

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 5 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水堇评价污泥有机肥腐熟度	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例	邓晓红, 徐中民 (1587)
专论与综述	
台风对森林的影响	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展	黎慧娟, 彭静静 (1633)
问题讨论	
锡林郭勒盟生态脆弱性	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
研究简报	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 35 * 2012-03



封面图说: 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201101080032

李猛,段文标,陈立新,魏琳,冯静,王誓强. 红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析. 生态学报, 2012, 32(5): 1396-1402.

Li M, Duan W B, Chen L X, Wei L, Feng J, Wang S Q. Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated broadleaved mixed forest. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1396-1402.

红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析

李 猛^{1,2}, 段文标^{2,*}, 陈立新², 魏 琳², 冯 静², 王誓强³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土区农业生态院重点实验室, 海伦农田生态系统国家野外观测研究站, 哈尔滨 150081;

2. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 3. 乌审旗林业局, 鄂尔多斯 017300)

摘要:以小兴安岭原始红松阔叶混交林林隙为研究对象,采用网格法布点,通过对生长季内林隙各样点土壤含水量的连续观测,利用基本统计学和地统计学的方法分析并揭示了林隙土壤含水量的时空分布格局,旨在为红松阔叶混交林的可持续经营提供基础数据和理论参考。结果表明:林隙土壤含水量不仅存在明显的空间异质性,而且空间异质性的强度、尺度和空间结构组成随时间而改变。浅层土壤水分空间异质性大于深层,林隙 0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 土壤含水量大小顺序均为 9 月>7 月>8 月>6 月。林隙、郁闭林分和空旷地土壤含水量大小顺序均为 0—7.6 cm>0—12 cm>0—20 cm。生长季内 6 月土壤含水量不同空间样点极差最大,各月变异都属于中等变异程度;基台值和变程大小顺序同样为 0—7.6 cm>0—12 cm>0—20 cm;林隙月平均土壤含水量斑块连接度高,形状复杂,0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 平均土壤含水量最大值均分布在林隙中心及其附近,最小值分布位置不固定;生长季内土壤含水量及其变化程度均为空旷地最大,林隙次之,郁闭林分最小。

关键词:红松阔叶混交林;林隙;土壤含水量;地统计学;小兴安岭

Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated broadleaved mixed forest

LI Meng^{1,2}, DUAN Wenbiao^{2,*}, CHEN Lixin², WEI Lin², FENG Jing², WANG Shiqiang³

1 Key Laboratory of Mollisols Agroecology, National Observation Station of Hailun Agroecology System, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China

2 College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

3 Wushenqi Forestry Administration, Ordos 017300, China

Abstract: Plot was set in a single forest gap with irregular shape and about 250 m² area in *Pinus koraiensis*-dominated broadleaved mixed forests in Xiao Xing'an Mountains, locations of measurement were established by the method of regular grids at the space of 4m. Soil water content (SWC) in three different depths in this gap was periodically measured during the growing season in 2008. Its spatiotemporal distribution patterns were systematically analyzed and temporal and small-scale spatial variations were further compared by traditional statistics and geostatistical methods. The aim of the study was to provide data and theoretical reference for gap regeneration, biodiversity preservation, deeper understanding of the role of a canopy opening on the physical environment in this type of natural forest and nature-based sustainable management of *Pinus koraiensis*-dominated broadleaved mixed forest in this area. The results showed that: for SWC, its spatial heterogeneity was obvious in this single gap and its intensity, scale and spatial structure proportion ranged from 0.005 to 0.073, 3.4 to 6.6 m and 0.625 to 0.935, respectively, these indicators which described SWC spatial heterogeneity were different between different months. The heterogeneity in shallow layer was greater than that in deep layer, the mean monthly SWC for 0—7.6

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30771708)

收稿日期:2011-01-08; 修订日期:2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dwbiao88@163.com

cm, 0—12 cm and 0—20 cm depth in the gap was highest in September, then decreased with the sequence of July, August and June, and the mean monthly SWC in the gap, understory and bare ground was highest in 0—7.6 cm, then decreased with the sequence of 0—12 cm and 0—20 cm. The largest variation in SWC among different locations occurred in June, monthly change in SWC fell into middle variability; the sill and range of monthly SWC was highest in 0—7.6 cm, and then decreased with the sequence of 0—12 cm and 0—20 cm. The connectivity of patches of mean monthly SWC was high and the complex degree of patch shapes was also different between different months, mean monthly maximum SWC were all located in the central part of the gap, mean monthly minimum SWC was not fixed at the same locations. Mean monthly SWC and its variation degree were highest in the bare ground, medium in forest gap and lowest in understory during growing season in 2008.

In general, the effect of this single, small irregular forest gap in *Pinus koraiensis*-dominated broadleaved mixed forests in Xiao Xing'an Mountains on SWC was influenced by many factors, such as within-gap position, seasonal change, soil depth, precipitation and evaporation, vegetation cover and litter thickness of the forest floor. All these factors should be discussed in future further researches.

Key Words: *Pinus koraiensis*-dominated broadleaved mixed forest; forest gap; soil water content; geostatistics; Xiao Xing'an Mountains

在森林群落中,由于某一上层林冠树木死亡而在林地上形成不连续的林中空地,称为林隙,林隙是森林更新和树木生长的潜在空间^[1]。森林群落内部到林隙中心光、热、水等生态因子显著的梯度变化,使得森林内产生了丰富的生态分异。国外学者对林隙土壤含水量状况进行了系统的研究^[2-4]。Raymond 等^[5]研究得出,林隙土壤含水量最大值出现在林隙的西南部,最小值出现在林隙的西北部和中部。Gray 等^[6]认为林隙中心土壤含水量比林隙边缘大,而且林隙北部边缘土壤含水量小于郁闭林分土壤含水量,并且表层土壤含水量变化大于下层。Gallidy 等^[7]对不同大小林隙研究得出林隙土壤含水量最大值位于林隙中心及其附近,大林隙的空间异质性大于小林隙。Ritter 等^[8]研究指出,土壤含水量最大值出现在林隙的西北部,而且林隙最高,林隙边缘次之,林下最低。国内学者对林隙土壤含水量也进行了研究,但大多数学者对林隙土壤含水量的研究只局限于林隙南北和东西两条样带^[9-11],和国外同类研究相比还有差距。笔者同时认为,不同的气候条件以及不同的树种形成的林隙其土壤含水量的变化规律也不尽相同,所以本研究立足我国东北阔叶红松混交林林隙,以时域反射仪(TDR)为测量工具,不局限于林隙南北和东西两条样带,运用地统计学的方法分析了整个林隙 0—7.6 cm, 0—12 cm, 0—20 cm 3 个层次的土壤含水量的时空异质性,并绘制了林隙土壤含水量时空变化等值线图,较为全面地研究了林隙不同位置以及不同层次土壤含水量的分布规律,并尝试量化地探讨林隙土壤含水量的空间异质性的强度和尺度,同时将林隙土壤含水量与郁闭林分和空旷地土壤含水量进行了对比。

林窗内土壤含水量条件发生了变化,不同树种对此作出不同的反应。阔叶红松林是中国东北东部山区的地带性森林植被,是温带针阔混交林的典型代表,和全球同纬度地区的森林相比,以其建群种独特、物种多样性丰富及含有较多的亚热带成分而著称。本试验以小兴安岭红松阔叶混交林林隙为研究对象,通过对林隙内土壤含水量的连续测定与系统分析,揭示小兴安岭红松阔叶混交林林隙土壤含水量的时空变化规律,为其可持续经营和生物多样性保护提供理论参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于黑龙江省伊春市带岭区凉水国家级自然保护区(47°6'49"—47°16'10"N, 128°47'8"—128°57'19"E),处于欧亚大陆的东缘,具有明显的温带大陆性季风气候的特征,冬长夏短。研究区和样地概况详见文献^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤含水量空间样点布设和测定方法

2008 年在大样地内选取面积为 250 m² 左右的红松阔叶混交林林隙 1 个,在林隙内按照网格法选取 41 个观测点,如图 1 所示,当年 6—9 月,每月选取 6 个晴天,在图 1 观测点位置用时域反射仪 (TDR, Spectrum, USA) 测定 0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 3 个深度的土壤体积含水量,每个测点上读取 6 个值,取其平均值作为该点的观测值,在郁闭林分 and 空旷地同步测量作为对照。

1.3 土壤含水量数据分析方法

1.3.1 变异函数及克里格法简介

变异函数可以定量的研究空间异质性的强度和尺度,在生态学中得到了广泛的应用。变异函数及其生态学解释为:

在一维条件下,变异函数定义为:当空间点 x 在一维 x 轴上变化时,区域变量 $Z(x)$ 在点 x 和 $(x+h)$ 处的值 $Z(x)$ 与 $Z(x+h)$ 差的方差的一半定义为区域化变量 $Z(x)$ 在 x 轴方向上的变异函数,记为 $\gamma(h)$,即:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

式中, $N(h)$ 为样点数。变异函数一般用变异函数曲线来表示,它显示了滞后距 h 与相应的变异函数值 $\gamma(h)$ 的对应关系。图 2 为变异函数曲线示意图。

C_0 称为块金值,它表示 h 很小时,两点间取值的变化,反映了区域化变量 $Z(x)$ 内部随机性的可能程度。 a 为变程,它的大小反映了研究对象中某一区域化变量的变化程度,也反映了影响范围。 C 称为基台值,反映某区域化变量在研究范围内变异的强度, C_1 称为拱高。基台值为块金值与拱高之和。通常使用块金值与基台值之比 $C_0/(C_0+C)$

和拱高与基台值之比 $C/(C_0+C)$ 来反映随机部分或自相关部分占总空间异质性的比例。分维数表示斑块的复杂程度,分维数越大,分布格局就越复杂。决定系数表示变异函数与模型拟合的程度,决定系数越大,模型拟合度越高^[13]。

克里格法的本质是对未抽样点进行线性无偏最优估计^[13],是一种估计观测样点间内插值的地统计学方法,它基于区域化变量理论,当获得了某个变量的变异函数的模拟模型后,可利用样点观测值对研究区域上未取样点的区域化变量值进行最小误差估计^[14]。Surfer 8.0 (Golden Software) 地理信息制图软件可以将原始调查数据通过克里格法绘制成反映调查样点与样点之间关系的图形^[15]。

1.3.2 土壤含水量数据统计方法

采用经典统计方法计算土壤含水量的平均值、标准差和变异系数。通过地统计方法对土壤含水量数据进行分析,建立变异函数理论模型,并通过块金值、基台值、变程、结构比和分维数等参数来分析林隙土壤含水量的空间变异规律。基本统计分析利用 SPSS 17.0 完成,地统计学分析用 GS⁺ For Windows 3.11 完成,克里格空间局部插值估计和等值线图用 Surfer 8.0 完成。

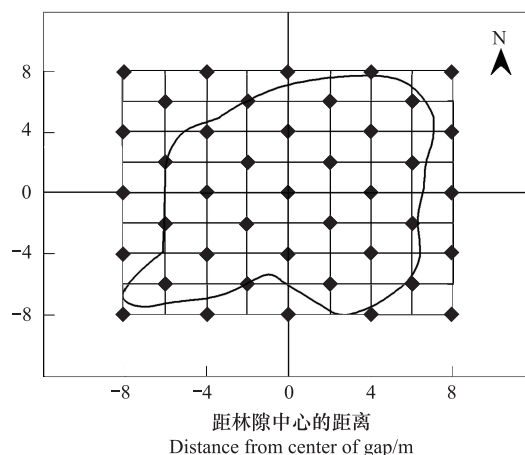


图 1 林隙土壤含水量观测点示意图

Fig. 1 Observation points of soil water content in the gap
曲线代表林隙边缘,黑点代表观测点位置

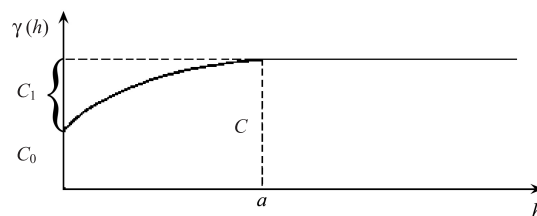


图 2 变异函数曲线示意图

Fig. 2 Curve line map of variogram

2 结果与分析

2.1 林隙土壤含水量统计结果

生长季内林隙 0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 月平均土壤含水量大小顺序均为 9 月>7 月>8 月>6 月(表 1)。同一月份大小顺序均为 0—7.6 cm>0—12 cm>0—20 cm,这说明浅层平均土壤含水量高于深层。0—7.6 cm 月平均土壤含水量为 24.26—32.99%,不同空间样点的极差 36.4%。0—12 cm 为 23.54—30.93%,不同空间样点的极差 35.5%,0—20 cm 为 22.97%—30.20%,不同样点的极差 34.1%,可见 0—7.6 cm 不同空间样点之间变异最大,这表明浅层土壤水分的空间异质性大于深层,可能是由于降雨落到林隙地面,林隙地表微地形、枯落物厚度等因素对降雨的再分配使得浅层土壤具有更大的空间异质性。从变异系数来看,0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 变异系数均为 6 月最大,这说明 6 月土壤含水量的绝对变异最大。根据变异程度分级规律, $C_v \leq 10\%$ 属于弱变异性, $10\% < C_v < 100\%$ 属于中等变异性, $C_v \geq 100\%$ 属于强变异性,各月变异都属于中等变异程度。0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 标准差均为 6 月最大,这说明 6 月平均土壤含水量的数据较离散,不同空间样点之间差异较大。林隙月平均土壤含水量最大值出现在 9 月 0—7.6 cm,最小值出现在 6 月 0—20 cm。上述观测结果受到了气候、林窗大小、植被状况和土壤结构等因素的综合影响。就月平均土壤含水量而言,0—7.6 cm 和 0—20 cm 除 6 月和 8 月差异不显著外($P>0.05$),其余各月差异均显著($P<0.05$);0—12 cm 月除 7 月和 8 月差异不显著外($P>0.05$),其余各月差异均显著($P<0.05$)。

表 1 林隙内不同月份土壤含水量统计特征

Table 1 Statistical parameters of soil water content of different months in the gap($n=41$)

深度 Depth/cm	月份 Month	最大值 Maximum/%	最小值 Minimum/%	平均值 Mean/%	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation/%
0—7.6	6	43.50	10.90	24.26	6.35	26.17
	7	40.10	19.10	28.46	4.56	16.02
	8	44.40	9.80	27.85	5.53	19.86
	9	46.20	19.50	32.99	5.37	16.28
0—12	6	42.90	12.60	23.54	5.64	23.96
	7	38.00	14.90	26.49	4.84	18.27
	8	36.90	18.90	25.23	4.64	18.39
	9	48.10	18.10	30.93	5.48	17.72
0—20	6	43.40	9.30	22.97	6.92	30.13
	7	37.40	18.40	26.19	4.42	16.88
	8	38.50	17.30	24.56	4.72	19.22
	9	39.30	20.90	30.20	4.37	14.47

2.2 林隙土壤含水量时空变异特征

林隙土壤含水量的变异函数拟合模型为球状、线性和指数模型(表 2),各模型的块金值都比较小,这表明在最小抽样尺度下土壤含水量的变异性及测量误差较小。由变异函数拟合模型参数可以看出,同一月份基台值大小顺序均为 0—7.6 cm>0—12 cm>0—20 cm,这也再次证明了浅层平均土壤含水量的空间异质性大于深层。同一月份不同深度的土壤含水量变程的大小顺序同样是 0—7.6 cm>0—12 cm>0—20 cm,这说明表层土壤含水量的空间自相关尺度较大,而随着深度的增加,空间自相关尺度逐渐减小。0—7.6 cm 和 0—12 cm 土壤含水量基台值均为 6 月最大,9 月最小,这表明 0—7.6 cm 和 0—12 cm 土壤含水量的总空间异质性均为 6 月最大,9 月最小;0—20 cm 基台值 8 月最大,6 月最小,这表明 0—20 cm 土壤含水量总空间异质性为 8 月最大,6 月最小,由此可见不同深度土壤含水量总变异程度有所不同。林隙土壤含水量的空间变异,可能制约林地幼苗的发生、生长和存活的空间格局。0—7.6 cm 土壤含水量空间结构比为 7 月最大,8 月最小,0—12 cm 则为 8 月最大,6 月最小;0—20 cm 为 9 月最大,6 月最小,这说明土壤含水量的空间异质性明显,不同深度土壤含水量随时间的变化空间自相关变异所占比重也在变化,这些变异特征可能涉及林隙微环境中土壤物理、

化学和微生物的时空变异,从而与林分水平的更新斑块具有关联性。

表 2 林隙内土壤含水量变异函数理论模型及有关参数

Table 2 The theory models of soil water content in the gap and corresponding parameters

深度 Depth/cm	月份 Month	模型 Model	块金值 Nugget	基台值 Sill	变程 Range	结构比 Proportion	决定系数 Determination coefficient	分维数 Fractal dimension
0—7.6	6	球状	0.009	0.073	6.55	0.890	0.774	1.997
	7	球状	0.003	0.037	5.86	0.925	0.363	1.967
	8	线性	0.043	0.060	5.42	0.583	0.957	1.920
	9	球状	0.006	0.036	6.60	0.857	0.797	1.898
0—12	6	球状	0.013	0.049	4.69	0.790	0.556	1.998
	7	指数	0.007	0.031	5.80	0.816	0.423	1.910
	8	球状	0.003	0.043	4.55	0.935	0.082	1.932
	9	球状	0.003	0.030	4.37	0.909	0.813	1.954
0—20	6	球状	0.003	0.005	4.12	0.625	0.756	1.941
	7	球状	0.005	0.020	5.27	0.800	0.603	1.982
	8	球状	0.006	0.021	3.40	0.778	0.705	1.955
	9	球状	0.004	0.018	3.86	0.818	0.892	1.958

由克立格图(图3)可以看出,0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 土壤含水量斑块面积较小,斑块连接度较高。较高的分维数表明其斑块形状复杂。0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 土壤含水量最大值均分布在林隙中心及其附近,这可能是因为林隙中心开敞度大,降雨时没有树冠截留,导致其偏高,最小值分布位置不固定。

2.3 林隙、郁闭林分和空旷地土壤含水量比较

本试验同时对郁闭林分和空旷地的土壤含水量进行了测量,结果表明,0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 土壤含水量空旷地最高,林隙次之,郁闭林分最小。观测时期内郁闭林分 0—7.6 cm、0—12 cm 和 0—20 cm 土壤含水量随时间变化最小,而空旷地随时间变化最大,林隙居中。郁闭林分和空旷地 0—7.6 cm、0—12 cm 土壤含水量和 0—20 cm 和林隙的变化规律一致,均为 0—7.6 cm 最大,0—12 cm 次之,0—20 cm 最小(图4)。

3 结论与讨论

水是植物维持生命和生长的主导因子,是维持森林生态系统稳定性的重要因素之一。土壤含水量的分布受纬度、海拔、地形、土壤结构及土壤理化性质的影响,因此,土壤含水量存在着一定的时空变化。林隙的产生使林地土壤含水量发生了显著变化。已有研究表明,降水时林隙内的土壤含水量高于林内,而非降水时林隙内的土壤含水量比林内低^[2]。不同层次的土壤含水量之间也存在着差异,林隙内雨季上层比下层含水量要高,而干季下层比上层高,林内则不同季节和不同层次的水分差异不大^[16]。林隙和非林隙林分下的土壤含水量大小顺序都是上层(0—10 cm)平均土壤含水量大于下层(10 cm 以下),即根系层含水量小,原因是植物强大的蒸腾作用造成根系区内土壤含水量大量流失,而根系主要是分布在 20—40 cm 左右,所以平均土壤含水量是表层高而下层低^[9]。本研究表明,生长季林隙内土壤含水量 0—7.6 cm>0—12 cm>和 0—20 cm,林内土壤含水量变化最小,空旷地土壤含水量变化较大,跟上述文献的研究结论相似,这可能是因为空旷地没有截留,雨水全部落到地面,下渗到土壤中,而郁闭林分树冠截留最多,同时郁闭林分树木蒸腾作用使土壤失水更多。已有研究^[17]表明,森林土壤表层含水量变动很大,相同时间取样,不同样点的土壤含水量有所变动,在空间上呈现明显的异质性。本研究表明,林隙土壤含水量不仅具有明显的空间异质性,而且空间异质性的强度、尺度和空间结构组成随时间而改变。林隙土壤水分的空间异质性可能对阔叶红松林幼苗的生长起着至关重要的作用,进而导致林隙下木更新的差异,是继林隙光照后又一个重要影响因素。本试验林隙面积为 250 m² 左右,林隙土壤含水量空间异质性的强度在 0.005—0.073 之间,空间异质性尺度在 3.4—6.6 m 之间,空间结

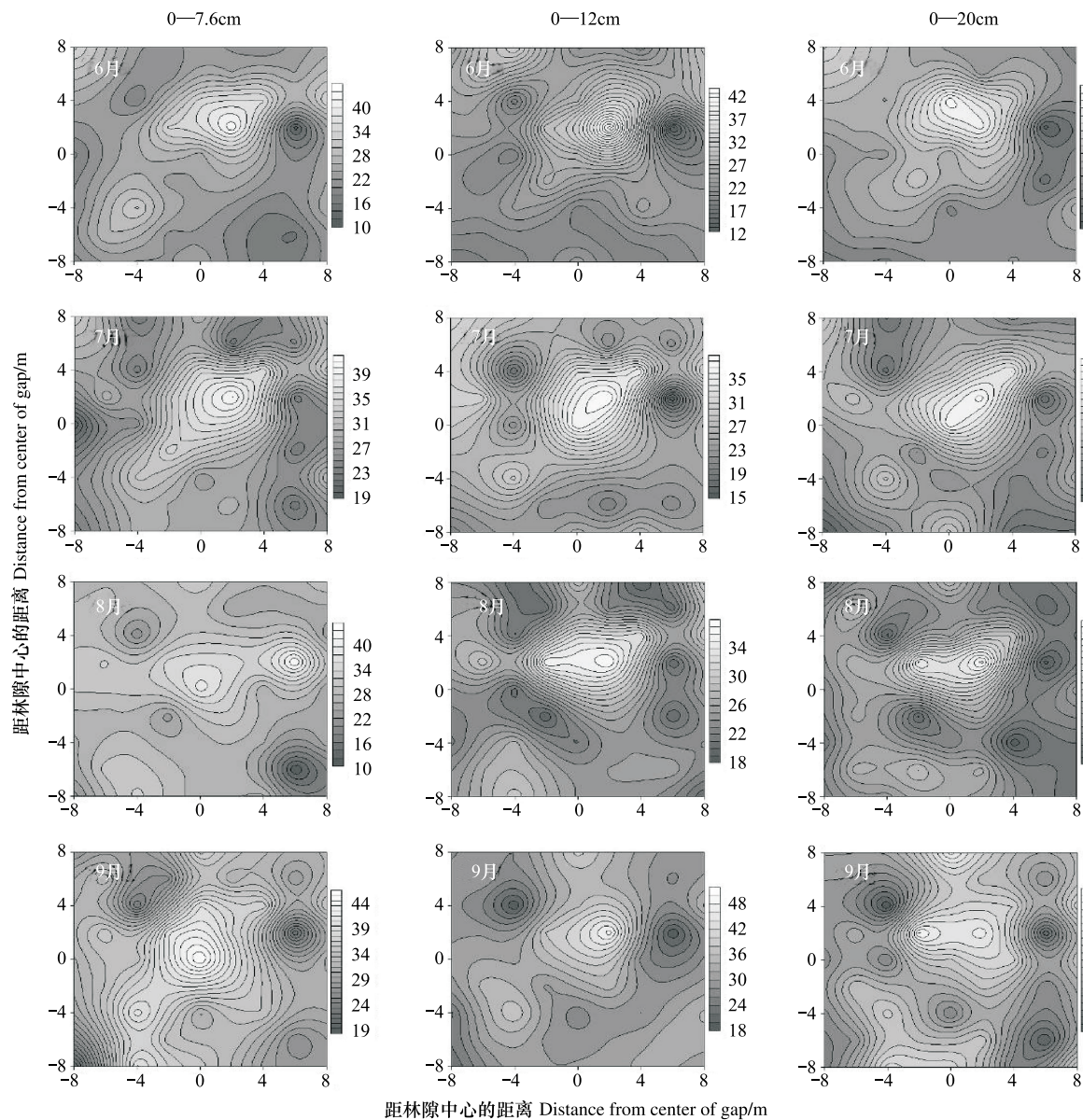


图3 林隙平均土壤含水量空间分布生长季变化

Fig. 3 The variation of spatial distributions of soil water content in the forest gap during growing season(%)

构组成在 0.625—0.935 之间,这可以为今后定量研究林隙土壤含水量的空间异质性提供参考,但仅凭一个林隙的研究结果还不足以提供有力证据,尚需对多个林隙的调查和长期的定位实验。臧润国等^[9]研究表明,从林隙中心到林隙边缘直至非林隙林分下,平均土壤含水量由高到低,呈现空间梯度变化。本研究得出土壤含水量林隙中心及附近较大,这与 Gray 等^[6]和臧润国^[9]的研究结论一致。土壤含水量在不同的生态系统类型中变化趋势不同,在降水较少的地方是限制植物生长的重要因子,另外,它还影响着植物生长和土壤呼吸。随着对全球变化研究的深入,土壤作为源汇转化的载体已有广泛的研究^[18]。因此,研究林隙干扰对土壤含水量的

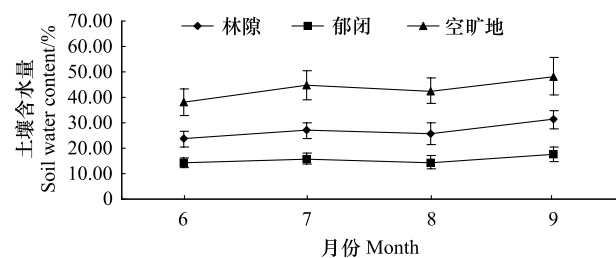


图4 生长季林隙、郁闭林分和空旷地土壤含水量对比

Fig. 4 Comparison of soil water content among forest gap, understory and bare ground in the growing season

影响,对明确土壤含水量在林隙演替中的作用及对土壤呼吸的影响具有重要的参考价值。

致谢:图表绘制得到东北林业大学周一阳和张岩的帮助,谨表感谢。

References:

- [1] Yirdaw E, Luukkanen O. Photosynthetically active radiation transmittance of forest plantation canopies in the Ethiopian highlands. *Forest Ecology and Management*, 2004, 188(1/3): 17-24.
- [2] Runkle J R. Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America. *Ecology*, 1982, 63(5): 1533-1546.
- [3] Clinton B D. Light, temperature and soil moisture responses to elevation, evergreen understory, and small canopy gaps in the southern Appalachians. *Forest Ecology and Management*, 2003, 186(1/3): 243-255.
- [4] Lawton R O, Putz F E. Natural disturbance and gap-phase regeneration in a wind-exposed tropical cloud forest. *Ecology*, 1988, 69(3): 764-777.
- [5] Raymond P, Munson A D, Ruel J C, Coates K D. Spatial patterns of soil microclimate, light, regeneration, and growth within silvicultural gaps of mixed tolerant hardwood-white pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006, 36(3): 639-651.
- [6] Gray A N, Spies T A, Easter M J. Microclimatic and soil moisture responses to gap formation in coastal Douglas-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, 32(2): 332-342.
- [7] Gálhidy L, Mihók B, Hagýó A, Rajkai K, Standovár T. Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understorey vegetation of a Hungarian beech forest. *Plant Ecology*, 2006, 183(1): 133-145.
- [8] Ritter E, Dalsgaard L, Einhorn K S. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 2005, 206(1/3): 15-33.
- [9] Zang R G, Liu J Y, Dong D F. *Gap Dynamic and Forest Diversity*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1999: 58-59.
- [10] Zhu J J, Tan H, Lee F Q, Chen M, Zhang J X. Microclimate regimes following gap formation in a montane secondary forest of eastern Liaoning Province, China. *Journal of Forestry Research*, 2007, 18(3): 167-173.
- [11] Zou C J, Zhang C, Ma Y L, Xu W D. An environmental gradient change of *Picea mongolica* seedling from the center of a forest canopy gap in forest-steppe ecotone in Inner Mongolia Autonomous Region of China. *Journal of Forest Research*, 2006, 17(3): 221-225.
- [12] Li M, Duan W B, Chen L X. Spatiotemporal distribution pattern of photosynthetic photon flux density, air temperature and relative humidity of forest gap in *Pinus koraiensis*-dominated broadleaved mixed forest in Xiao Xing'an Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(12): 2853-2860.
- [13] Wang Z Q. *Geo-Statistics and Its Application in Ecology*. Beijing: Science Press, 1999: 65-74.
- [14] Lecoustre L, Fargette D, Fauquet C, de Reffye P. Analysis and mapping of the spatial spread of African cassava mosaic virus using geostatistics and the kriging technique. *Phytopathology*, 1989, 79(9): 913-920.
- [15] Lu Z Z, Bao A M, Chen X, Ma Y J, Shen Z R. Application of geostatistic software in pest management. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(6): 132-136.
- [16] Liu W J, Li Q J, Zhang G M, Shi J P, Bai K J. Microclimate characteristics of canopy gaps in *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 356-361.
- [17] Han Y Z. *Spatial Heterogeneity and Pattern and Process of Manchurian Ash (Fraxinus mandshurica Rupr.) Regeneration [D]*. Harbin: Northeast Forestry University, 2002: 39-46.
- [18] Wang J S, Wang J X. A comparison on temperature characteristics between tropical secondary forest and seasonal rain forest gaps. *Journal of Xuzhou Normal University: Natural Science Edition*, 2004, 22(3): 59-64.

参考文献:

- [9] 臧润国, 刘静艳, 董大方. 林隙动态与森林生物多样性. 北京: 中国林业出版社, 1999: 58-59.
- [12] 李猛, 段文标, 陈立新. 红松阔叶混交林林隙光子通量密度、气温和空气相对湿度的时空分布格局. *应用生态学报*, 2009, 20(12): 2853-2860.
- [13] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999: 65-74.
- [15] 吕昭智, 包安明, 陈曦, 马英杰, 沈佐锐. 地统计学软件在害虫管理中的应用. *生态学杂志*, 2003, 22(6): 132-136.
- [16] 刘文杰, 李庆军, 张光明, 施济普, 白坤甲. 西双版纳望天树林林窗小气候特征研究. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 356-361.
- [17] 韩有志. 林分空间异质性与水曲柳的更新格局和过程 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002: 39-46.
- [18] 王今殊, 王进欣. 热带次生林、季雨林林窗温度特征对比分析. *徐州师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 22(3): 59-64.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake	CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
Cadmium assimilation and elimination and biological response in <i>Pirata subpiraticus</i> (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets	ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
Effect of co-cultivation time on camptothecin content in <i>Camptotheca acuminata</i> seedlings after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi	YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert area	CHANG Zhaocheng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks	ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in <i>Pinus koraiensis</i> dominated broadleaved mixed forest	LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth	WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland	HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants	ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of <i>Ficus virens</i> Ait. var. <i>sublanceolata</i> (Miq.) Corner in Fuzhou	WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
Growth and photosynthetic characteristics of <i>Epimedium koreanum</i> Nakai in different habitats	ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
The critical temperature to Huashan Pine (<i>Pinus armandi</i>) radial growth based on the daily mean temperature	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River	MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves	HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH ₄) and nitrous oxide (N ₂ O) emission fluxes from double-cropping paddy field	TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert	ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir	NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids	LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon and nitrogen isotope analysis	LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay	ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
Study on the supercooling of golden apple snail (<i>Pomacea canaliculata</i>)	ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of <i>Nilaparvata lugens</i> and <i>Sogatella furcifera</i>	CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
Cold tolerance of the overwintering egg of <i>Apolygus lucorum</i> Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)	ZHUO Degan, LI Zhaoxue, MEN Xingyuan, et al (1553)
A suggestion on the estimation method of population sizes of <i>Niviventer confucianus</i> in Land-bridge island	ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
The carbon footprint of food consumption in Beijing	WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province	FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river basin	DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
Review and Monograph	
A review of the effect of typhoon on forests	LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems	ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
Interspecific competition among three invasive <i>Liriomyza</i> species	XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters	YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms	LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
Discussion	
Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China	XU Guangcai, KANG Muiyi, Marc Metzger, et al (1643)
Scientific Note	
Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica	LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元