

东莞林科园土壤水分的空间异质性

熊咏梅¹, 朱剑云², 叶永昌², 刘颂颂², 苏志尧¹

(1 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642 2 东莞林业科学研究所, 广东 东莞 523106)

摘要: 基于 20 个 $150\text{ m} \times 150\text{ m}$ 的网格对东莞林科园进行土壤剖面取样, 探讨其土壤水分的水平与垂直空间分布规律. 研究结果表明: 土壤水分的水平分布规律是除自然含水量为显著差异 ($P = 0.0268$) 外, 土壤容重 ($P = 0.0003 \times 10^{-4}$)、最大持水量 ($P = 0.0030$)、田间持水量 ($P = 0.0014$)、毛管持水量 ($P = 0.0019$) 和总孔隙度 ($P = 0.0002 \times 10^{-4}$) 均为极显著差异; 垂直分布规律是土壤容重随土层深度的增加而增加, 但异质性不显著 ($P = 0.3812$), 最大持水量 ($P = 0.0102$)、田间持水量 ($P = 0.0182$)、毛管持水量 ($P = 0.0822$) 和土壤总孔隙度 ($P = 0.4136$) 随土层深度的增加而减少, 但其中毛管持水量和土壤总孔隙度的差异不显著, 土壤自然含水量表层 $0 \sim 20\text{ cm}$ 的较小, 土层 $20 \sim 40\text{ cm}$ 的最小, 土层 $40 \sim 60\text{ cm}$ 的最大, 且各层次之间的自然含水量的异质性不显著 ($P = 0.7558$). 对 5 个土壤水分指标进行主成分分析 (PCA) 表明, 第一和第二主成分分别解释了 68.56% 、 18.71% 的变异, 即土壤水分特征主要由最大持水量、田间持水量、毛管持水量和总孔隙度决定的.

关键词: 土壤; 水分; 空间异质性; 东莞

中图分类号: S714

文献标识码: A

文章编号: 1004-411X(2006)03-0021-05

Spatial Heterogeneity of Soil Moisture Content in Dongguan Forest Experimental Park

XIONG Yong-mei¹, ZHU Jian-yun², YE Yong-chang², LIU Song-song², SU Zhi-yao¹

(1 College of Forestry, South China Agric Univ., Guangzhou 510642 China 2 Dongguan Institute of Forestry Research, Dongguan 523106 China)

Abstract Soil moisture characteristics and horizontal and vertical distribution of them were explored based on samples collected from 20 profiles using a grid system of $150\text{ m} \times 150\text{ m}$ superimposed on the study area of Dongguan Forest Experimental park. The results of this study showed that horizontal gradient in moisture content was significant ($P = 0.0268$), and in bulk density ($P = 0.0003 \times 10^{-4}$), maximum moisture capacity ($P = 0.0030$), field capacity ($P = 0.0014$), capillary moisture capacity ($P = 0.0019$) and total porosity ($P = 0.0002 \times 10^{-4}$) was highly significant between the 20 soil profiles. As for vertical distribution, maximum moisture capacity ($P = 0.0102$), field capacity ($P = 0.0182$), capillary moisture capacity ($P = 0.0822$) and total soil porosity ($P = 0.4136$) decreased with soil depth except the water content ($P = 0.7558$), but the bulk density ($P = 0.3812$) increased with soil depth. The principal component analysis (PCA) was employed to characterize five soil moisture indexes. The results demonstrated that the soil moisture was determined by the maximum moisture capacity, field capacity, capillary moisture capacity and total soil porosity.

Key words soil moisture; spatial heterogeneity; Dongguan

作为全球水资源的重要组成部分, 土壤水在全 球水循环中具有重要的意义^[1]. 一方面, 土壤水通过

收稿日期: 2005-09-12

作者简介: 熊咏梅 (1981-), 女, 硕士研究生; 通讯作者: 苏志尧 (1963-), 男, 教授, 博士, E-mail: zysu@scau.edu.cn

基金项目: 广东省科技计划项目 (2002C20703)

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

植被的蒸腾和土壤表面的蒸发扩散到大气中^[3]；另一方面，土壤水充当降水与地下水相互转换的媒介^[3]。土壤水分状况与土地生产力和植被分布类型等有密切的相关性^[4-5]，且土壤水的运动功能对农业生产和生态环境的维护具有决定性作用，因此土壤水分的异质性受到研究者们的关注与重视^[6]。土壤水分存在着空间异质性并受到多因素的影响，如时间动态、层次格局、坡度、坡位、海拔、土地利用方式等都会影响到土壤水分的空间异质性^[7-8]。国内外关于土壤水空间异质性的研究多集中于干旱或半干旱地区^[9-10]，关于我国华南地区的森林土壤水分的空间异质性的研究报道不多见，且大多数研究是按特定地形地貌来确定采样点^[7-8]。本研究是基于网格法对东莞林科园进行土壤剖面取样，比较客观地反映小区域内的土壤水分状况。土壤水分的空间异质性研究使得土壤含水量的测定具有代表性，较为真实地反映土壤的水文状态^[6]。本研究选取了能代表土壤水分状况且较易获得的 4 个土壤水分指标，通过网格法确定采样点和室内测定，研究了东莞林科园土壤水分的空间异质性，以揭示其土壤水分的空间分布规律及吸储水能力与土地利用类型的关系，从而为东莞林科园的土地规划和今后的景观管理提供科学的依据，也为华南地区森林土壤水分的空间异质性研究及土地利用类型的改变对土壤水分的空间分布格局的影响提供参考依据。

1 研究方法

1.1 研究地区概况

东莞林科园位于东莞市东南部郊区 (22°57'N, 113°47'E)，属南亚热带海洋季风性气候区，海拔 120 m。全年平均气温 22.1℃，最高月 (7 月) 均温 28.2℃，最低月 (1 月) 均温 13.4℃，绝对高温为 37.9℃，绝对低温为 -0.5℃。年雨量丰富，平均年降水量 1 800 mm，其中 80% 集中在 4~9 月份。研究区域是一块“U”形的低丘陵地，总面积 45 hm²。土壤类型为花岗岩母质发育的赤红壤，土层深厚但石砾含量较多。

东莞林科园内原生植被已被破坏，现存多为人工种植的台湾相思 *Acacia confusa*、马尾松 *Pinus massoniana*、重阳木 *Bischofia polycarpa*、树菠萝 *Artocarpus heterophyllus*、马占相思 *Acacia mangium*、柠檬桉 *Eucalyptus maculata*、妃子笑 *Litchi chinensis*、龙眼 *Dioscarpus longan*、芒果 *Mangifera indica*、流苏相思 *Acacia finbriata*、翅荚决明 *Cassia alata* 等纯林，人工幼林，果园和苗圃。灌木有车轮梅 *Rhaphiolepis indica*、长寿

花 *Ixora chinensis*、野牡丹 *Melastoma candidum*、山指甲 *Ligustrum sinense*、桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa*、鬼灯笼 *Clerodendron fortunei*、余甘子 *Phyllanthus emblica*、三桠苦 *Evodias lepta*、潺槁木姜子 *Litsea glutinosa* 等，下层植物有马缨丹 *Lantana camara*、芒草 *Miscanthus sinensis*、芒萁 *Dicranopteris dichotoma*、乌毛蕨 *Blechnum orientale*、菝葜 *Smilax china*、山菅兰 *Dianelia ensifolia*、两耳草 *Paspalum conjugatum*、三叶鬼针草 *Bidens pilosa*、胜红蓟 *Ageratum conyzoides*、鸡矢藤 *Paederia scandens*、玉叶金花 *Mussaenda pubescens*、半边旗 *Pteris samipinnata* 等。调查中还发现，有害入侵植物微甘菊 *Mikania micrantha* 在多个样地出现，须加以防治。

1.2 野外取样及试验测定

利用网格法将研究区域分为 20 个 150 m × 150 m 的网格，其中处于边缘的网格的面积超过一半就算为一个网格，小于一半的就合并到相邻的网格中。每个网格的中心点为土壤的采样点。采样时间为 2004 年 8 月。土壤剖面为 70 cm × 200 cm × 120 cm，分 3 个层次进行土样采集 (分别为 0~20、20~40 和 40~60 cm)。调查并记录每个样地的坡向、坡位、坡形、地貌类型、坡度、海拔 6 个地下因子以及土地利用类型与林下植被。自然含水量用酒精燃烧法测定，容重、最大持水量和田间持水量等用环刀法测定。

1.3 数据处理

试验数据以平均值 ± 标准误表示，对试验数据进行单因素方差分析 (one way ANOVA) 和主成分分析 (principal component analysis PCA)，所有数据分析在 STATISTICA 5.5 统计软件^[11]中完成。

2 结果与分析

2.1 土壤水分的水平分布

从表 1 可以看出东莞林科园土壤物理性质的水平分布格局。土壤容重在 0.77~1.63 g·cm⁻³ 之间变动。经过 F 检验，20 个土壤剖面的容重之间有极显著差异 ($P=0.0003 \times 10^{-4}$)。土壤剖面 4 的容重最大，平均值为 1.63 g·cm⁻³，变异系数仅为 0.20%。剖面 4 处于多年生树种的苗圃地，几乎没有地表植被，久未翻耕且人为践踏严重，因此，土壤极紧实且各层容重的差异不大。剖面 18 的容重为 0.81 g·cm⁻³，变异系数为 2.75%。剖面 18 是人为抚育施肥的小叶榕苗圃地，没有任何杂草，土壤 3 层都疏松，没有较大差异。剖面 17 为常绿阔叶树种与荔枝混交林，林下植被丰富，其土壤容重为 1.18 g·cm⁻³，变异系数为 11.16%。剖面 20 为荔枝

纯林, 土壤容重为 $1.50\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 变异系数为 2.43%, 对土壤容重的研究表明, 不同植被和不同的人为干扰对土壤容重的影响较大.

表 1 东莞林科园土壤水分性状指标的水平分布

Ta b 1 Horizontal distribution of soil moisture attributes in Dongguan Experimental Forestry Park

土壤剖面 soil profile	土地利用 land use	土壤容重	自然含水量	田间持水量	最大持水量	毛管持水量	总孔隙度 total porosity %
		bulk density / ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	water content (w) %	field capacity (w) %	max moisture capacity (w) %	capillary moisture capacity (w) %	
1	果园 orchard	1.44±0.02	15.1±1.44	85.2±3.49	91.5±3.75	31.3±0.83	45.5±0.45
2	幼林 new plantation	1.44±0.05	22.6±1.30	90.7±4.31	97.1±5.10	25.6±1.15	45.7±2.03
3	幼林 new plantation	1.41±0.03	12.2±1.40	95.2±1.31	102.5±1.79	26.4±0.81	47.3±0.85
4	苗圃 nursery	1.63±0.00	25.5±0.98	78.3±0.37	82.2±0.20	36.6±2.23	40.9±0.12
5	幼林 new plantation	1.36±0.02	19.3±1.34	97.0±2.11	103.2±2.38	36.5±2.81	49.7±0.76
6	相思林 Acacia plantation	1.54±0.02	17.5±0.94	82.8±0.30	88.1±0.57	26.6±3.03	42.7±0.73
7	果园 orchard	1.39±0.02	18.1±0.83	88.8±1.76	96.5±1.79	27.7±0.66	47.4±0.93
8	果园 orchard	1.55±0.01	18.2±0.60	81.7±0.89	86.8±0.79	26.4±1.08	41.3±0.56
9	相思林 Acacia plantation	1.48±0.05	15.0±2.00	90.6±3.39	98.2±3.87	28.5±1.99	44.9±1.76
10	相思林 Acacia plantation	1.35±0.07	17.3±1.63	106.6±6.38	112.9±7.07	25.7±1.44	49.9±2.70
11	幼林 new plantation	1.56±0.06	22.9±1.10	85.1±4.69	89.9±4.96	31.7±3.28	41.6±2.58
12	果园 orchard	1.28±0.08	19.8±1.90	105.4±6.57	113.3±7.88	32.1±1.72	52.6±2.82
13	果园 orchard	1.29±0.05	17.7±1.61	107.6±4.40	115.7±4.97	25.8±0.75	52.1±1.78
14	果园 orchard	1.46±0.01	17.3±0.60	89.6±0.93	96.9±1.17	23.0±0.34	44.8±0.42
15	果园 orchard	1.21±0.06	20.1±1.58	115.3±6.09	125.3±8.00	23.0±1.82	55.7±2.09
16	果园 orchard	1.37±0.03	16.1±1.32	95.2±5.10	101.6±5.16	23.3±0.80	48.8±1.25
17	果园 orchard	1.18±0.13	20.8±1.20	91.6±2.48	97.9±2.67	24.0±1.70	55.5±5.09
18	苗圃 nursery	0.81±0.02	19.9±0.79	80.9±3.12	86.4±3.43	27.0±0.18	69.4±0.65
19	果园 orchard	0.77±0.01	20.8±1.66	87.6±1.40	93.5±1.63	33.6±3.24	71.7±0.45
20	果园 orchard	1.50±0.04	19.3±1.56	80.9±2.61	88.1±3.23	19.6±1.31	43.9±1.15

东莞林科园土壤水分的水平分布的差异性显著. 除自然含水量为显著差异外 ($P=0.0268$), 最大持水量 ($P=0.0030$), 田间持水量 ($P=0.0014$), 毛管持水量 ($P=0.0019$)和总孔隙度 ($P=0.0002\times 10^{-4}$)为极显著差异. 各剖面土壤的自然含水量在 12.2%~25.5%之间, 平均为 18.8%. 剖面 3 是位于山顶的人工幼林, 只有零星的草本植物, 自然含水量最低 (12.2%), 且各层的差异性最大 (变异系数为 11.46%). 剖面 4 是位于平地的苗圃园, 自然含水量最大, 且各层的差异性小 (变异系数为 3.83%). 研究表明, 剖面 10、12、13 和 15 的田间持水量和最大持水量最大, 剖面 4、8、18 和 20 的田间持水量和最大持水量最小. 土壤毛管持水量的范围为 19.6%~36.6%, 不同剖面的毛管持水量有极显著差异 ($P=0.0019$). 土壤总孔隙度在 40.9%~71.7%之间变动, 平均为 49.6%. 剖面 4 的总孔隙度最小, 剖面 19 的最大, 各层的差异性较小 (变异系数分别为 0.29%、0.69%). 因此, 不同的土地利用方式与管理措施是造成土壤水分水平分布有显著性差异

的主要因素之一.

2.2 土壤水分的垂直分布

东莞林科园土壤水分性状的垂直分布如图 1 所示. 土壤 0~20 cm 表土容重的平均值为 $1.29\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 40~60 cm 土层容重的平均值为 $1.40\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. 土壤容重随着土层深度的增加而逐渐增加 (图 1a), 不同植被类型下的土壤容重的垂直异质性不显著 ($P=0.3812$). 最大持水量、田间持水量、毛管持水量和土壤总孔隙度是随着土层深度的增加而减少 (图 1c~f). 东莞林科园土壤 0~20、20~40 和 40~60 cm 的最大持水量 ($P=0.0102$)、田间持水量 ($P=0.0182$)有显著差异性表明, 最大持水量和田间持水量是随着土层的增加而急剧减少; 不同土层的毛管持水量 ($P=0.0822$)和总孔隙度 ($P=0.4136$)的减少幅度不显著. 因此, 不同土地利用类型与植被覆盖下的土壤容重、毛管持水量和总孔隙度的垂直分布差异性不显著, 田间持水量和最大持水量的垂直分布的差异性显著. 土壤表层 0~20 cm 的自然含水量较小, 平均为 18.77%, 变异系数为

6.30%; 土层 20~40 cm 的自然持水量最小, 为 18.25%, 变异系数为 5.38%; 土层 40~60 cm 的自然持水量最大, 为 19.29%, 变异系数为 4.26%。不同土层的自然含水量的异质性不显著 ($P=0.7558$) 的结果

表明, 不同土地利用类型与植被覆盖下的土壤自然含水量的垂直分布没有异质性, 且土层 40~60 cm 的自然含水量的变异性相对较小 (变异系数为 4.26%)。

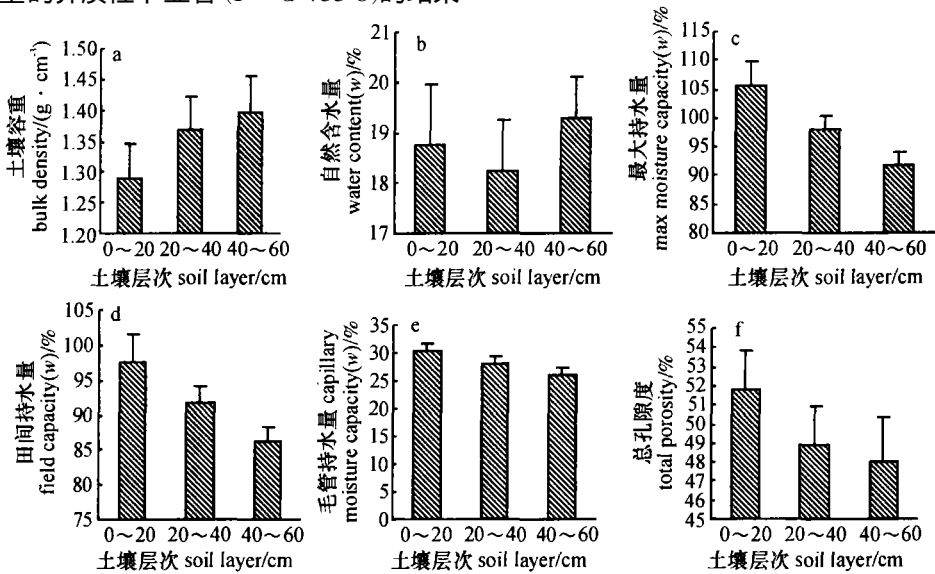


图 1 东莞林科园土壤水分性状指标的垂直分布
Fig 1 Vertical distribution of soilmoisture attributes in Dongguan Experimental Forestry Park

2.3 土壤水分的主成分分析

主成分分析是最简单同时也是最老的一种基于特征向量的分析方法. 将东莞林科园自然含水量、最大持水量、田间持水量、毛管持水量和总孔隙度 5 个因子进行主成分分析, 其结果如图 2 所示. 其中第 1 主成分和第 2 主成分分别解释了 68.56% 和 18.71% 的变量. 即东莞林科园的土壤水分特征主要由最大持水量、田间持水量、毛管持水量和总孔隙度决定的, 自然含水量对土壤水分性状的评价所占比重较小, 不足以影响土壤水分性状. 依据图 2 的分析结果可将 20 个土壤剖面分为 3 个类型: 类型 I 包括 18、19 号土壤剖面, 类型 II 包括 10、12、13、15 号土壤剖面,

类型 III 包括 14 个土壤剖面 (1、2、3、4、5、6、7、8、9、11、14、16、17、20 号). 类型 I 的土地利用类型包括苗圃和果园, 类型 II 的土地利用类型包括相思林和果园, 类型 III 的包括苗圃、果园、人工幼林和相思林. 由此可见, 依据东莞林科园土壤水分性状的主成分分析结果而进行的土壤分类, 反映了土壤水分性状的综合特征, 表明在不同经营措施下的同种土地利用类型的土壤水分性状具有异质性.

3 讨论

一个地区的自然土壤水分状况主要是受大气降雨和温度的影响^[4], 但在人为干扰比较严重的东莞林科园, 主要是人为耕作和经营的土地类型, 而且不同树种对土壤水分空间分布的影响很大^[5], 因此, 东莞林科园土壤水分性状表现出其本身的规律. 在单个指标很难真实地反映土壤水分的状况下, 本文选择了土壤容重、自然含水量、最大持水量、田间持水量、毛管持水量和总孔隙度来反映土壤水分性状, 并对其空间异质性进行了探讨.

本文对土壤水分异质性的研究结果与土壤水分一般从剖面上部向下逐渐减少、表层土壤水分含量的变幅较大的研究结论相符^[12], 且在不同土地利用方式和植被覆盖下的土壤水分的水平差异性显著, 因此, 在研究区域的水分状况时, 应考虑到土壤水分分布的异质性. 在全球温暖化的趋势下, 土壤呼吸与

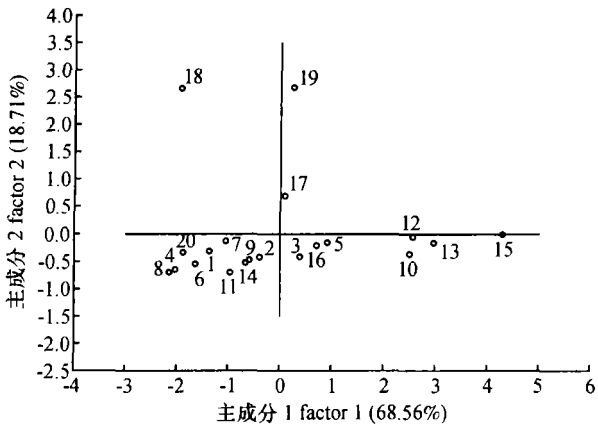


图 2 东莞林科园土壤水分性状主成分分析
Fig 2 Principal component analysis of the soilmoisture attributes in Dongguan Experimental Forestry Park

温室效应之间正反馈关系势必影响到未来陆地生态系统功能与全球变化的趋势^[13-14], 而土壤水分对土壤呼吸的温度敏感性有一定的影响^[15], 因此, 在研究全球温室效应及其产生的后果时, 应该考虑到土壤水分含量的变化及其空间分布, 从而正确且较为真实地评估土壤水分对全球温暖化的影响. 土壤水分的空间变异性随取样尺度的不同而有所不同^[16], 而且所选表征森林土壤水分含量的指标没有统一性, 这也是今后的研究中应该考虑的问题.

参考文献:

[1] 张钟军, 孙国清, 朱启疆. 植被层对被动微波遥感土壤水分反演影响的研究[J]. 遥感学报, 2004 8(3): 207-213.

[2] GALICIA L, LOPEZ-BLANCO J, ZARCO-ARISTA A E et al. The relationship between solar radiation interception and soil water content in a tropical deciduous forest in Mexico[J]. Gatena, 1999(36): 153-164.

[3] 王琦, 张恩和, 李凤民. 半干旱地区膜垄和土垄的集雨效率和不同集雨时期土壤水分比较[J]. 生态学报, 2004 24(8): 1 820-1 823.

[4] 王志强, 刘宝元, 王晓兰. 黄土高原半干旱区天然锦鸡儿灌丛对土壤水分的影响[J]. 地理研究, 2005 24(1): 113-120.

[5] RADERSMA S, ONG C K. Spatial distribution of root length density and soil water of linear agroforestry systems in sub-humid Kenya: implications for agroforestry models[J]. Forest Ecology and Management, 2004 188: 77-89.

[6] SCHUME H, JOST G, KATZENSTEINER K et al. Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand[J]. Geoderma, 2003 112: 273-287.

[7] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分的空间异质性及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2001 12(5): 715-720.

[8] 黄奕龙, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分空间格局及其影响因子[J]. 自然资源学报, 2005 20(4): 483-492.

[9] NEWMAN B D, CAMPBELL A R, WILCOX B P. Tracer-based studies of soil water movement in semi-arid forests of New Mexico[J]. Journal of Hydrology, 1997(196): 251-270.

[10] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. 应用生态学报, 2003 14(4): 515-519.

[11] Statsoft Inc. STATISTICA for Windows (Computer program manual)[CD/DK]. Tulsa: Statsoft Inc., 1997.

[12] ANDREU V, MESON A G, RUBIO J L et al. Temporal changes in soil aggregate erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest[J]. Gatena, 2001 44: 69-84.

[13] CONANT R T, DALLA-BETTA, KLOPATEK C G et al. Controls on soil respiration in semiarid soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004 36: 945-951.

[14] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 典型温带草原群落土壤呼吸温度敏感性与土壤水分的关系[J]. 生态学报, 2004 24(4): 831-836.

[15] SCOTT-DENTON L E, SPARKS K L, MONSON R K. Spatial and temporal controls of soil respiration rate in a high elevation subalpine forest[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003 35: 525-534.

[16] 李毅, 门旗, 罗英. 土壤水分空间变异性对灌溉决策的影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000 18(2): 80-85-90.

【责任编辑 李晓丹】