

# 民勤绿洲区天然胡杨林生长季土壤水分动态

曹立国, 王允, 刘普幸, 王洪岩, 朱小娟, 赵敏丽

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 利用地统计学方法对民勤绿洲区天然胡杨林下土壤水分的空间结构特征及生长季期间的变化规律进行了研究。结果表明, 研究区天然胡杨林下土壤水分含量范围为 0.85%~4.80%。民勤县双茨科乡和苏武乡天然胡杨林下土壤含水量随土层深度的增加呈增大趋势, 而夹河乡样区土壤水分含量随土层深度的增加呈现出先增大后减小的趋势。8 月份各采样点表层土壤含水量均为最小值。土壤水分含量在胡杨的生长季期间总体表现为: 春季>秋季>夏季。采样点土壤水分变异系数总体属于中强度变异性, 表层土壤水分的变异系数略大。胸径大的胡杨树土壤含水量反而少, 这主要与树龄及胡杨林根系发达程度有关。土壤水分异质性为中等程度的空间相关性, 且苏武乡变异函数模型拟合效果最为理想。

**关键词:** 民勤绿洲; 胡杨树; 土壤水分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0080-06

中图分类号: S156.4

## Soil Moisture Dynamics During Growing Season of *Populus Euphratica* Forest in Minqin Oasis

CAO Li-guo, WANG Yun, LIU Pu-xing, WANG Hong-yan, ZHU Xiao-juan, ZHAO Min-li

(College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** The temporal variability of soil water and its dynamics in *Populus euphratica* growth period in Minqin Oasis was investigated using geostatistics. The results show that the soil water content ranged between 0.85%~4.80% in the study area. The soil water contents increased with soil depth in both Shuangcike and Suwu Towns, while increased first and then decreased with the depth in Jiahe Town. The surface soil water content reached the lowest value in August. The soil water content in the growing season of the natural *Populus euphratica* forests varied considerably; the soil water content was higher in the spring, intermediate in autumn, and lower in summer. The variation efficient in general indicated a middle or strong variability in soil water content. However, the variation efficient of surface soil water content was greater than the others. The soil water content was less under *Populus euphratica* trees with greater diameters, which mainly related to the tree-age and root system. Overall, the soil water contents exhibited intermediate spatial correlation, and the variograms model for Suwu Town had the highest fitting coefficient.

**Keywords:** Minqin Oasis; *Populus euphratica*; soil water content

土壤水分作为土壤—植物—大气连续体 (SPAC) 的一个关键因子, 会直接影响土壤特性和植物生长, 而且还间接影响植物分布和在一定程度上影响小气候的变化<sup>[1]</sup>, 其在空间分布上的不均匀性以及这种不均匀性在时间上的稳定性问题是土壤水分变异的重要内容<sup>[2]</sup>。在干旱、半干旱地区土壤水分状况也是植被生存和稳定的最敏感的限制因子<sup>[3]</sup>。近年

来, 随着植被衰退、地下水位下降、水资源紧缺、土地沙漠化、土壤盐渍化等问题的日益突出, 土壤水分的研究无疑成为保护干旱区绿洲生态环境及实现绿洲可持续发展过程中一项重要而又基础的工作。

国内外学者对植被下土壤水分问题作了大量研究。Kizito 等<sup>[4]</sup>将灌木和狼尾草作为种间作物, 研究了土壤水分的变化规律, 结果表明在生态系统脆弱的

收稿日期: 2011-05-14

修回日期: 2011-09-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“河西绿洲天然胡杨林生长的水盐过程和衰退机制研究”(40961035); 甘肃省科技计划基金项目(0803RJZA094); 西北师范大学第三期科技创新工程项目

作者简介: 曹立国(1986—), 男(汉族), 吉林省白山市人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区域环境与绿洲建设。E-mail: caoliguo19860413@126.com。

通信作者: 刘普幸(1964—), 女(汉族), 山西省平遥县人, 博士, 教授, 主要从事干旱区域环境与绿洲建设、树轮水文学等研究工作, E-mail: fm-lpx@nwnu.edu.cn。

荒漠草原将灌木作为庄稼的年种间作物是创新、可行的选择。Kai Schwarzel 等<sup>[5]</sup>研究发现与土壤水分长期的平均状况相比,用个别的极端情况对于评估树木生长条件似乎更为合适。梁宗锁等<sup>[6]</sup>研究表明白杨树没有抗旱植物的特性,建议不应在黄土高原地区大范围种植。周茅先等<sup>[7]</sup>发现地下水水盐条件制约植被分布、生存和演替,各种植被类型适应不同的地下水位和盐分特征。刘蔚等<sup>[8]</sup>研究表明,额济纳三角洲地区的土壤具有质地粗、含盐量高、盐分表聚性强的特征。阎顺国等<sup>[9]</sup>研究发现群落与相对应的土壤水盐生态类型相一致,且随着土壤水盐呈明显的演替系列。曹帮华等<sup>[10]</sup>研究了刺槐与不同树种混交对土壤水分、盐分年动态变化的影响,结果表明刺槐与3个树种混交,刺槐与臭椿混交林生长最好,均高于各自纯林。在我国西北干旱地区对于天然植被下的土壤水分特征研究相对较少,特别是民勤绿洲区胡杨林土壤水分变化特征研究更为缺乏<sup>[11-13]</sup>。本研究以甘肃省民勤绿洲区天然胡杨林为研究对象,通过野外调查和采样分析,依据大量实测数据分析该地区天然胡杨林土壤水分动态变化特征及规律,以揭示土壤水分和植被之间的复杂关系,为民勤绿洲区珍稀植被群落胡杨林的保护以及荒漠植被恢复提供科学依据。

## 1 研究区概况

民勤县位于甘肃河西走廊东端北侧石羊河下游,东北与腾格里沙漠接壤,西北为巴丹吉林沙漠,地理位置位于 38°05′—39°06′N, 103°02′—104°02′E, 绿洲面积约 1 000 km<sup>2</sup>。气候干燥,多年平均降水量 115.9 mm,年平均蒸发量为 2 637.7 mm,年平均风速 2.2 m/s,全年平均扬沙 59 d,全年沙尘暴日数 27

d,气候环境十分恶劣<sup>[14]</sup>,为典型的温带大陆性荒漠气候。地貌类型为平原、沙漠和低山丘陵,土壤以风沙土、灰棕漠土、草甸土、草甸沼泽土为主,非地带性土壤是以灰棕漠土、草甸土等土类经过长期灌溉淋溶、耕作施肥的人为作用,形成了特殊土类——绿洲灌漠土为主<sup>[15]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 土样采集

经查阅相关资料后,于 2010 年 4—9 月份胡杨生长季期间,分别在民勤县夹河乡、苏武乡、双茨科乡天然胡杨林下且人为因素干扰相对较小的分布区进行土样采集,共分 6 次采样。3 个采样点的下垫面状况基本相似(表 1),均伴有沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、梭梭(*Haloxyylon ammosdendro*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、刺蓬(*Salsola ruthenica*)、枸杞(*Lycium chinense*)等耐盐碱植物以及少量的白杨树(*Poplar sp.*)。地形平坦,只有苏武乡地势略有起伏,且死树较多。依据野外采样布点的方法,在 3 个样地内各设置一个 64 m×64 m 的标准地,在每个样地内设置 18 个小样点,同时用 GPS 确定采样位置。在土样采集过程中,距胡杨树 1 m 左右进行采样以避开胡杨较大的根系。在距地面 1.3 m 处用皮尺测量胡杨树的周长,进而得出其胸径(DBH),同时采用树冠投影法计算样地的郁闭度。在每个小采样点取 0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm, 60—80 cm, 80—100 cm 和 100—120 cm 不同土层深度的土样,每次采集土壤样品 324 个,共计 1 944 个土样,将样品封存在铝盒内并及时带回实验室测定土壤含水量。

表 1 民勤绿洲采样点胡杨的基本情况

采样点	经度 E	纬度 N	海拔/m	胸径/cm	目测高度/m	平均树高/m	郁闭度
夹河乡	103°53′	38°34′	1 346	5.41~49.36	2~12	5.01	0.29
苏武乡	103°09′	38°39′	1 349	7.01~33.76	2~9	7.72	0.28
双茨科乡	103°16′	38°45′	1 365	5.41~46.50	2~15	5.01	0.65

### 2.2 数据来源及分析方法

本研究中 2010 年民勤县降水量的气象资料来源于中国气象数据科学共享网,资料完整性好。采用经典统计方法,计算土壤含水量平均值、方差、变异系数,用地统计学软件 GS+ 进行变异函数分析,进一步研究土壤水分的空间变异特征。在实验室采用烘干法测定土壤水分含量。土壤水分含量可用样本变异系数  $C_v$  的大小来反映此特征,计算公式为:

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

式中: $S$ ——土壤含水量测定样本标准差; $x_i$ ——土壤含水量的测定值; $\bar{x}$ ——土壤含水量平均值;按一般对变异系数的评估,当  $C_v \leq 10\%$  时为弱变异性,当  $10\% \leq C_v \leq 100\%$  时为中等变异,当  $C_v > 1$  时为强变异性<sup>[16]</sup>。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 土壤水分的垂直变化特征

土壤水分受降水强度、土壤蒸发差异及地形地质的影响外,还受地下水埋深、植被类型、风等气象要素的影响,所以土壤水分常表现出显著的垂直异质性<sup>[17]</sup>。由图 1 可知,研究区土壤含水量垂直分布有明显的分层现象和动态特征。苏武乡和双茨科乡胡杨林下土壤含水量总体随深度呈增加趋势,但增幅不大。夹河乡土壤含水量随深度增加呈现出先增大后减小的趋势。3 个采样点土壤含水量介于 1.5%~4.5% 之间,夹河乡,苏武乡和双茨科乡胡杨林下的表层土壤含水量较低,其均值依次为 2.0%,1.5% 和 1.6%,夹河乡、比苏武乡高出 0.5%。采样点表层土壤含水量低主要由于表层土壤日照强烈、风大、蒸发强度大以及不同树龄胡杨叶面的蒸腾作用导致表层的土壤水分散失速度快、含量少。苏武乡在 0—40 cm 增加趋势明显,土壤含水量在 60—80 cm 土层变化最小,其均值为 2.9%。夹河乡土壤含水量在 0—40 cm 总体呈明显增加趋势,在 40—120 cm 土层呈明显减少趋势,但在 60—80 cm 土壤含水量相对稳定。双茨科乡胡杨林下土壤含水量总体在 0—40 cm 呈显著增加趋势,在 40—80 cm 和 100—120 cm 土壤含水量变化趋于平缓,增加趋势较弱,在 80—100 cm 土壤含水量最为稳定。苏武乡和双茨科乡胡杨林下的土壤含水量最大值均在 100—120 cm,其均值分别为 4.0% 和 4.5%。民勤县天然胡杨林下土壤含水量相对于瓜州<sup>[18]</sup>、敦煌<sup>[19]</sup> 等地区天然胡杨林下的土壤含水量总体偏低。

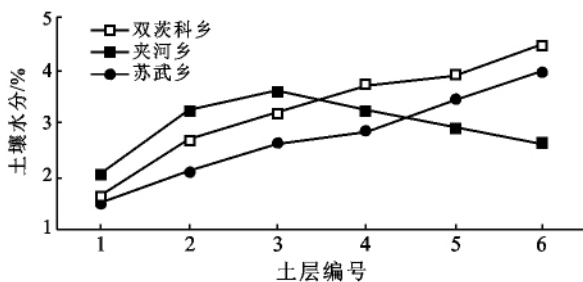


图 1 各样地胡杨生长季不同土层土壤水分含量变化

注:土层编号 1,2,3,4,5,6 分别代表采样深度为 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—80 cm,80—100 cm,100—120 cm 的土层。下同。

不同胡杨林下的土壤含水量不同,为进一步揭示不同树龄的胡杨树与土壤含水量之间的关系。将胡杨林按树龄划分林组群落采取样方内胡杨平均胸径

( $R$ ) 替代法,即:4 cm $\leq R \leq 10$  cm 为干材阶段,15 cm $\leq R \leq 30$  cm 为中年阶段,30 cm $\leq R \leq 60$  cm 为成熟阶段,60 cm $< R \leq 80$  cm 为老熟阶段<sup>[20]</sup>。由图 2 可知,胡杨干材阶段林下的土壤含水量总体大于成熟阶段和老熟阶段,这主要因为不同林龄胡杨林的根系发达程度不同,成熟、老熟阶段胡杨的根系吸收水分和蒸腾作用的能力比干材阶段强,且不同生长阶段胡杨林的生长量不同,使得其在生长过程中对水分的消耗也不同,表明胡杨树的胸径越大土壤含水量反而小,这一结论同豪树奇<sup>[3]</sup>研究的额济纳绿洲土壤水分状况得出的结论相一致。此外,采样点干材阶段、成熟阶段、老熟阶段胡杨树下的土壤含水量总体呈现为:夹河乡>双茨科乡>苏武乡。

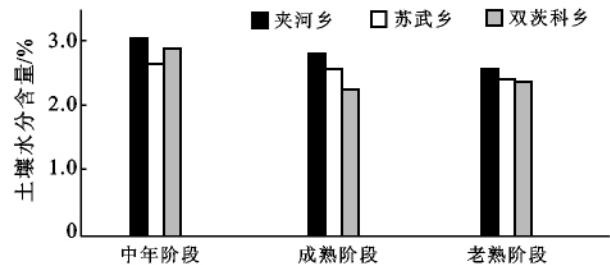


图 2 各样地胡杨林龄与土壤水分的关系

#### 3.2 土壤水分的时间变化特征

研究区土壤含水量随时间变化也呈现出一定的动态特征(图 3)。夹河乡,苏武乡和双茨科乡胡杨林下的土壤含水量总体随时间变化呈先减小后增加的趋势;在 4—5 月,除夹河乡外,其余均为表层土壤含水量最少。采样点土壤含水量在 4—5 月份总体偏高,在 0—60 cm 的土层尤为明显,在 2.28%~4.28% 之间,且变化幅度较大,这主要由于 4—5 月份温度相对较低、蒸发弱、胡杨树在生长季初期消耗水分较少所致,为土壤水分的积累期;相反,在胡杨生长季旺盛期的 6—8 月份,温度高且蒸发强烈,导致研究区的土壤含水量总体较低,为土壤水分的消耗期,夹河乡,苏武乡和双茨科乡胡杨林下的土壤含水量平均值分别为 2.58%,1.16% 和 1.80%;胡杨树在生长季末期的 9 月份,土壤水分受气温降低、降水减少以及胡杨的蒸腾作用下降等因素的影响,致使土壤水分消耗比较少,为土壤水分的稳定期。夹河乡,苏武乡和双茨科乡胡杨林下表土 0—20 cm 土壤含水量变动最为剧烈,且最低值均出现在 8 月份,分别为 0.93%,0.85% 和 0.93%,主要因为在 8 月份表层土壤水分蒸发和胡杨蒸腾作用强烈。在 60—120 cm 土层,苏武乡和双茨科乡胡杨林下的土壤含水量总体随着月份增加呈略微减少趋势,两个样点 4 月份土壤含水量均值分别为 3.2% 和

3.5%,8月份为2.4%和3.0%,分别减少了0.8%和0.5%;总之,研究区土壤含水量总体随月份增加呈先减少后增大的趋势,在80—100 cm土壤含水量随月份变化趋势不明显,趋于稳定态势。

在胡杨生长季期间,研究区春季的降水量为36.2 mm,夏季为15 mm,秋季为32.3 mm,虽然民勤地区年平均蒸发量较大为2 637.7 mm<sup>[14]</sup>,但是天然胡杨林下土壤水分含量与生长季期间的降水量仍具

有很好的一致性,总体表现为:春季>秋季>夏季。土壤水分含量在0.85%~4.80%之间,总体较低,这在一定程度上与近年来民勤县机井数量增多、地下水位下降、过度开采地下水有密切关系<sup>[21]</sup>。因此,从根本上解决民勤绿洲区水资源短缺,节约水资源,才能优化民勤绿洲天然胡杨林的生态环境,同时,对巴丹吉林和腾格里沙漠进一步扩大起着举足轻重的遏制作用。

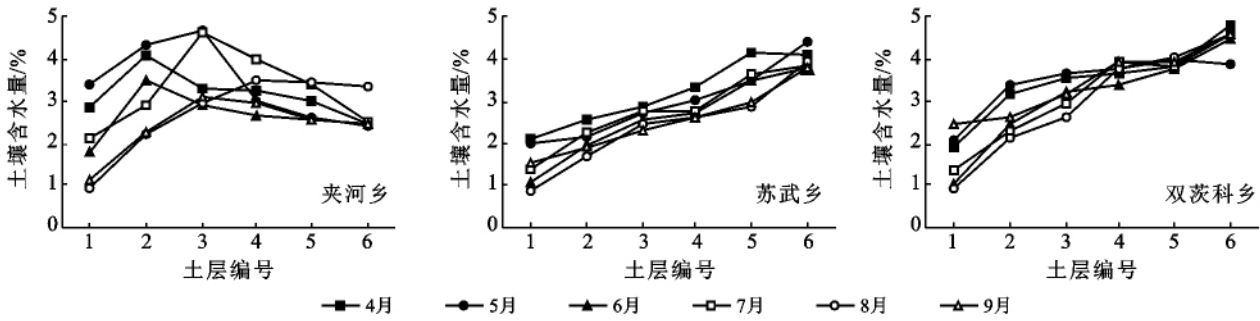


图 3 各采样点土壤含水量的时间变化

### 3.3 土壤含水量的变异程度分析

土壤含水量在垂直空间上的变化特征通常用变异系数  $C_v$  的大小来反映,土壤含水量的变异系数随着土层深度的增加出现差异<sup>[17-19]</sup>。通过计算得到各采样点

土壤含水量的变异系数,从表 2 可以看出,夹河乡表层土壤含水量的变异系数在 45%~105%之间,为中强度变异;苏武乡和双茨科乡胡杨林下土水分的变异系数为 51%~74%和 37%~55%,均属于中等变异性。

表 2 研究区不同样地和不同月份土壤含水量及其变异系数%

样区	土层/cm	4月		5月		6月		7月		8月		9月	
		变异系数	含水量/%	变异系数	含水量/%	变异系数	含水量/%	变异系数	含水量/%	变异系数	含水量/%	变异系数	含水量/%
夹河乡	0—20	2.9	66	3.4	88	1.8	48	2.2	105	0.8	45	1.1	57
	20—40	4.1	66	4.3	56	3.5	54	2.9	61	2.3	56	2.3	59
	40—60	3.3	61	4.7	65	2.9	73	4.6	54	2.9	59	3.1	63
	60—80	3.3	79	3.0	71	2.7	71	4.0	86	3.5	65	3.0	50
	80—100	3.0	65	2.6	75	2.6	78	3.4	80	3.4	46	2.6	66
	100—120	2.5	71	2.4	76	2.5	66	2.5	64	3.3	87	2.5	83
苏武乡	0—20	2.1	61	2.0	60	1.1	74	1.4	54	0.8	51	1.5	67
	20—40	2.6	49	2.2	42	2.0	54	2.3	43	1.7	52	1.9	52
	40—60	2.9	48	2.7	50	2.6	49	2.8	40	2.5	47	2.3	56
	60—80	3.3	47	3.0	55	2.7	39	2.8	43	2.6	55	2.6	40
	80—100	4.2	60	3.5	59	3.5	88	3.7	65	2.9	46	3.0	42
	100—120	4.1	61	4.4	53	3.8	54	3.9	51	3.9	43	3.8	41
双茨科乡	0—20	1.9	48	2.1	55	1.0	46	1.3	37	0.9	35	2.5	48
	20—40	3.2	40	3.4	40	2.5	41	2.3	35	2.1	48	2.6	38
	40—60	3.5	42	3.6	57	3.2	45	3.0	33	2.6	51	3.2	27
	60—80	3.6	52	3.8	68	3.4	49	3.9	40	3.8	81	3.9	21
	80—100	3.8	59	4.0	76	3.8	49	3.8	66	4.0	59	4.6	48
	100—120	4.8	53	3.9	60	4.5	59	4.6	44	4.6	43	3.4	47

其中,采样点表层土壤含水量的变异系数略大,说明 0—20 cm 的土壤含水量变化剧烈。所以,普遍认为表层土壤含水量变化对降水最为敏感,蒸发强

烈,该层也是物根系分布的密集层,使得表层土壤水分变异系数一般较大<sup>[17]</sup>。4—9月,夹河乡、苏武乡和双茨科乡胡杨林下在 0—20 cm 土层土壤水分的变异

系数最小值均出现在 8 月份,这与土壤水分含量最低相一致,表明表层土壤水分变异程度与温度、蒸发及胡杨蒸腾作用等因素关系密切。各采样点土壤含水量的变异系数在 4 月份总体变化幅度较小,与该月降水比较少而且植物根系活动较弱,温度相对较低有关。双茨科乡胡杨林下各土层土壤含水量的变异系数总体小于夹河乡和苏武乡,说明该样点土壤水分含量的情况比其它 2 个样区略为稳定。

### 3.4 土壤含水量的空间变异函数分析

以 6 月份土壤水分空间变异的半方差特征参数为例来反映土壤水分空间变异性(表 3)。

表 3 土壤水分空间变异的半方差特征参数

样区	土层深度/cm	模型	块金值 $C_0$	基台值 $C+C_0$	变程/m	决定系数 $R^2$
夹河乡	0—20	高斯	0.24	0.48	20.68	0.77
	20—40	指数	0.22	0.34	15.24	0.62
	40—60	高斯	0.21	0.43	24.26	0.65
	60—80	指数	0.28	0.47	39.86	0.68
	80—100	球状	0.15	0.31	40.71	0.71
	100—120	球状	0.18	0.39	45.62	0.85
苏武乡	0—20	指数	0.32	0.43	33.85	0.67
	20—40	指数	0.30	0.41	20.01	0.61
	40—60	球状	0.31	0.45	30.95	0.81
	60—80	球状	0.29	0.48	35.45	0.72
	80—100	球状	0.23	0.43	37.98	0.79
	100—120	球状	0.23	0.47	45.75	0.78
双茨科乡	0—20	指数	0.32	0.53	19.53	0.59
	20—40	指数	0.23	0.55	20.11	0.58
	40—60	指数	0.27	0.64	27.54	0.61
	60—80	高斯	0.24	0.51	30.80	0.63
	80—100	球状	0.21	0.55	33.91	0.79
	100—120	球状	0.22	0.60	41.38	0.69

结构方差比比值大于 0.75,说明系统具有强烈的空间相关性,如果比值在 0.25~0.75 之间,表明系统具有中等的空间相关性,小于 0.25,则说明系统空间相关性很弱<sup>[22]</sup>。夹河乡,苏武乡和双茨科乡的结构方差比范围分别在 46%~65%,48%~74%和 36%~61%,总体表现出中等程度的空间相关性,其中苏武乡各土层的拟合以球状模型为主,说明变异函数模型较好地反映该样点土壤水分的空间结构特性。夹河乡样地各土层拟合模型略为复杂,表明其没有很好地反映其土壤水分的空间结构特性。基台值通常表示系统属性或区域化变量的最大变异,基台值越大表示总的空间变异程度越高<sup>[23]</sup>。当变异函数达到基台值时的空间距离称为变程,变程表示空间变异性的

尺度,在变程范围内,空间自相关存在,在变程之外,空间自相关消失。研究区的基台值在 0.31~0.64 之间,其中,双茨科乡最大而夹河乡的最小,且基台值和变程的变化相对一致,主要因为不同的胡杨林对土壤水分的影响大小不同;夹河乡,苏武乡和双茨科乡样区在 0—40 cm 土层的基台值较小,说明土壤含水量相对均匀。采样点土壤空间异质性从 0—20 cm 到 100—120 cm 土层呈增强趋势,表土的块金值较大,与人为干扰密不可分,土壤水分变异的尺度效应反映样地受胡杨树、土壤、人为干扰以及微地貌等复杂因素影响。

## 4 结论

(1) 在垂直方向上,苏武乡和双茨科乡胡杨林下土壤水分含量随土层深度增加而增加;夹河乡土壤含水量随土层深度的增加呈先增大后减小的趋势;研究区表层土壤含水量较低,介于 0.85%~3.40% 之间;不同树龄胡杨林下的土壤含水量不同,与胸径呈负相关。

(2) 在胡杨生长季期间,研究区土壤含水量的变化总体表现为:春季>秋季>夏季。

(3) 由土壤水分含量的变异系数可以看出,采样点土壤含水量的变异性属于中强度变异,且随土层深度的增加呈先增大后减小的趋势。

(4) 结构方差比表明,研究区土壤水分异质性为中等程度的空间相关性,土壤空间异质性从上到下呈逐渐增强,苏武乡样地变异函数模型拟合效果最为理想。

(5) 民勤县天然胡杨林下土壤水分含量介于 0.85%~4.80% 之间,同额济纳三角洲<sup>[7]</sup>及宁夏回族自治区沙湖地区相比<sup>[24]</sup>,该区的土壤含水量相对较少。因此,合理开发利用民勤绿洲水资源,走可持续发展道路,对于改善胡杨生境、防止土地荒漠化和生态恢复显得尤为重要。

致谢:感谢研究生张克新、卓玛兰草、安建科、张平及本科生杨泉、王作栋、苏有才在野外采样和实验过程中给予的大力帮助。

### [参 考 文 献]

- [1] 李禄军. 绿洲—荒漠交错带生态垫覆盖下沙丘土壤水分动态及预测[D]. 甘肃 兰州:甘肃农业大学,2007.
- [2] Rodriguez I I, Porporato A. Ecohydrology of Water Controlled Ecosystems: Soil Moisture and Plant Dynamics[M]. London: Cambridge University Press,2005.
- [3] 豪树奇. 额济纳绿洲土壤水分状况的研究[D]. 内蒙古

- 呼和浩特:内蒙古农业大学,2005.
- [4] Kizito F, Dragila M, Sene M. Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs co-existing with Pearl millet in Senegal, West Africa[J]. *Journal of Arid Environments*, 2006,67(5):436-455.
- [5] Kai S, Karl H F, Janet H. A novel approach in model-based mapping of soil water conditions at forest sites [J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 72(8): 2163-2174.
- [6] Liang Zongsuo, Yang Jianwei, Shao Hongbo, et al. Investigation on water consumption characteristics and water use efficiency of poplar under soil water deficits on the Loess Plateau[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2006,53(5):23-28.
- [7] 周茅先,肖洪浪,罗芳,等. 额济纳三角洲地下水水盐特征与植被生长的相关研究[J]. *中国沙漠*, 2004, 24(4): 431-436.
- [8] 刘蔚,王涛,苏永红,等. 黑河下游土壤和地下水盐分特征分析[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(6): 890-898.
- [9] 阎顺国,沈禹颖,朱兴运,等. 河西走廊盐化草甸植被分布演替与土壤水盐的关系[J]. *草业学报*, 1994, 3(3): 16-21.
- [10] 曹帮华,吴丽云,宋爱云,等. 滨海盐碱地刺槐(*Robinia pseudoacacia*)混交林土壤水盐动态[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 939-945.
- [11] 孙涛,王继和,刘虎俊,等. 民勤绿洲生态环境现状及恢复对策[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(7): 245-251.
- [12] 蒲卫晖. 甘肃民勤生态状况调查与分析[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(5): 514-518.
- [13] 朱建军,谢登科. 总理的十一次牵挂[N]. *人民日报*, 2006-03-12(2).
- [14] 魏怀东,徐先英,丁峰,等. 民勤绿洲土地荒漠化动态监测[J]. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(10): 12-17.
- [15] 甘肃省农村年鉴编委会. *甘肃省农村年鉴*[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [16] 徐建华. *现代地理学中的研究方法*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [17] 王改改,魏朝富,吕家格,等. 四川盆地丘陵区土壤水分空间变异及其时间稳定性分析[J]. *山地学报*, 2009, 27(2): 211-216.
- [18] 霍华丽,刘普幸,张克新,等. 瓜州绿洲胡杨林下土壤水分空间特征研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(2): 151-155.
- [19] 张克新,刘普幸,霍华丽,等. 河西走廊敦煌绿洲天然胡杨林土壤水分空间变化特征研究[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 109-113.
- [20] 魏庆莒,胡杨[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990: 15-37.
- [21] 陈亮,马金辉,冯兆东,等. 基于 GIS 和统计的民勤绿洲地下水位模拟[J]. *兰州大学学报*, 2009, 45(16): 21-27.
- [22] 刘苑秋,郭圣茂,王红胜,等. 石灰岩红壤区四种人工林旱季土壤水分的空间变异[J]. *土壤学报*, 2010, 47(2): 229-231.
- [23] 秦鱼生,涂仕华,冯文强,等. 基于地统计学和 GIS 的土壤速效养分空间变异研究: 以四川盆地两个自然村为例[J]. *山地学报*, 2006, 24(3): 153-160.
- [24] 王珺,刘茂松,盛晟,等. 干旱区植物群落土壤水盐及根系生物量的空间分布格局[J]. *生态学报*, 2008, 28(9): 4121-4127.

## 欢迎订阅 2013 年《中国水土保持》杂志

《中国水土保持》是水利部主管,黄河水利委员会主办的全国性水土保持业务与技术综合性期刊,中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊,《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊,全国水利系统优秀科技期刊,河南省第一届自然科学二十佳期刊。本刊紧密围绕全国水土保持中心工作,贯彻水土保持方针政策,报道水土保持科技成果,推广生态建设经验,剖析监督执法案例,介绍开发建设项目生态恢复技术,探讨水土保持监测方法,普及水土保持基础知识,提供水土保持动态信息。32 年来,本刊形成了融政策性、技术性、新闻性和实用性为一体的独特风格,开设了 20 多个栏目,深受读者欢迎。读者对象为从事水土保持管理、规划、设计、施工与科研的业务人员,有关农、林、水、牧、地理、生态行业的管理者与科研、教学人员,以及关心我国水土保持生态建设的社会各界人士。

本刊为大 16 开,每月 5 日在郑州出版,每册定价 9.00 元,全年定价 108.00 元。本刊为杂志社自办发行(请直接汇款到杂志社),订阅款可信汇也可邮汇。

信汇开户行:郑州交行政二街支行;

账号:411060200010149028852;

收款人:《中国水土保持》杂志社;

联系电话:0371-66022619;

E-mail:swcc2000@sina.com;

银行户名:黄河水利委员会新闻宣传出版中心

邮汇地址:郑州市金水路 11 号

邮编:450003

传真:0371-66022338

投稿网址: <http://zgsb.cbpt.cnki.net>