灌丛; 土壤含水量

中图分类号 S714.2; Q938.1 文献标识码 A

在土壤性状空间变异性的经典统计分析中,是将土壤性状看作随机的、彼此相互独立的。然而实际中,在一定的空间范围内,土壤性状存在一定的空间依赖。地统计学方法被成功地引入土壤空间性状分析^[1],并已经被证明是分析土壤性状空间分布和空间异质性的最有效方法之一^[2,3]。近 20 年来已被国内外土壤研究者广泛采用^[3]。土壤性状的空间变异是指一个质地视为均一的区域内,在同一时间,不同点的土壤性状存在着的明显变异性^[4],这种变异性是由结构性因子和随机性因子共同作用的结果。结构性因子包括土壤形成过程中的成土母质、地形、地下水位及形成的土壤类型等因素;随机性因子是指土壤管理过程的措施、种植的作物、耕作栽培措施等。一般地,结构性因子促使土壤养分含量具有较强的空间相关性,而随机性因子促使土壤养分含量的空间相关性减弱^[5]。如果随机性因素强,结构性差,意味着空间变异复杂。相反地如果随机性弱,结构性好,空间变异就简单。

土壤微生物是陆地生态系统的重要部分,在土壤有机质分解和营养循环过程中起到重要的作用^[6]。土壤微生物量碳是土壤养分转化的活性碳库或源,是反映土壤微生物活性大小的总体指标之一^[7],一般占土壤有机碳的 1%~4%,是碳循环和

周转的媒介。土壤微生物也是大多数植物可利用营养循环网的基础,足见其重要性。在荒漠生态系统中,荒漠植物是呈斑块状分布,其影响了土壤资源的空间分布格局,在灌丛植物根部周围出现肥岛土壤环境^[8,9]。因而在荒漠生态系统中土壤呼吸、土壤含水量等土壤性质具有明显的空间差异性^[10,11]。土壤微生物的活动会改善土壤结构,加速物料分解,促进养分循环和刺激植物生长。植物生长(根系生长和凋落物回归土壤)反之又影响着土壤微生物的活性和分布。因此分析荒漠区土壤微生物量碳的时空分布有助于了解其生态系统功能及对不同管理模式的反应,对探讨该地区的土壤养分变化特征及碳循环有重要意义,并有利于制定可持续发展的管理策略。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于三工河流域下游-阜康荒漠生态实验站的自然荒地内(图 1)。该区属温带大陆性气候,年平均气温为 6.6℃,年降雨量在 130~150 mm 之间,年蒸发量却高达 1 780~2 453 mm。土壤类型属灰漠土或盐化草甸土,表层土壤容重为 1.2 g cm⁻³左右。植

*国家 863 项目(2006AA10Z226)、中国科学院创新项目(KZCX2-YW-127)和国家自然科学基金项目(40571011)资助

作者简介:朱宏(1976~),男,新疆奇台人,博士研究生,研究方向为土壤生态。E-mail:zhuh@ms.xjb.ac.cn

收稿日期:2006-10-31;收到修改稿日期:2007-03-08

被盖度较低,在 30% 以下,建群种为怪柳 (*tamarix ramosissima*)。主要植被有红砂群落 (*Reaumuria soongorica Maxim.*)、角果藜 (*Ceratocarpus arenarius L.*)、碱

蓬 (*Suaeda physophora Pall.*) 及一些短命的草本植物,如:西伯利亚叉茅蓬 (*Petrosimonia sibirica Bge.*) 钠猪毛菜 (*S. nitraria Pall.*)。

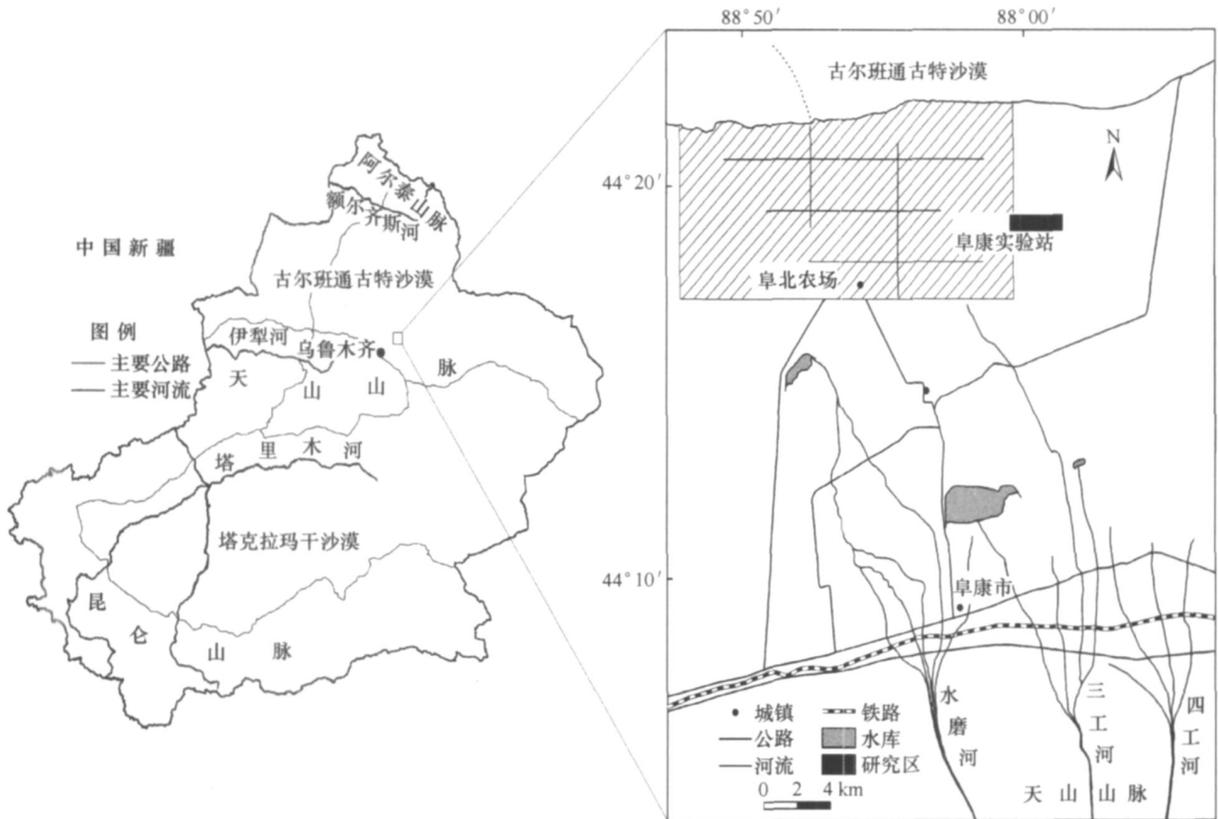


图 1 阜康荒漠生态实验站位置

1.2 土壤样品采集与测定

在 12 m × 14 m 的怪柳灌木林中,以 2 m × 2 m 的栅格划分。在 2006 年 4 月中旬,用 4 cm 直径的土钻在每个方格的中间取 0 ~ 15 cm 深土壤样,共取得 42 个样品,样品随即带回实验室在 - 4 °C 下保存,同时取样测定土壤水分含量。

将样品过 4 mm 筛除去植物根系和石粒,称取相当于干重 10 g 的鲜样品用熏蒸析出法 (fumigation extraction) 测定土壤微生物量碳^[12]。采用 Nunan 等^[13]的方法计算土壤微生物量碳。

在 2006 年 6 月中旬,在各点用红外气体分析仪 (Model CIRAS-1, PP Systems, Hitchin, UK) 连接土壤呼吸室测定土壤二氧化碳通量,作为土壤呼吸值。每次测定时,先除去地表的覆盖物 (碎屑、凋落物等)、去除草本植物,将呼吸室插入表层土壤 3 cm 深,测定时间设定为 120s,在测量值趋于稳定时开始记录,并取样测定土壤水分含量。

土壤含水量测定,样品在 105 °C 烘 12h,根据失重计算土壤质量含水量。

1.3 数据处理

首先用 SPSS 软件 kolmogorov-Smirnov 法对原始数据进行分析处理后,再采用 GS + 7.0 软件的块段插值法 (Block Kriging) 进行空间内插,分析变量的空间分布特征。

2 结果与讨论

2.1 土壤变量的变异特征分析

土壤变量统计特征值见表 1。4 月期间土壤微生物量碳含量在 1.65 ~ 5.96 μg g⁻¹;土壤含水量在 4.71% ~ 21.84% 间。在 6 月时,土壤含水量在 7.17% ~ 14.49%。土壤呼吸值变化范围为 0.01 ~ 0.31 gm⁻²h⁻¹。总体而言,该样地的土壤微生物量碳变幅很大,说明其不均一性显著;土壤含水量的变

化也较大,但是4月的变幅大于6月的变幅,季节变化明显;土壤呼吸的变幅也较大,空间变化明显。

表1 各变量的统计特征值

项目	土壤微生物量碳 ¹⁾	土壤质量含水量 ¹⁾	土壤呼吸 ²⁾	土壤质量含水量 ²⁾
	($\mu\text{g g}^{-1}$)	(%)	($\text{g m}^{-2}\text{h}^{-1}$)	(%)
样本数 n	42	42	42	42
最大值	5.96	21.84	0.31	14.49
最小值	1.65	4.71	0.01	7.17
均值	4.199	11.078	0.072	9.851
标准差	0.986	3.72	0.087	1.601
变异系数 (%)	26.97	33.58	121	16.25

注:1)2006年4月样品测定数据;2)2006年6月样品测定数据

从变异系数来看(表1),土壤微生物量碳、土壤含水量及土壤呼吸值的变异系数(CV)分别为0.27、0.34及1.21。研究认为,CV < 0.1为弱变异性,0.1 < CV < 1为中等变异性,CV > 1为强变异性^[4]。土壤微生物量碳和土壤含水量呈中等变异性,土壤呼吸呈强变异性。很显然,它们均受到了某些因素

较强的影响,使其呈现出较强的空间差异性。对4月的土壤微生物量碳和土壤含水量进行配对分析,其相关系数为0.46,达到显著水平($p_{0.005}$);6月的土壤呼吸与土壤含水量的相关系数为0.641,达到显著水平($p_{0.005}$)。表明土壤含水量与土壤微生物量碳或土壤呼吸之间存在较强的相互作用关系。

2.2 半方差变量分析

系统变量的空间相关性的强弱可由结构方差,即 $[C/(C+C_0)]$ 来反映。如果比值小于25%,说明系统变量具有较弱的空间相关性;如果比例在25%~75%之间,表明系统具有中等的空间相关性;大于75%说明系统变量空间相关性很强;若比值接近于1,说明在整个尺度上变量具有恒定的变异^[14]。根据半方差函数的理论及计算结果获得表2。土壤微生物量碳和土壤呼吸的空间相关性分别为88.7%和97.6%,土壤含水量的空间相关性由4月的94.6%变化为6月的73.2%。6月的土壤含水量结构方差为73.2%,中等空间相关性,土壤呼吸结构方差为97.6%,空间相关性强。由此可以看出,由结构因素和随机因素引起的变量空间异质性是不同的。

表2 各变量半方差函数模型类型和相应的参数

时间 (yyyy-mm)	参数	模型	块金值 C_0	基台值 $C_0 + C$	结构方差 $C/(C_0 + C)$	步长 (m)	R^2
2006-04	土壤微生物量碳	球型	0.125	1.104	0.887	4.2	0.713
	土壤含水量	球型	0.79	14.63	0.946	3.23	0.779
2006-06	土壤呼吸	高斯	0.00019	0.00779	0.976	3.50	0.991
	土壤含水量	球型	0.787	2.935	0.732	6.75	0.996

各变量半方差函数图(图2)所示,从自相关距离来看,各变量的自相关距差异不大,除6月的土壤含水量自相关距离是6.75 m外,其余的范围在3.23~4.2 m之间,说明其空间自相关变化的尺度相差不大。这主要是因为各变量的结构方差较大,空间变化的尺度由该地土壤形成过程中的成土母质、地形及形成的土壤类型等因素影响的。显然,气候及管理措施等随机因素对变量空间变异的影响较小。因此,研究区荒漠生态系统的土壤特性的空间变异的高低主要取决于该地区土壤的原始积累及柽柳的空间分布。但是土壤含水量的差异比较明显。在初春的4月,气温较低,蒸散发较少,有较多的积雪融水下渗,因此4月的土壤水分含量较高,随机方差较小;6月土壤含水量的随机方差增大为26.8%。土壤含水量自相关距也由4月的3.23 m增至6月

的6.75 m。说明土壤含水量的空间变化受降水、气温、风速等随机性因素的影响较明显。土壤呼吸的随机方差只有2.4%,受气候和管理等因素的影响较小。因此推断在有机碳含量较低的荒漠地区的土壤呼吸大小主要是受土壤碳的限制。Gallardo和Schlesinger研究表明,在Chihuahuan荒漠土壤中较低的碳含量限制了土壤中的微生物量^[15],间接影响了土壤呼吸。

2.3 各变量等值线图

从等值线图可以看出微生物量碳、土壤水分及土壤呼吸的时间及空间变化是相似的,其最高值都出现在同一或相邻区域(见图3)。图3a中,用符号“+”标注的点1~10表明该点生长有灌丛,主要是柽柳,偶有白刺,其冠幅面积大小见表3。其中1、2、3、4、6、7、8灌丛的冠幅面积要较5、9、10的明显大。

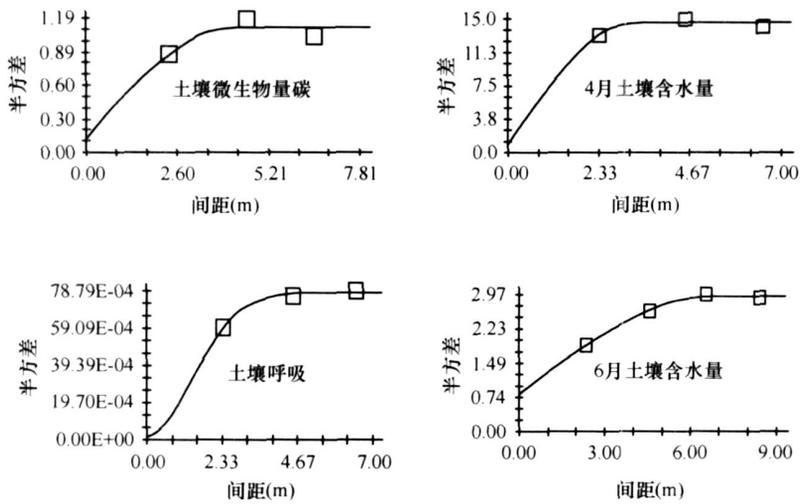


图2 各变量的半方差函数图

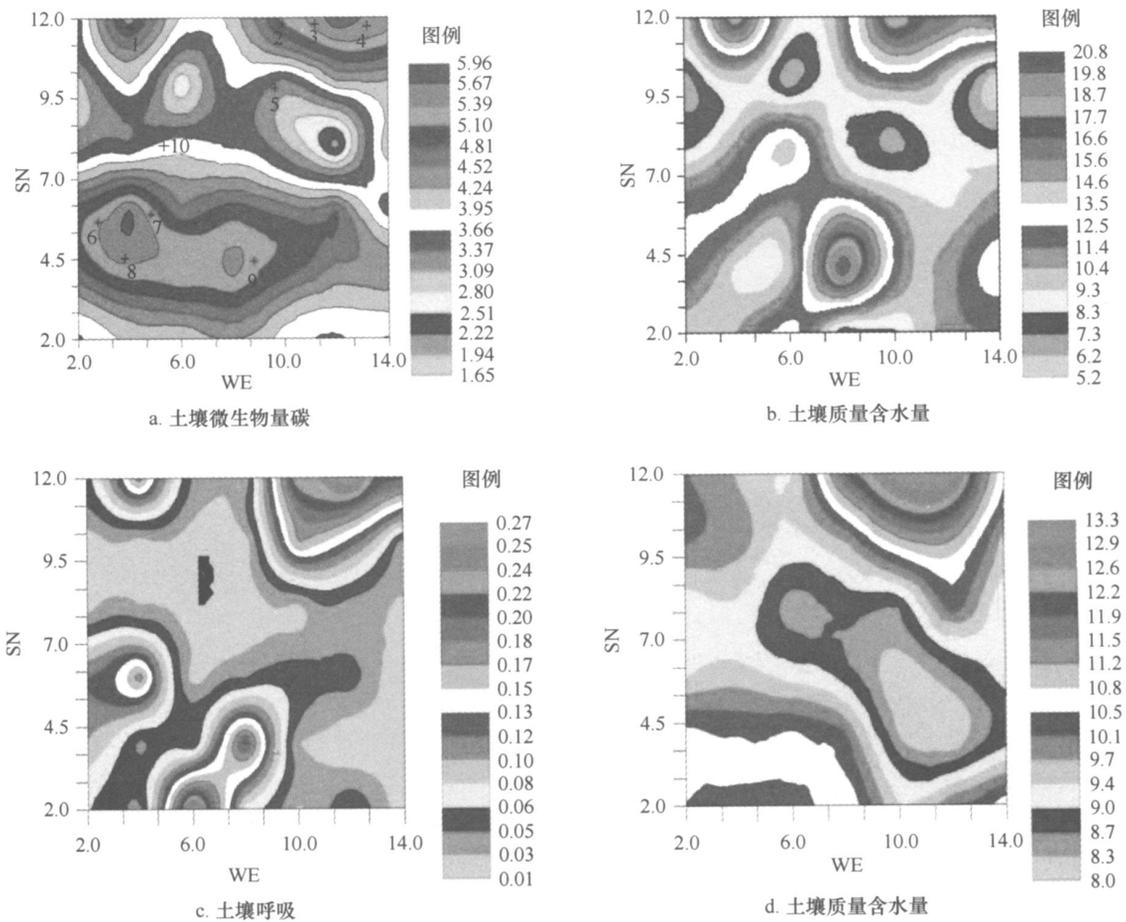


图3 各变量的等值线图(图a中的“+”表示灌丛位置, b.4月, d.6月)

从各变量的等值线图(见图3)上可以看出,土壤微生物量碳、土壤呼吸和土壤含水量的高值均出现在冠幅较大的灌丛下或附近,最小值均出现在没有灌

丛的空地处,而冠幅较小的5、9、10灌(木)丛对这些变量的值影响不明显。从4月和6月的土壤含水量来看,水分变化比较明显。从总体上来看,6月的土

壤含水量较 4 月的明显低,但是二者整体格局没有变化,冠下或附近的土壤含水量均高于灌间。灌丛覆盖对土壤性质有一定的影响,使得土壤微生物量碳和土壤呼吸的空间分布与灌丛分布具有一致的格局。这是因为灌丛凋落物和根系为冠下土壤提供了比较丰富的有机质及能量物质^[16],作为土壤微生物的新陈代谢的基质,增强土壤微生物活性及微生物量,增加土壤呼吸值。Busse 等^[17]认为植被对微生物量所产生的唯一的负面影响就是植被的减少降低了土壤微生物量。这是因为植物减少了,相应的以凋落物和根系分泌物的形式向土壤次生态系统输入的能量物质也减少了,土壤微生物量及土壤呼吸也降低了。土壤呼吸包括植物根系和土壤微生物以及土壤动物的呼吸,灌丛根系生长与土壤微生物活性相互作用,形成良性影响^[18]。因此冠下或附近的土壤呼吸值较高,灌间的土壤呼吸值较低。

表 3 植株的位置和冠幅大小

标记	灌丛	冠幅(WE ×SNm ²)
1	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	1.8 ×1.6
2	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	2.6 ×2.4
3	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	2.3 ×2.4
4	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	2.4 ×2.5
5	白刺 <i>Nitraria sibirica</i> Pall.	1.0 ×1.0
6	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	2.2 ×2.4
7	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	2.3 ×2.3
8	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	2.3 ×2.7
9	白刺 <i>Nitraria sibirica</i> Pall.	0.6 ×0.8
10	柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	0.4 ×0.3

在干旱气候环境条件下,大多数土壤性质的空间变异均受到灌丛的影响。灌丛起到了重要的作用,灌丛凋落物的积累和灌丛的遮阴效果对灌下土壤性质也起到了一定的影响作用。凋落物的积累和灌丛的遮阴作用减少了冠下土壤水分的蒸散发损耗。4 月和 6 月土壤含水量的最高值分别为 21.84%和 14.49%,均为出现在冠下或灌丛附近。可见,灌丛覆盖对土壤含水量有一定影响。

3 结 论

在荒漠自然生态系统中,土壤微生物量碳、土壤呼吸及土壤含水量在空间尺度上均存在中等偏上的变异性,自相关距相差不大,空间自相关变化的尺度是相同的。其分布模式与灌丛的分布相一致,受灌丛的影响比较明显。形成了该柽柳林地

土壤性质呈斑块状的分布特征。变量的这种空间分布模式主要是受土壤母质和柽柳的分布格局等结构因素的影响。土壤含水量的最高值出现在冠下或周围,土壤含水量的空间变化易受随机性因素的影响。

参 考 文 献

- [1] Goovaerts P. Geostatitics in soil science: State-of-the art and perspectives. *Geoderma*, 1999, 45:1 ~ 45
- [2] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999. 102 ~ 149
- [3] 姜勇, 张玉革, 闻大中, 等. 沈阳市郊耕地土壤交换性铁含量的空间异质性. *水土保持学报*, 2003, 17(1):119 ~ 121
- [4] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, 等. 土壤特性空间变异性初步研究. *水利学报*, 1985, 9:10 ~ 21
- [5] 张兴义, 隋跃宇, 于莉. 薄层农田黑土速效氮磷钾含量的空间异质性. *水土保持学报*, 2004, 18(4): 85 ~ 88
- [6] Rutigliano F A, Ascoli R D, De Santo A V. Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean area as affected by plant cover. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36:1 719 ~ 1 729
- [7] Wick B, Kuhne R F, Vlek P L G. Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow managements systems in south-western Nigeria. *Plant and Soil*, 1998, 202: 97 ~ 107
- [8] Jonathan H, Robert S, Stanley D. Soil resource heterogeneity in the Mojave Desert. *Journal of Arid Environments*, 2002, 52: 269 ~ 292
- [9] 陈广生, 曾德慧, 陈伏生, 等. 干旱和半干旱地区灌木下土壤“肥岛”研究进展. *应用生态学*, 2003, 14:2 295 ~ 2 300
- [10] Maestre F T, Cortina J. Small-scale spatial variation in soil CO₂ efflux in a Mediterranean semiarid steppe. *Applied Soil Ecology*, 2003, 23:199 ~ 209
- [11] Schlesinger W H, Pilmanis A M. Plant-soil interactions in desert. *Biogeochemistry*, 1998, 42:169 ~ 187
- [12] Dilustro J J, Collins B, Duncan L, et al. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. *Forest Ecology and Management*, 2005, 205: 85 ~ 95
- [13] Nunan N, Mrgan M A, Herlihy M. Ultraviolet absorbance (280nm) of compounds released from soil during chloroform fumigation as an estimate of the microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30:1599 ~ 1603
- [14] 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征——变异函数与 Kriging 插值分析. *地理学报*, 2000, 55(5): 555 ~ 566
- [15] Gallardo A, Schlesinger W H. Carbon and nitrogen of soil microbial biomass in desert ecosystems. *Biogeochemistry*, 1992, 18: 1 ~ 17
- [16] 薛立, 吴敏, 徐燕, 等. 几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究. *土壤学报*, 2005, 42(6): 1 017 ~ 1 023
- [17] Busse M D, Ratcliff A W, Shestak C J, et al. Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33: 1 777 ~ 1 789
- [18] 陆雅海, 张福锁. 根际微生物研究进展. *土壤*, 2006, 38(2): 113 ~ 121