

辽西凤凰山自然保护区生态系统水分界面研究^{*}

王 维,王秀茹,关文彬,李 奕

(北京林业大学 水土保持学院,水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,北京 100083)

摘 要:为研究水分在不同生态系统中各界面的空间变化情况,以辽西山地朝阳市凤凰山省级自然保护区为对象,选择辽东栎林、油松林、黄榆林、椴树林等生态系统类型为研究对象,研究水分在植物根系界面与枯落物界面的空间分布及在土壤各剖面层界面的蓄积量及其空间分布及变异性。采用环刀法对研究地区的土壤容重、质量含水率、体积含水率等水分特征做了调查,研究本地区不同群落内水分在土壤-植被系统内的变化规律,土壤水分在水平方向和垂直方向、不同坡位以及在不同林型之间土壤-水分界面上的变化规律并采用地统计学等方法对不同生态系统土壤水分的空间异质性及其分布进行了分析。

关键词:凤凰山;生态系统;土壤水分;水分界面

中图分类号:X171.1;S714

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)04-0192-04

The Water Interface Research of Phoenix Mountains Nature Reserve Ecosystem in Western Liaoning Province

WANG Wei, WANG Xiu-ru, GUAN Wen-bin, LI Yi

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Lab of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract: To study the spatial changes of water in all interfaces of different ecosystems, we take *Quercus liaotungensis* forest, *Pinus tabulaeformis* forest, *Ulmus macrocarpa* forest and *Tilia amurensis* forest as the object in semi-arid area, Chaoyang City of Western Liaoning Province, Phoenix Mountains Nature Reserve. Spatial distribution of moisture in the plant root system interface and the litter interface, the profiles in the soil layer interface, forest sinks and variability are studied. The moisture in the soil in different communities-vegetation system changes are also studied by taking the cutting ring method to study the soil moisture and soil bulk density of this area. Meanwhile, the region soil moisture change regularity is investigated in the horizontal and vertical direction, different slope position and different forest types between soil-water interface. The spatial heterogeneity and distribution of soil water is analyzed in different ecosystems by geostatistics method.

Key words: Phoenix mountain; ecosystem; soil moisture; water interface

界面生态学作为生态学的新兴分支学科,目前尚属研究发展时期,其理论体系和实验技术亦在探索之中^[1]。学科的研究对象——“生态界面”,虽然不属于新的物质层次,但鉴于它在连接生物与环境之间物质交换、能量流动与信息传递的纽带作用,学科发展倍受关注。纵观界面生态学的研究现状与发展趋势,随着学科之间的不断交叉和渗透,通过诸多科学家的联手研究,能够预言,界面生态学学科会日新月异,前景更加广阔^[2]。水在生态系统的结构和功能中是最活跃的因素,它参与各种功能的活动,并促进系统内各种功能相互联系和相互作用,诸多生态系统的形成与自然地理过程的发生和演变都与水有密切的联系^[3]。

土壤水分是土壤的重要组成部分,也是植物的生命之源。

在森林生态系统中,土壤水分是森林植被赖以生存的主要条件,同时也是造林工程建设中应该考虑的重要因素之一^[4]。

森林对环境的影响首先是通过水分循环来实现的,作为能量流动和养分传输的主要载体,森林土壤水分是生态系统研究的基本组成部分。因此森林土壤水分在流域水文学研究及应用领域中占有十分重要的地位,是水分循环中的一个重要环节,对整个流域径流产生以及洪水预报、流域水文循环的计算都具有相当重要的作用^[3]。森林土壤水分与人类生存有着密切的关系,深入系统研究林地土壤水分运动规律具有极其深远的意义。

土壤是森林生态系统水分的主要蓄库,系统中的水文过程大多是通过土壤作为界面发生的,林地土壤水分对植物-

^{*} 收稿日期:2007-12-03

基金项目:国家自然科学基金“辽宁省西部生态系统界面研究”(基金编号 309970591)

作者简介:王维(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向:水土保持与荒漠化防治。E-mail:wangwei12500@163.com

通信作者:王秀茹(1957-),女,教授,博导,主要研究方向:水土保持、农田水利、土地整理。

大气、大气 - 土壤和土壤 - 植物 3 个界面物质和能量的交换过程有着重要的控制作用,直接影响到土壤水分入渗、林地蒸散和流域产流。同时,土壤水分动态可揭示森林生态系统的水分过程与格局以及系统水分运动的物理本质^[5]。

1 研究区概况

朝阳凤凰山自然保护区位于朝阳市东郊,大凌河东岸,地理坐标介于东经 120°27′28″ - 120°33′54″,北纬 41°30′32″ - 41°35′57″之间,保护区经营范围东西宽 10 km,南北长 11 km,经营总面积 5 363 hm²。凤凰山保护区属北温带半湿润、半干旱大陆性季风气候,全年气候特征是:冷、暖、干、湿四季分明;日照充足,雨热同季;气温、降水实际变化大,地域性差异明显。凤凰山保护区土壤类型分棕色森林土、淋溶褐土和碳酸盐草甸土三类。乔木层以偏干性的蒙古栎(*Qmongolica Fisch.*)为主,混生有白腊树(*Fraxinus chinensis* Roxb.)、黑桦(*Betula dahurica* Pall.)、紫椴(*Tilia amurensis* Rupr.)、元宝槭(*Acer truncatum* Bunge);灌木层以华北区系植物为主,有照白杜鹃(*Rhododendron simsii* Planch.)、天女木兰(*Magnolia sieboldii* K. Koch)、紫丁香(*Syringa oblata* Lindl.)、李叶溲疏(*Deutzia prunifolia* Rehder)、辽东鼠李(*Rhamnus davurica* Pall.)、小叶丁香(*Syringa microphylla* Linn.)等耐干旱的灌木;草本层多耐旱种类植物,属内蒙区系成分的有矮丛苔草(*Carex humilis* Leysser var. *nana* Ohwi)、黄芩(*Scutellaria baicalensis* Georgi)、曲茎虎耳草(*Saxifraga flexilis* W. W. Smith)、簇生柴胡(*Bupleurum condensata* Y. Li tum Shan)、兔毛蒿(*Filifolium sibiricum* Kitam)、百里香(*Thymus mongolicus* Ronn.)、贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)等。

研究地点选择辽宁省朝阳市的凤凰山自然保护区,该地区属于辽西山地半干旱低山丘陵地区,是典型的生态脆弱区。该区位于内蒙古高原与东北平原和华北平原的过渡区,是我国著名的科尔沁沙地的南缘,植被对于这样一个特殊地理位置,它的存在对维持生态系统或东北平原和华北平原区域生态系统的稳定性、地貌特点、生物多样性等具有重要意义。

2 研究方法

2.1 试验地设置及采样方法

采用标准地方法对不同的林型及其土壤做了实地测量。在凤凰山自然保护区,由于林型有天然林和人工林两种,所以选择了具有代表性的人工林(油松林)和天然林(椴树林、黄榆天然林、辽东栎林)4 种不同群落类型,按照海拔梯度,每个梯度上取 3 个 20 m × 20 m 的样方,进行乔木调查。

在典型山地森林植被系统内,按照海拔梯度取 20 m × 20 m 的样方,在每个样方内,对每个 5 m × 5 m 小样方,沿着样地不同坡位,从上坡位 - 中坡位 - 下坡位的顺序分别选取了土壤剖面。根据试验区中地形、土壤、植被等各项因素,选择较为典型的区域,对每个土壤剖面,用环刀(体积为 400 cm³)在土壤剖面各层处取原状土样,每层取 3 次,将土样带回实验室,用烘干法测定相应的土壤容重、质量含水率和体

积含水量。根据对每个土壤剖面的成土特点分别划分了不同的层次,分解层、腐殖质层、淋溶层、母质层等,分别测定了土壤水分沿土壤深度的变化情况。

2.2 数据分析方法

数据的计算主要采用 SPSS 13.0 (如方差分析、线性回归、相关系数等)和 Microsoft Excel 2003 (如计算变异系数和置信区间等)进行经典统计学方面的分析,并同时采用地统计软件 GS+ 和 SURFER8.0 软件进行地统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同生态系统类型各界面土壤水分

3.1.1 不同土壤深度各个生态系统土壤水分的变化

表 1 四种群落类型的基本情况

群落类型	辽东栎林	油松林	黄榆林	椴树林
坡度/(°)	25	43	41	36
海拔/m	443	365	429	492
坡位	下坡位	上坡位	中坡位	中坡位
建群种	辽东栎	油松	辽东栎	椴树林
群落类型	天然次生林	人工林	天然次生林	天然次生林

对于不同的生态系统类型,各土壤剖面的深度有较大的差别,但为了便于在同等的深度内进行比较,根据土壤剖面分层的大概发生情况,划分了在各个类型的生态系统中具有广泛代表性的 0 - 17 cm 与 18 - 35 cm 两个层次,在土壤垂直深度范围内的比较。

表 2 各生态系统土壤容重的方差分析和多重比较

层次/cm	辽东栎林	油松林	黄榆林	椴树林	F 值
0 - 17	0.97 ab	1.15 a	0.76b	0.91b	5.036 **
18 - 35	1.00 ab	1.16 a	1.19 a	0.82 b	4.638 **

注:表中同一栏数据带不同字母的表示有差异;*表示在 0.05 的显著水平;**表示在 0.01 的显著水平;***表示在 0.001 的显著水平(下同)。

表 3 各生态系统土壤质量含水率的方差分析和多重比较

层次/cm	辽东栎林	油松林	黄榆林	椴树林	F 值
0 - 17	27.71	17.06	17.01	32.01	1.417
18 - 35	17.57	19.11	15.82	18.96	0.579

表 4 各生态系统土壤体积含水率的方差分析和多重比较

层次/cm	辽东栎林	油松林	黄榆林	椴树林	F 值
0 - 17	25.92	18.24	12.28	27.79	1.789
18 - 35	17.48	22.39	19.58	15.65	0.933

综合表 2、3、4 可看出,在各个生态系统的表层 0 - 17 cm 与 18 - 35 cm 处,容重有显著性区别,但质量含水率和体积含水率差别不显著,由于各生态系统的立地条件差别较大,受微地形和海拔等综合因素的影响,在土壤容重中表现出较大的差别性。除椴树林外,在 0 - 17 cm 土壤深度处的容重黄榆林小于辽东栎林,其次小于椴树林与油松林。各个生态系统类型在 18 - 35 cm 土壤深度内的容重普遍大于 0 - 17 cm 处的容重。

3.1.2 不同土壤界面上各生态系统的土壤水分变化

在自然中,界面广泛存在很多的物质层中,既包括微观

的界面又包括宏观的界面,在本文研究中的主要涉及的界面主要为宏观层次中土壤界面,通过以下的数据分析不仅可以得出土壤水分在各个土壤界面层中差异性,同时掌握在垂直土壤剖面的各土壤界面层中,土壤水分的垂直波动情况,并用变异系数 C_v 表示。

表 5 各生态系统土壤容重方差分析和多重比较

植被类型	分解层	腐殖质层	淋溶层	母质层	F 值
辽东栎林	1.01	1.06		1.04	1.054
油松林	1.16	1.23	1.02	1.18	0.217
黄榆林		0.76		1.19	1.539
椴树林		0.91		0.82	0.550

表 6 各生态系统土壤质量含水率方差分析和多重比较

植被类型	分解层	腐殖质层	淋溶层	母质层	F 值
辽东栎林	29.62a	21.35ab		17.43b	5.251 **
油松林	17.58	17.56	16.77	21.23	0.737
黄榆林		17.01		15.82	0.022
椴树林		32.01		18.96	0.699

表 7 各生态系统土壤体积含水率的方差分析和多重比较

植被类型	分解层	腐殖质层	淋溶层	母质层	F 值
辽东栎林	29.94 a	22.62 ab		18.04b	3.594 *
油松林	18.94	23.31	17.72	26.99	0.843
黄榆林		12.28		19.58	0.511
椴树林		27.79		15.65	0.920

从表 5,表 6,表 7 各植被类型的方差分析表中可以看到:各生态系统中的土壤容重无显著差异,但在质量含水率的方差分析和多重比较中,辽东栎林在各层土壤界面中质量含水率变化较显著, F 值达到了 5.251,并且辽东栎林在各生态系统的土壤体积含水率的方差分析和多重比较中显著, F 值达到了 3.594。

表 8 各生态系统土壤容重的变异系数

变异系数	分解层 1	腐殖质层 2	淋溶层 2	母质层 4	平均
辽东栎林	0.24	0.03		0.14	0.15
油松林	0.20	0.21	0.21	0.069	0.10
黄榆林		0.25		0.19	0.27
椴树林		0.11		0.14	0.11

表 9 各生态系统土壤质量含水率变异系数

变异系数	分解层	腐殖质层	淋溶层	母质层	平均
辽东栎林	0.32	0.14		0.08	0.39
油松林	0.04	0.17	0.20	0.27	0.17
黄榆林		0.44		0.40	0.28
椴树林		0.65		0.15	0.52

表 10 各生态系统土壤体积含水率变异系数

变异系数	分解层	腐殖质层	淋溶层	母质层	平均
辽东栎林	0.29	0.17		0.07	0.30
油松林	0.15	0.32	0.36	0.20	0.21
黄榆林		0.20		0.57	0.41
椴树林		0.61		0.26	0.62

从表 8,9,10,各生态系统类型的变异系数表中可以看到,黄榆林在土壤界面中土壤容重变化最大,其次是辽东栎林与椴树林。油松林在腐殖质层与淋溶层都表现出了较大的波动,超过了 0.2。

在对质量含水率的变异系数比较中得出椴树林大于辽东栎林,其次大于黄榆林与油松林;对于天然阔叶林中,在分解层重量含水率的变异系数大于其它的群落类型,油松林的分解层在各个土壤界面层中的变化相对稳定,主要由于油松林属于人工林,在对立地的调查中发现,该生态系统内生物多样性低,并且几乎无地表植被,植物多样性很低,地表主要被较厚的枯落物层所覆盖,土壤水分受地表上其他各生物的干扰较小。而天然群落中在分解层表现了较大的变异性。油松林是人工林,种类比较单一,各个样方土壤容重变化不大,变异系数比较稳定。

在对体积含水率的变异系数比较中得出椴树林大于黄榆林,其次大于辽东栎林与油松林;该结果主要受各个生态系统类型的立地条件与所测得土壤容重的影响。椴树林地与黄榆林所处的地形陡峭,各个坡位间土壤体积含水率差异较大,各群落的体积含水率的变异系数表现为:椴树林 > 黄榆林 > 辽东栎林 > 油松林。

3.2 不同生态系统枯落物库与根系库及土壤库蓄水量

对该区的调查时间为 8 月,降水对地表土壤水分的影响比较大,树叶的截流和枯枝落叶对土壤水分的滞留作用使得枯枝落叶层土壤水分含量比较大,逐层渗透,水分从上到下是逐渐降低的,见表 11,12。

表 11 单位面积各生态系统枯落物与根系蓄水量比较

	m^3/hm^2			
项目	辽东栎林	油松林	黄榆林	椴树林
枯落物蓄水量	7.69	18.94	4.20	7.37
根系蓄水量	5.31	9.37	6.50	19.19

表 12 单位面积各生态系统类型不同深度间土壤蓄水量比较

	m^3/hm^2			
土层/cm	辽东栎林	油松林	黄榆林	椴树林
0 - 3	87.67	70.76	36.84	103.20
3 - 30	541.36	578.61	528.79	651.84

表 11,12 中得出,对于不同生态系统内枯落物蓄水量从高到低顺次表现为油松林 > 辽东栎林 > 椴树林 > 黄榆林,主要由于油松的地表枯落物层较厚,并且油松的林龄较大,所以该生态系统内枯落物蓄水量高,而黄榆林位于阳坡并且地被物少,日照强烈是黄榆群落内枯落物蓄水量低的原因。在对根系蓄水量的比较中得出椴树林 > 油松林 > 黄榆林 > 辽东栎林。单位面积上层土壤蓄水量的比较从高到低的趋势为椴树林 > 辽东栎林 > 油松林 > 黄榆林,在对 3 - 30 cm 土壤层的比较则表现为椴树林 > 油松林 > 辽东栎林 > 黄榆林。

林地上的枯落物在生态系统中具有非常重要的水源涵养功能。枯落物具有很强的吸水性,能吸收大量降水,枯落物的持水性取决于其在林地上的积累量和它本身的持水能力,而这些又与生态系统的树种组成、群落发育、群落的水平及垂直结构、枯落物的分解状况等多种因素有关^[12-14]。

4 结 论

(1) 油松林、黄榆林、椴树林的土壤水分都随着土壤深度的增加呈现从表层到底层为半分解层>腐殖质层>淋溶层>母质层逐渐减小的趋势,辽东栎林随着土壤深度的增加土壤水分呈现相反的趋势;4种类型生态系统的体积含水率、质量含水率从上坡位到下坡位呈现逐渐增加的趋势,下坡位>中坡位>上坡位。

(2) 4种生态系统内土壤容重平均值上坡位为分别是1.01,1.08,0.91,0.99 g/cm³,差异不显著;中坡位是0.86,1.09,0.97,0.78 g/cm³,下坡位是1.07,1.28,0.99,0.83 g/cm³,差异显著。

4种生态系统的不同土界面层(半分解层、腐殖质层、淋溶层、母质层)之间,土壤容重的变异黄榆林依次大于辽东栎林、椴树林、油松林;质量含水率的变异,椴树林依次大于辽东栎林、黄榆林、油松林;体积含水率的变异:椴树林依次大于黄榆林、辽东栎林、油松林,该结果主要受立地条件与土壤容重的影响。

(3) 4种生态系统内质量含水率(8月)平均值上坡位分别是:26.63%、15.46%、10.88%、14.07%,差异显著;中坡位分别是:26.31%、21.59%、11.53%、28.05%;下坡位分别是:20.06%、17.44%、21.30%、34.32%,差异显著,椴树林显著高于其它3种类型;体积含水率与质量含水率的变化基本一致。

(4) 4种生态系统内枯落物蓄水量从高到低顺次表现为:油松林>辽东栎林>椴树林>黄榆林;根系蓄水量椴树林>油松林>黄榆林>辽东栎林;单位面积上层土壤0-3 cm蓄水量为椴树林>辽东栎林>油松林>黄榆林;在对4-30 cm土壤层蓄水量为椴树林>油松林>辽东栎林>黄榆林。

5 建 议

(1) 对于辽西山地凤凰山自然保护区的实验区,可以借鉴近自然生态系统来恢复与管理人工生态系统,鉴于针阔混交林具有较好的结构、较强的生态功能、健康、相对稳定,可以通过“栽针保阔”途径培育针阔混交林,通过“伐针引阔”经营、改造现有人工林。

(2) 辽西山地属半干旱低山丘陵地区,是典型的生态脆弱区,林业部门将“优化生态系统结构、强化生态系统功能、调节生态系统健康”作为森林经营、生态系统管理的重要目标至关重要。

参考文献:

[1] 熊文愈,王汉杰.论生态界面系统[J].南京林学院学报,1986(2):1-3.
[2] 韩士杰.森林界面生态学研究现状与展望[J].中国科学院院刊,2002(4):260-263.

[3] 韩士杰,廖利平,姜凤岐.关于森林界面生态学的思考[J].应用生态学报,1998,9(5):538-542.
[4] 吴文强.北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[D].北京:北京林业大学,2002.
[5] 马履一.国内外土壤水分研究现状与进展[J].世界林业研究,1997,10(5):26-32.
[6] 王孟本,李洪建.黄土高原人工林水分生态研究[M].北京:中国林业出版社,2001:33-64.
[7] 王克勤.集水造林与水分生态[M].北京:中国林业出版社,2002:115-119.
[8] 张志强,余新晓,陈丽花,等.森林生态水文[M].北京:中国林业出版社,2004:33-40.
[9] 张志强.森林水分:过程与机制[M].北京:中国环境科学出版社,2002:9-12.
[10] 陈灵芝,黄建辉,严昌荣.中国森林生态系统养分循环[M].气象出版社,1997:1-233.
[11] 程根伟,余新晓,赵玉涛,等.山地森林生态系统水分循环与数学模拟[M].北京:科学出版社,2004:132-133.
[12] 耿玉清,王保平.森林地表枯枝落叶层涵养水源作用的研究[J].北京林业大学学报,2000,22(5):49-52.
[13] 白雪峰,王国晨,张日升,等.章古台沙地樟子松人工林土壤水分动态研究[J].辽宁林业科技,2004(2):11-14.
[14] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁.黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究[J].水土保持学报,1991,5(4):87-92.
[15] 赵西宁,吴发启.土壤水分入渗的研究进展和评述[J].西北林学院学报,2004,19(1):42-45.
[16] 沈鸣诗.朝阳县志[M].广州:广东人民出版社,1997:200-250.
[17] 朝阳市志:第一部[M].沈阳:辽宁大学出版社,1996:39-80.
[18] 东学汉,等.朝阳市农业区划文集[Z].朝阳市农业区划办公室编印,1987.
[19] 谢贤群,唐登银.我国北方地区农业生态系统水分运行及区域分异规律研究的内涵和研究战略[J].中国科学基金,1999,13(2):81-85.
[20] Black P E. Research issues in forest hydrology [J]. Journal of the American Water Resources Association, 1998,34(4):53-57.
[21] Whittaker R H. Estimation of net primary production of forest and shrub communities [J]. Ecology, 1961, 42(1):177-180.
[22] Whittaker R H, Cohen N, Olson J S. Net productions of three species at Oak Ridge [J]. Tennessee Ecology, 1963,44(4):806-810.