林业科学研究 2014,27(4):498～501
Forest Research

文章编号:1001-1498(2014)04-0498-04

华北山地典型阔叶混交林土壤表层水分空间异质性研究

胡万银

(山西省林木育种研究中心,山西 太原 030031)

摘要:在华北山地典型天然次生阔叶混交林中选择研究样地,应用地统计学理论,定量分析林分土壤表层含水量空间异质性特征。研究结果表明:以白桦和山杨为优势树种的阔叶混交林,不同空间样点间土壤表层含水量差异不大。土壤表层含水量在较小尺度范围(13.10 m)空间异质性明显,空间自相关因素所占比重较大(71.9%)。空间格局强。

关键词:阔叶混交林;土壤表层含水量;异质性

中图分类号:S714 **文献标识码**:A

Research on Heterogeneous Spatial Distribution of Topsoil Moisture in Typical Naturally-regenerated Montane Broad-leaved Mixed Forests of Northern China

HU Wan-yin

(Forest Tree Breeding Research Center in Shanxi Province, Taiyuan 030031, Shanxi, China)

Abstract: By geostatistic, the heterogeneous spatial distribution of topsoil moisture in typical naturally-regenerated montane broad-leaved mixed forests of Northern China were analyzed quantitatively. The results showed that in *Betula platyphylla-Populus davidiana* dominated broad-leaved forests, the topsoil moisture did not differ greatly among different quadrats. The heterogeneous spatial distribution of topsoil moisture was obvious in a small range (13.10 m), the spatial auto-correlated factors accounted for a large proportion (71.9%). A great spatial pattern was observed.

Key words: broad-leaved mixed forests; topsoil moisture; heterogeneous

土壤水分是生态系统中主要的限制性因子[1],而且,也是土地评价的主要因素之一[2]。土壤水分含量对植物群落的生长、形成、物种组成和群落演替产生显著的影响[3],且与土壤侵蚀过程密切相关[4]。由于受地形、母质、植被、土壤侵蚀状况及坡度等因素的影响,同一土壤类型同一林分类型下,不同地点和土层的土壤水分特征存在明显的差异性[3]。国内外学者从不同尺度和不同影响因子方面对土壤水分空间异质性进行了大量的研究[4-7],但对于土壤表层水分含量及其空间异质性的研究一直存在争论。因此,详细研究林下土壤表层水分含量的空间变异特征,有助于探测其在森林的生长发育及更新过程中的作用,更深入的认识土壤表层水分空间变化在森林生长动态过程中潜在的生态学机制。

杨桦混交林是华北地区山地典型天然次生阔叶混交林。本研究选择以白桦(*Betula platyphylla* Sukaczev)和山杨(*Populus davidiana* Dode)为优势树

收稿日期:2013-06-30
基金项目:"油松、落叶松优良品种选育及高效营林技术研究"。项目编号:20120311014-1
作者简介:胡万银(1964—),男,高级工程师。

种的典型天然次生阔叶混交林,应用地统计学理论和格局分析方法,(1)定量分析华北山地典型的天然次生阔叶混交林中土壤水分的变异程度;(2)定量分析土壤水分含量空间异质性特征;(3)分析土壤表层水分空间格局特征。

1　资料来源及研究地区概况

研究地设在位于山西省西部吕梁山脉中段的关帝山林区[8-9],地理位置为 111°21′～111°37′E,37°45′～37°59′N,山脉主脊由北向南延伸长 15 km,东西两侧 14.5 km,总面积 10 443.5 hm^2。主峰孝文山海拔 2 831 m;是华北地区第三高峰,保护区境内最低海拔 1 550 m。气候属寒温性气候,年均温 4.3℃,1 月份均温 -10.2℃,7 月份均温 17.5℃,全年无霜期 100～130 d。年均降水量 450～700 mm,年均蒸发量 1 100～1 500 mm。土壤类型主要为山地棕壤,平均土层厚度 70～80 cm,其中腐殖质层厚度10 cm。

研究地是山西省重点林区,植被种类丰富,仅在保护区范围内,总计有高等种子植物 73 科,254 属,435 种。分布着亚高山山地灌丛、亚高山草甸、寒温性针叶林、山地落叶阔叶林、温性针叶林、山地灌丛及山地草甸等植被类型。

2　研究方法

2.1　样地设置

本研究选择华北地区分布广泛的典型杨桦混交成熟林设置样地,样地位于庞泉沟自然保护区关帝山林区分水岭,海拔 2 185 m,坡度 15°,坡向 NE10°,郁闭度为 0.6。

依据地统计学理论及空间格局分析中小支撑、多样点的取样设计原则[10],将 1 块 50 m×50 m 的样地等距离间隔划分为 100 个 5 m×5 m 的样方,然后沿样地对角线选设 2 个 5 m×5 m 的样方,再按照 1 m×1 m 的间隔距离,分别设立 25 个小样方。然后对每个取样点进行编号,共有取样点 148 个,并记录样点的空间坐标。

2.2　样地调查

以样地的一个边为 x 垂直边为 y,确定每株成熟杨桦的坐标值,即个体空间定位,同时测量其胸径,树高,树龄。在每个网格内,仔细查数林下草本覆盖度。

2.3　土壤取样

取样时间为 2012 年 7 月下旬,在每个样方左下角取土壤样本。先除去样地土壤表层枯枝落叶,然后用内径为 7.0 cm 的土壤钻钻取土芯 10 cm,随即装入封口塑料袋内低温保存备用。为减少其它环境因子的影响,土壤取样工作选择在雨后至少 3～4 天的晴天进行[5]。本研究所有取样工作在 1 天完成,以尽量排除不确定的环境误差,共取样 148 个。

2.4　土壤含水量及草本覆盖度测定方法

本研究采用烘干法来测定林下土壤表层含水量[11],采用网格目测法测定林下草本覆盖度。

2.5　数据分析方法

应用描述统计分析中平均值和变异系数,评价土壤水分的平均状况和总变异程度。以 $S^2/\bar{X}$ 的比值估计土壤表层水分的空间分布格局,当研究变量的方差与平均数的比值 $S^2/\bar{X}=1$ 时,表示土壤表层水分呈现随机分布;当 $S^2/\bar{X}<1$ 时,为均匀分布;当 $S^2/\bar{X}>1$ 时,为聚集分布格局[10]。

运用地统计分析中的变异函数分析方法计算土壤水分含量的变异函数值。变异函数的计算公式如下:

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

式中,$\gamma(h)$ 是变异函数,Z 为区域化随机变量,$Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别为变量 Z 在空间位置 x_i 和 x_i+h 上的取值,$N(h)$ 是取样间隔为 h 时的样本对总数。依据变异函数计算结果,拟合理论模型,然后依据模型参数,即基台值(C_0+C)、块金值(C_0)、结构方差比[$C/(C_0+C)$]和变程(A)定量分析土壤表层水分含量的空间异质性特征。其中,用基台值衡量空间异质性程度;用块金值估计小于抽样尺度的随机变异和测量误差;利用结构方差比衡量空间自相关因素对变量总变异的影响程度;利用变程估计空间自相关特性的尺度变化。

根据协同区域化变量理论计算林下草本覆盖度与土壤表层水分含量之间的协同变异函数,并在此基础上拟合协同变异理论模型。然后依据理论模型参数基台值、块金值、结构方差比和变程定量评价土壤表层水分含量空间格局和林下草本覆盖度异质性之间的空间关联程度。协同变异函数的计算公式如下:

$$\gamma_{kk}(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{\substack{i=1\\j=1}}^{N}[Z_{k^1}(x_i)-Z_{k^1}(x_i+h)][Z_k(x_j)-Z_k(x_j+h)]$$

式中,$\gamma_{kk}(h)$ 是交叉变异函数,Z 为协同区域化变量,$Z_{k'}(x_i)$,$Z_k(x_j)$,$Z_{k'}(x_i+h)$,$Z_k(x_j+h)$ 为

在点 x 和 $x+h$ 处分别取得两个变量的观测值，$N(h)$ 是取样间隔为 h 时的样本对总数。

3 结果与分析

3.1 土壤表层水分含量与林下草本覆盖度统计分析

依据调查数据进行统计分析，结果表明：以白桦和山杨为优势树种的样地中，土壤表层水分平均含量为33.96%，不同样点间水分含量差异不大，最大值54.44%，最小值为20.67%。由图1可看出，杨桦混交天然次生林土壤表层含水量的频度符合正态分布，在30.77%附近达到最大，为16次。

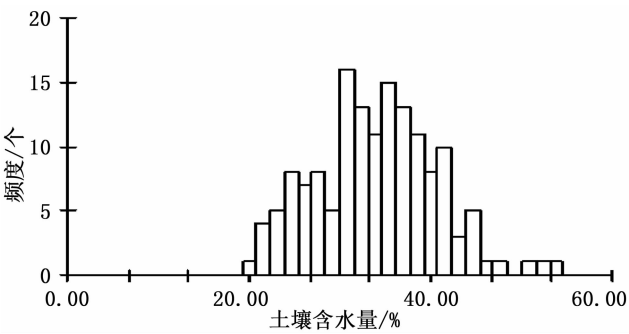

图1 土壤表层含水量频度

样地中林下草本覆盖度平均值为45.8%，其中最大值达到67.2%，最小值仅为28.9%。

变异系数(CV)反应的是相对变异，即随机变量的离散程度。一般认为，$CV \leqslant 10\%$ 为弱变异性；$10\% < CV < 100\%$ 为中等变异性；$CV \geqslant 100\%$ 为强变异性[12]。此样地土壤表层水分含量变异系数为19.57%，属中等变异性。

3.2 土壤表层水分含量空间异质性的变异函数分析

变异函数分析表明(表1)：以白桦和山杨为优势树种的样地中，土壤表层水分含量的变异函数值呈球状模型变化趋势。从空间结构比及变程分析来看，土壤表层空间异质性中结构因素所占比重较大(71.9%)，说明结构因素对于土壤含水量的空间异质性起着更为重要的作用。从空间变异的尺度看，土壤水分含量的空间自相关范围较小(13.10 m)，空间自相关变异在较小的尺度范围表现出很强的空间自相关性($R^2=0.94$)。

表1 土壤表层含水量变异函数理论参数

模型	块金值 (C_0)	基台值 (C_0+C)	变程 (A)	空间结构比 [$C/(C_0+C)$]	决定系数 (R^2)	样本数
球状模型	11.91	42.34	13.10	0.719	0.94	148

3.3 土壤表层水分含量空间异质性与草本覆盖度格局的协同变异函数分析

利用协同变异函数理论模型参数块金值(C_0)和基台值(C_0+C)之比可衡量空间相关性程度。比值小于25%时，表示空间相关性强，在25%～75%之间，空间相关性中等，大于75%时空间相关性弱[21]。

在以白桦和山杨为优势树种的样地中，通过协同变异函数分析表明(表2)，林下草本覆盖度与土壤表层水分含量之间存在明显的空间自相关性($R^2=0.69$)，协同变异表现为空间强相关性($C_0/(C_0+C)$为0.192)，协同空间变异高达81.8%，且协同变异主要由自相关因素引起。

表2 草本覆盖度与含水量协同变异函数理论参数

模型	块金值 (C_0)	基台值 (C_0+C)	变程 (A)	空间结构比 [$C_0/(C_0+C)$]	决定系数 (R^2)	样本数
指数模型	1.12	5.84	28.30	0.192	0.69	148

3.4 土壤表层水分含量的空间格局分析

空间异质性与空间格局有紧密联系。空间异质性是形成格局的主要原因。通过克里格插值图的分析，有助于进一步了解土壤表层水分的空间格局特征。杨桦混交天然次生林土壤表层水分的空间格局较强，主要表现为斑块边界光滑、过渡明显，而且土壤表层含水量的分布梯度明显，土壤含水量中等的斑块占较大面积；含水量极高和极低的斑块所占面积比重很少，且均集中分布于图像边缘，而图像中部则由大面积土壤含水量中等的斑块占据；不同等级土壤含水量的斑块分布均很完整，破碎化程度极低，格局强度大。

4 讨论

土壤水分含量的空间变异是多因素调控的结果。由于受地形、母质、植被、土壤侵蚀状况及坡度等因素异质性的共同影响，使得土壤水分含量在空间上产生变化[3]。近年来，国内外对不同生态系统内影响土壤水分空间异质性的因子进行了大量研究，如森林[13]、草地[14]、沙地[15]、农田[16]以及小流域[17]等，加深了对不同群落和土地利用方式土壤水分格局与动态的研究认识。

有研究表明，针阔混交林土壤含水量最高，阔叶林其次，针叶林最小[18]。本研究中，选择样地为杨桦混交林，实际测得其林下土壤表层含水量平均值

为 33.96%,最大值 54.44%,最小值为 20.67%,均大于当地典型华北落叶松林(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)中土壤表层含水量测量值(平均值为 16.14%,最大值 27.67%,最小值为 10.04%)[19]。从研究结果看,华北山地典型阔叶次生林中土壤表层含水量明显高于针叶次生林[19]。这说明林地条件接近一致的情况下,阔叶林对土壤表层水分的涵养能力要明显高于针叶林[18]。以白桦和山杨为优势树种的阔叶混交林较华北落叶松林[19]拥有更复杂的树种组成、林下植被组成以及更大的盖度,因此也具有了更为复杂和丰富的林地枯落物成分,从而提高了林下土壤的水分涵养能力。

有研究表明,土壤表层水分含量具有高度的空间异质性,且空间异质性以空间自相关部分为主[20]。在本研究样地中,以白桦和山杨为优势树种的阔叶混交林不同空间样点间土壤表层水分含量差异不大,变异系数为 19.56%。土壤表层水分含量在较小尺度范围(13.10 m),表现出强烈的空间自相关变异(R^2 = 0.94),且结构因素所占比重较大(71.9%)。林下草本覆盖度与土壤表层水分含量之间存在很强的空间相关性(81.8%),且自相关因素所占比重较大(69.0%)。这可能是由于杨桦混交林虽然拥有更为复杂的林下植被种类,且随季节更替有较大变化,但其中占主导地位的乔木变化却不大,从而导致空间自相关因素所占比重较大。本研究中由于时间及调查条件限制并没有考虑到不同草本种类的水源涵养效能,所以林下草本与土壤表层水分含量之间的协同空间关系仍然具有很高的研究价值和意义。土壤表层水分含量的空间异质性特征具有极重要的生态学意义,对林下植被种类、盖度及空间分布都有极大影响,进而对整个林分的土壤涵养水分能力产生重要影响。

华北山地典型天然次生阔叶混交林的土壤表层含水量表现出明显的空间异质性。以白桦和山杨为优势树种的阔叶混交林,不同空间样点间土壤表层含水量符合正态分布,各样点间的异质性主要来自空间自相关因素,并与林下草本覆盖度具有很强的空间相关性,样地内土壤表层含水量具有较强的空间格局。

参考文献:

[1] 王　军,傅伯杰. 黄土丘陵区小流域土地利用与土壤水分的时空分布[J]. 地理学报,2000,55(1),84 - 91

[2] Wester A W, Rodger B G. The Tarrawarra data set: soil moisture patterns, soil characteristics, and hydrological flux measurements [J]. Water Resources Research,1998,34(10):2765 - 2768

[3] 邱　杨,傅伯杰,王　军,等. 土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,2007,26(1):100 - 107

[4] 赵文智. 科尔沁沙地人工植被对土壤水分变异性的影响[J]. 土壤学报,2002,39(1):113 - 119

[5] 谷加存,王政权,韩有志,等. 采伐干扰对帽儿山天然次生林土壤表层水分空间异质性的影响[J]. 生态学报,2005,25(8):2001 - 2009

[6] Annie-Claude P, Francois A, Leon-etienne P. Characterization of temporal variability in near-surface soil moisture at scales from 1h to 2 weeks[J]. Journal of Hydrology,2006,325:56 - 66

[7] 潘颜霞,王新平,苏延桂,等. 不同植被类型沙地表层土壤水分变化特征[J]. 水土保持学报,2007,21(5):106 - 109

[8] 杨秀清,韩有志,李　乐,等. 华北山地典型天然次生林土壤氮素空间异质性对落叶松幼苗更新的影响[J]. 生态学报,2009,9:4656 - 4664

[9] 山西森林编辑委员会. 山西森林[M]. 北京:中国林业出版社,1992

[10] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京:中国农业出版社,1999:22 - 24

[12] 雷志栋,杨诗秀. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利月报,1985(9):10 - 21

[13] Helmut Stoyan, Helvecio De - Polli, Sven Böhm, *et al*. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale[J]. Plant and Soil,2000,222:203 - 214

[14] Kleb H R, Wilson S D. Scales of heterogeneity in prairie and forest [J]. Canadian Journal of Botany,1999,77:370 - 376

[15] 陈伏生,曾德慧,陈广生,等. 不同土地利用方式下沙地土壤水分空间变异规律[J]. 生态学杂志,2003,22(6):43 - 48

[16] 李俊祥,宛志沪. 淮北平原杨 - 麦间作系统的小气候效应与土壤水分变化研究[J]. 应用生态学报,2002,13(4):390 - 394

[17] Western A W, Blöschl G, Grayson R B. Geostatistical characterisation of soil moisture patterns in the Tarrawarra catchment [J]. Journal of Hydrology,1998,205:20 - 37

[18] 王　伟,张洪江,杜世才,等. 重庆市四面山人工林土壤持水与入渗特性[J]. 水土保持通报,2009,29(3):113 - 117

[19] 宁　鹏. 华北落叶松林土壤水分和氮素空间异质性及其对更新格局的影响[D]. 山西太谷:山西农业大学,2008

[20] 姚月锋,满秀玲. 毛乌素沙地不同林龄沙柳表层土壤水分空间异质性[J]. 水土保持学报,2007,21(1):111 - 115

[21] Robertson G P. Soil resources, microbial activity, and primary production across an agricultural ecosystem[J]. Ecological Application, 1997, 7:158 - 170