

道路边坡土壤水分空间和季节变异性分析

答竹君¹, 艾应伟¹, 宋婷¹, 郭培俊¹, 王倩¹, 李伟²

(1. 四川大学 生命科学院 生物资源与生态环境教育部重点实验室,
四川 成都 610064; 2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要:以修建遂宁铁路时经液压喷播处理过的路堑边坡为对象,对道路边坡土壤水分在不同坡位、坡向的空间变异性 and 季节变异性进行了观测研究。结果表明,在坡位层面上,道路边坡的土壤含水量 10 月份坡上最高,达到 18.3%,其余 3 个季度均为坡下的土壤含水量显著高于坡上和坡中。在坡向层面上,道路边坡 4 个坡向的土壤含水量在 1 月份和 10 月份差异不显著,但 4 月份和 7 月份阴坡的土壤含水量显著高于阳坡。在季节层面上,道路边坡 3 个坡位土壤含水量的最高值均出现在秋季,土壤含水量在 4 个坡向上均为 1 月份和 10 月份显著高于 4 月份和 7 月份。道路边坡的土壤含水量除坡下外,不同坡位、坡向之间的土壤含水量均有显著相关性,坡下的土壤含水量只与季节呈显著相关。除季节与各坡向土壤含水量呈负相关外,其余均为正相关。季节与各坡位之间的土壤含水量相关性密切,而与各坡向含水量无相关性。

关键词:道路边坡; 土壤水分; 坡位; 坡向; 季节

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0072-04

中图分类号: S154.36

Spatial and Seasonal Variability of Soil Water in Road Slopes

DA Zhu-jun¹, AI Ying-wei¹, SONG Ting¹, GUO Pei-jun¹, WANG Qian¹, LI Wei²

(1. Key Laboratory of Bio-resources and Eco-environment of the Ministry of Education, College of Life Science, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: The research objects of this study are the railway slopes which were treated with pressure spraying in the construction of Suiming—Chongqing railway. The variations of soil water of the road-slopes were monitored in different slope positions, various slope aspects during four seasons. The results show that soil water content peaked at the upper slope position in October, as high as 18.3%. For the other three seasons, the water contents were significant higher at the foot slope than at the upper and middle slopes. No significant difference of soil water were found among four slope aspects in January and October, while in April and July, soil water contents on shady slopes were significant higher than those on the sunny slopes. Soil water contents peaked in October on all the three slope positions. On all four slope aspects, soil water contents in January and October were significantly higher than those in April and July. Significant relationships were identified between soil moisture contents of different slope positions, slope aspects and seasons, except that soil moisture on foot slopes were affected by season changes only. All relationships were positive except between seasonal variations and slope aspects. Seasonal variations of soil moisture were related closely with slope positions rather than with slope aspects.

Keywords: railway slope; soil water content; slope position; slope aspect; season

我国是一个多山的国家,山地、丘陵和地形比较崎岖的高原所构成的山区占国土总面积的 50%以上。在山区的道路建设中,道路多穿行于河谷山川之间,道路沿线土石方的开挖,形成了大量的道路边坡。道路边坡的开挖破坏了原有植被覆盖层,导致出现大

量的次生裸地以及产生严重的水土流失现象,造成生态环境的破坏^[1]。道路边坡土壤是植物形成、生长和演替的基础,植被在道路边坡防护以及生态景观恢复方面又有着不可取代的重要作用。而土壤水分是植物生长、植被恢复以及减轻土壤侵蚀的重要影响因

收稿日期:2010-05-27

修回日期:2010-08-05

资助项目:国家自然科学基金项目“道路边坡创面的成土特性及机理研究”(40771087,40571064)

作者简介:答竹君(1985—),女(回族),湖北省武汉市人,在读研究生,主要从事土壤生态学等方面的研究工作。E-mail:dzj1031@126.com。

通信作者:艾应伟(1965—),男(汉族),四川省资中县人,教授,博士生导师,主要从事土壤生态学等方面的研究工作。E-mail:aiyw99@sohu.com。

素,是反映土壤特性的重要指标。道路边坡土壤水分不仅影响坡面土壤的发育和植被的形成,而且对道路边坡的安全也有着重要的影响。道路边坡与农田、林地不同,处在一个特殊生境条件下,但有关道路边坡土壤水分的空间和时间变异性及其影响因素的文献报道极少。针对这一问题,本文对道路边坡土壤水分在不同坡位和坡向的空间变异性及季节变异性开展观测研究,以为道路边坡防护和生态环境保护提供理论依据。

1 研究区概况

研究区选在遂渝铁路遂宁站附近,位于北纬 $30^{\circ}32'$,东经 $105^{\circ}32'$ 。所调查研究的道路边坡开挖于2003年,经过后期人为的液压喷播处理形成路堑边坡。研究区气候属亚热带湿润季风气候,具有气候温和,无霜期长,雨热同季和四季分明的特点,年平均气温为 17.4°C ,年平均降雨量为 927.6 mm ,旱季(10—翌年4月)平均雨量 213.3 mm ,占全年雨量的 23.0% ,雨季(5—9月)平均雨量 714.3 mm ,占全年雨量的 77.0% ,平均月最大降雨量 198.1 mm (7月),日最大降雨量 199.8 mm 。年最多风向为北风,年平均风速 0.7 m/s ,瞬间最大风力11级(30.0 m/s),年平均日照 $1\,189.2\text{ h}$,年平均蒸发量 991.4 mm ,旱季平均蒸发量 344.9 mm ,雨季平均蒸发量 664.5 mm ,平均最大月蒸发量 150.05 mm 。该区域属四川盆地中部丘陵低山地区,地质构造简单,褶皱平缓;地貌类型单一,覆盖层为黏砂土和砂砾层,基岩为泥岩夹砂岩;岩层整体性较差,呈大块状和块状结构。

2 研究方法

在遂渝铁路遂宁站附近 1 km 范围内选取了2个道路边坡,针对道路边坡坡位和坡向的不同,将道路边坡坡位分为3种类型,将道路边坡坡向划分为4种类型,2个道路边坡的土样均取4个季度。其具体划分方法如下:

(1) 坡位。按坡位的不同将整个坡面分为坡上、坡中、坡下共3种类型。

(2) 坡向。分为阳、阴2个坡向,阳坡包括偏东向和南向两个方位,阴坡包括偏北向和西向2个方位。

(3) 季节。2008年冬季(1月),春季(4月),夏季(7月),秋季(10月)。

由于切挖边坡人工土壤喷射厚度为 10 cm ,因此每个边坡土壤样品均取自表层以下 8 cm 处;且为了避免被金属网氧化物所污染的部分,切挖边坡取样点

须不靠近三维网处。采样时,在以上所划分的不同坡位、坡向区间采取多点土样,对所采取土样,采取烘干法测定土壤含水量。利用Excel和SPSS软件进行实验数据处理。道路边坡植被情况见表1。

表 1 道路边坡植被情况

边坡类型	植物种类	
坡上	黑麦、苜蓿、狗牙根、飞蓬	
坡中	黑麦、艾蒿、狗尾草、苜蓿	
坡下	狗尾草、飞蓬、黑麦	
阳坡	东向	早熟禾、苜蓿、蒲公英、火棘等
	南向	早熟禾、苜蓿、蒲公英
阴坡	西向	早熟禾、苜蓿、蒲公英
	北向	早熟禾、苜蓿、艾蒿、蒲公英、牛膝

3 结果与讨论

3.1 不同坡位土壤水分空间变异性

土壤水分是降水等气候因素与土壤特性的综合反映,在土壤、植被、地貌等因素一致的情况下,土壤水分反映了大气降水与水分蒸发的相互关系。土壤水分受降雨、植被、地貌等多方面的因素影响,单一考虑其中的一个或几个因素都不能完全表达出土壤水分的变异性。另外,由于侵蚀、植被等因素造成的坡面浅沟等微地形,也会对土壤水分造成影响^[2]。降雨和植被被作为主要的影响因素,对道路边坡的稳定性以及道路边坡土壤的水分差异有着重要的作用。降雨是土壤侵蚀的动力因素,水土流失量随降雨量的变化而发生变化,植被具有拦蓄降雨,减少径流,固持土壤,防止侵蚀,改良土壤,改善生态环境等作用。植被作为水土保持当中的有效因子,不同植被会造成土壤水分利用以及土壤水分空间分布的差异性^[3-4]。

道路边坡坡位的不同会带来坡面局部地形和土壤性状的空间变异。土壤水分与地形和土壤性状的空间变异有关。随地形不同,植被的分布不同,形成的土壤生物结皮和成土层厚度也不一致。土壤生物结皮和成土层越厚的地方,土壤保水能力越强,降雨季节土壤含水量就越高^[5]。土壤性状的空间变异通常是有方向性的,即由于局部地形、植被分布及其它环境因子对土壤性状的影响,导致其在不同方向上的土壤水分呈现不同的变异特性。从表2可知,10月份道路边坡不同坡位之间的含水量无显著差异,其它3个月份土壤含水量随坡位呈现一定的变化规律,即坡下含水量最大且显著大于坡上的土壤含水量。这可能是由于土壤水分在重力作用下,随坡位的高低变化有向下聚集流失的作用,并且坡下植被生长最为茂盛,在一定程度上对土壤水分涵养起到了较大的作用,

因此坡下的土壤含水量最高。前人对农田、林地等坡地土壤水分的研究结果也表明,土壤水分在坡地不同位置上的变化有一定规律性,即从坡上到坡下由于坡面降水再分配使其土壤水分越来越大^[4-6]。

表 2 道路边坡不同坡位的土壤水分含量 %

坡位	1月	4月	7月	10月
坡上	6.3±1.1Bb	4.8±1.1Bc	5.1±0.4Bbc	18.3±1.1a
坡中	8.6±0.5ABb	4.4±0.5Bd	5.6±0.3Bc	18.1±1.3a
坡下	10.1±0.6Ab	11.2±1.5Ab	10.8±3.8Ab	16.9±5.8a

注:大写字母表示同一月份不同坡位之间土壤水分的差异显著性,小写字母表示同一坡位不同月份之间土壤水分的差异显著性,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

3.2 不同坡向土壤水分空间变异性

坡向对于山地生态有着较大的作用,山地的方位对日照时数和太阳辐射强度有影响。坡面土壤含水量和坡向密切相关,坡向的不同会形成不同的小气候和小环境,坡面及植被受阳光的量和时间也不同,造成水分地面蒸发和蒸腾作用的差异,坡面接受的太阳辐射及其植被类型均有差异形成土壤水分的变异^[7]。Garten 等^[8]的研究结果显示,辐射收入南坡最多,其次为东南坡和西南坡,再次为东坡与西坡及东北坡和西北坡,最少为北坡。阳坡(或南坡)和阴坡(或北坡)之间温度或植被的差异常常很大。南坡或西南坡最暖和,而北坡或东北坡最寒冷,同一高度的极端温差竟达 3~4℃。坡向对降水的影响也很明显。由于一山之隔,降水量可相差几倍。来自西南的暖湿气流在南北或偏南北走向山脉的西坡和西南坡形成大量降水;东南暖湿气流在东坡和东南坡造成丰富的降水。对森林、草地等坡面土壤水分的研究结果表明,土壤水分受到坡向因素的影响^[9-10]。

从表 3 可知,1 月份和 10 月份道路边坡 4 个坡向的土壤含水量差异不显著,但 4 月份和 7 月份阴坡的土壤含水量显著高于阳坡。上述结果表明,太阳辐射造成的土壤水分蒸发对道路边坡不同坡向土壤含水量影响显著。秋冬两季太阳照射不是很强烈,因此 4 个坡向的土壤含水量相差不大,而春夏两季,太阳照射时间长,强度大,阳坡接收的辐射多,导致坡面温度升高,土壤含水量较少。

3.3 不同季节土壤水分时间变异性

不同时间段土壤水分分布所受的主导影响因素可能不同,土壤水分随时间的变化较大,不像其它土壤理化性质一样具有相对稳定性,而且不同尺度上土壤水分的空间变异规律不同,所以土壤水分的分布和变异具有时间依赖性。四川山区属于亚热带湿润季

风气候,一年四季温度和降水量差异均较大,受降水和植被生长季节差异影响,该地区道路边坡土壤含水量的季节变化也很明显。由表 2 和表 3 可知,道路边坡土壤含水量在坡上、坡中和坡下 3 个坡位上均为 10 月份最高。坡上和坡中 4 月份和 7 月份的土壤含水量显著小于其它 2 个月,而坡下则为 1 月份土壤含水量最小。道路边坡土壤含水量在东、西、南、北 4 个坡向上,1 月份和 10 月份的土壤含水量显著高于 4 月份和 7 月份,并且土壤含水量的最低值均出现在 7 月份。道路边坡土壤含水量 10 月份均相对较高,原因可能是道路边坡与自然边坡的性质不同,经过液压喷播等人工护养,但因为生长环境的恶劣,植被生长十分缓慢。10 月份该地区雨量相对充足,因此土壤含水量显著高于其它月份。该地区除夏季外,其它季节均阳光不充足,太阳辐射小,而 7 月为一年当中最热的月份,虽然此时降雨量比较大,但由于太阳照射非常强烈,水分蒸发量大,因此土壤含水量显著减少。前人对林地等坡地土壤水分的研究结果表明,土壤含水量取决于气候(降雨)条件和季节变化,按四季划分为土壤水分相对稳定期、消耗补偿期、亏损期和积累期。土壤水分相对稳定期是指春季(3—5 月),土壤水分消耗补偿期是指夏季(6—8 月),土壤水分亏损期指秋季(9—11 月),土壤水分积累期为冬季(12—翌年 2 月)^[11]。道路边坡的形成与所处环境同林地、农田等坡地有差异,所以道路边坡不同季节的土壤水分变化趋势与林地、农田等坡地土壤水分的变化趋势不同。

表 3 道路边坡不同坡向的土壤水分含量 %

坡向	1月	4月	7月	10月	
阳坡	东向	24.7±2.7a	5.7±1.1Bb	4.9±1.2Bb	23.4±1.8a
	南向	23.8±0.8a	9.0±1.1Cc	7.8±0.4ABc	21.7±1.8b
阴坡	北向	22.7±0.9a	13.9±1.2Ab	9.5±2.2Ab	24.6±1.6a
	西向	22.7±1.5a	15.4±0.9Ac	9.9±2.1Ab	23.0±3.1a

注:大写字母表示同一月份不同坡向之间土壤水分的差异显著性,小写字母表示同一坡向不同月份之间土壤水分的差异显著性,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

3.4 不同坡位、坡向、季节土壤水分之间的相关性

由表 4 可知,道路边坡的土壤含水量除坡下外,不同坡位、坡向之间的土壤含水量均有显著相关性。坡下的土壤含水量只与季节呈显著相关($p<0.05$)。除季节与各坡向土壤含水量呈负相关外,其余均为正相关。季节与各坡位之间的土壤含水量相关性密切,而与各坡向含水量无相关性。这可能是因为坡下最接近铁轨,受人为扰动大,重金属污染、火车尾气、高

气压流、电磁辐射、生活垃圾等都不可避免地影响着坡下环境,因此坡下的土壤水分规律性不强。表 4 结

果还表明,季节对不同坡位土壤含水量的影响远远大于对不同坡向土壤含水量的影响。

表 4 不同坡位、坡向、季节土壤水分之间的相关系数

相关因子	坡上	坡中	坡下	东坡	南坡	北坡	西坡
坡中	0.965**						
坡下	0.628**	0.659**					
东坡	0.614*	0.731**	0.265				
南坡	0.571*	0.693**	0.247	0.976**			
北坡	0.738**	0.831**	0.344	0.940**	0.951**		
西坡	0.574*	0.660**	0.180	0.874**	0.872**	0.860**	
季节	0.712**	0.613*	0.541*	-0.052	-0.116	0.125	-0.091

注: * 表示在 $p < 0.05$ 时显著相关; ** 表示在 $p < 0.01$ 时极显著相关。

4 结论

土壤水分是土壤中极其活跃的因素,影响和制约着土壤中所有的肥力因素和生产性能。本文对道路边坡不同坡位,不同坡向和不同季节的土壤水分规律性以及其间的相关性进行了研究。

(1) 由于坡下植物生长较好,植物对土壤水分有涵养作用,加上重力作用的影响,因此道路边坡坡下的土壤含水量最高。由于太阳辐射强度和水分蒸发的影响,道路边坡阳坡的土壤含水量显著低于阳坡土壤含水量。因夏季水分蒸发强烈且气温较高,导致道路边坡 4 个坡向的土壤含水量均为 7 月份最低。

(2) 道路边坡的土壤含水量除坡下外,不同坡位、坡向之间的土壤含水量均有显著相关性。坡下的土壤含水量只与季节呈显著相关($p < 0.05$)。除季节与各坡向土壤含水量呈负相关外,其余均为正相关。季节与各坡位之间的土壤含水量相关性密切,而与各坡向含水量无相关性。

(3) 道路边坡坡面土壤水分分布是降雨、植被以及坡位、坡向等综合因素影响的结果,而坡地地形与土壤侵蚀密切相关,在陡坡坡面土壤水分的研究中,不能孤立地研究土壤水分,而应考虑陡坡坡地的实际情况,把土壤水分过程与土壤侵蚀过程有机地结合起来研究。

[参 考 文 献]

[1] 杨喜田,董惠英,黄玉荣,等. 黄土地区高速公路边坡稳定性的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(1):77-81.

- [2] 潘成忠,上官周平. 黄土半干旱丘陵区陡坡土壤水分空间变异性研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):5-9.
- [3] Scholz F G, Bucci S J, Goldstein G, et al. Hydraulic redistribution of soil water by neotropical savanna trees [J]. *Physiology*, 2002,22:603-612.
- [4] 徐学选,刘文兆,高鹏,等. 黄土丘陵区土壤水分空间分布差异性探讨[J]. 生态环境,2003,12(1):52-55.
- [5] 马风云,李新荣,张景光,等. 沙坡头人工固沙植被土壤水分空间异质性[J]. 应用生态学报,2006,17(5):789-795.
- [6] 李裕元,邵明安,张兴昌. 侵蚀条件下坡地土壤水分与有效磷的空间分布特征[J]. 水土保持学报,2001,15(2):41-44.
- [7] Maria S, Giuliana R, Giuseppe V, et al. Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a *Pinus laricio* forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy) [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2008,44:364-372.
- [8] Garten C T J, Huston M A, Thoms C A. Topographic variation of soil nitrogen dynamics at Walker Branch watershed, Tennessee. *Forest Science*, 1994, 40:497-512.
- [9] Mudrick D A, Hoosein M, Hicks R R J, et al. Decomposition of leaf litter in an Appalachian forest: effects of leaf species, aspect, slope position and time[J]. *Forest Ecology Management*, 1994,68:231-250.
- [10] Schimel D, Stillwell M A, Woodmansee R G. Biogeochemistry of C, N, and P in a soil catena of the short-grass steppe[J]. *Ecology*, 1985,66:276-282.
- [11] 卢义山,梁珍海,杨国富,等. 苏北海堤防护林地土壤水分动态特征的研究[J]. 江苏林业科技,2002,29(2):5-9.