

# 甘肃省金塔县天然胡杨林土壤含水量空间变化特征研究

王洪岩, 刘普幸, 曹立国, 卓玛兰草

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

**摘 要:**土壤含水量是制约植物生长的主要因子之一。运用变异系数和 ArcGIS 中反距离权重法插值对金塔县金塔绿洲和鼎新绿洲天然胡杨林土壤含水量的空间变化规律进行研究。结果表明:金塔县金塔绿洲和鼎新绿洲天然胡杨林土壤含水量垂直变化趋势表现为,除双城(SCCD)土壤含水量随深度增加而呈增加趋势外,其它各点土壤含水量 0—60 cm 呈减少趋势,在 60—120 cm 深度火烧(HSCD)与拐坝林场(GBLC)两样点土壤含水量继续缓慢减少,大庄子(DZZC)、五星(WXCD)、牛头湾(NTWC)、西红(XHCD)土壤含水量呈现增加趋势,且双城(SCCD)土壤含水量最大。各层土壤水分变异系数差异明显,且随深度增加而增大。土壤含水量越大,胡杨长势越好。各土层土壤水分含量水平空间分布大体呈自西向东逐渐增加的趋势,这与北大河和黑河流域地貌格局有关,各土层土壤含水量水平空间分布随离水源地距离的增加而降低。

**关键词:**金塔; 天然胡杨林; 土壤含水量; 空间变化

中图分类号:S715.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)01-0051-05

## Study on Spatail Variation of Soil Moisture in Natural *Populus euphratica* Forest Stand in Jinta County, Gansu Province

WANG Hong-yan, LIU Pu-xing, CAO Li-guo, ZHUO Malancao

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

**Abstract:** The soil water was one of the factors restricting the growth of plants. The paper analyzed the spatial variation of soil water of natural *Populus euphratica* forest stand in Jinta County, Gansu Province by using the methods of coefficient of variation( $C_v$ ) and ArcGIS (Inverse Distance Weighted, IDW) interpolation. Soil water in SCCD decreased with the soil depth increasing. The soil water in the other 6 sample areas in the 0—60 cm layer decreased. In the 60—120 cm soil layer, the soil water in HSCD and GBLC layer kept on decreasing, while in DZZC, WXCD, NTWC, XHCD, the soil water started to increase. The average soil water in SCCD was the largest. The coefficient of variation of the soil water was obviously different in each layer and became larger with the increase of depth. The *Populus euphratica* grew better as the soil water increased. The soil water of horizontal direction in profile presented the similar characteristics of increase from west to east. This change was related with the topographical features of Beida river and Heihe river basin. The soil water along the horizontal direction in profile decreased with the distance away from water source.

**Key words:** Jinta County of Gansu Province; natural *Populous euphratica* forest stand; soil water content; spatial variability

土壤水分是气候、植被、地形及土壤因素等自然条件的综合反映,是干旱、半干旱地区生态系统和植被建设的基础。在干旱、半干旱地区由于降水稀少,且季节分配不均匀,蒸发强烈,导致土壤水分含量是该区植物生长和植被恢复的主要限制因子,所以土壤

水分含量动态研究一直是该地区植被土壤水分含量的研究重点之一。土壤水分时空动态变化主要受降水、植被、地下水位以及地表覆盖等因素的影响<sup>[1-7]</sup>。已有的研究表明,土壤水分随植被盖度增大而减小<sup>[1]</sup>,并与植被的时空分布具有同步性<sup>[2]</sup>;生态垫能

收稿日期:2011-05-13

修回日期:2011-06-09

资助项目:国家自然科学基金项目(40961035)

作者简介:王洪岩(1985—),女,河北沧州人,硕士研究生,研究方向为干旱区域环境与绿洲建设。E-mail:nashenwhy@163.com

通信作者:刘普幸(1964—),女,山西平遥人,教授,博士,研究方向为干旱区域环境与绿洲建设、树轮水文学。E-mail:fmlpx@nwnu.edu.cn

有效地保持沙丘土壤水分<sup>[3]</sup>;愈靠近绿洲,土壤含水量也愈高,而随着与绿洲距离的逐渐拉大,其深层含水量增加、各土层之间的含水量差值也在逐步增大<sup>[4]</sup>;潜水蒸发对土壤水的补给作用越强,剖面水分条件越好<sup>[5]</sup>;胡杨林土壤含水量明显低于沙枣林、怪柳林的土壤含水量<sup>[6]</sup>。这些研究对认识干旱区、半干旱区不同植物土壤水分的动态变化状况提供了基础。而对于天然胡杨林下土壤水分的研究,目前研究很少<sup>[8-9]</sup>。胡杨是干旱荒漠区内天然分布的唯一乔木树种,耐盐碱、抗干旱、防风沙,具有维护分布区内生态平衡,保障绿洲农牧业生产和为居民生活提供用材等作用。自 20 世纪 50 年代来,由于人类干扰活动加剧,胡杨林生长的水环境严重恶化,胡杨林分布面积迅速减少,胡杨林呈衰败之势<sup>[10]</sup>。鉴于此,本文通过野外采样、实验室水分测定和资料收集,运用统计学方法和 ArcGIS 技术,对金塔县天然胡杨林土壤水分含量的空间分异规律进行研究,以期揭示金塔县天然胡杨林土壤水分含量的空间分异特征,为天然胡杨林的保护和生态恢复提供科学依据。

## 1 研究区概况与方法

### 1.1 研究区概况

金塔县地处黑河流域中下游,河西走廊中部北侧,巴丹吉林沙漠边缘,介于东经  $98^{\circ}07'$ — $100^{\circ}20'$ 、北纬  $39^{\circ}47'$ — $40^{\circ}59'$ ,海拔多在  $1\,400\sim 1\,900\text{ m}$ 。东北以合黎山与高台县为界,西和玉门市毗邻,南至夹山与酒泉市肃州区、嘉峪关市接壤,北至内蒙古额济纳旗。境内东西长  $180\text{ km}$ ,南北宽  $120\text{ km}$ ,总面积  $1.88\text{ 万 km}^2$ ,其中绿洲面积约  $0.17\text{ 万 km}^2$ ,占总面积的  $9.0\%$ ,包括金塔绿洲(鸳鸯灌区)和鼎新绿洲(黑河灌区)。其中,金塔绿洲是讨赖河下游的冲积三角洲,北宽南窄,呈典型的倒三角形分布,其水源主要来自讨赖河下游的鸳鸯池水库,绿洲内多为洪积冲积物组成,洼地缓岗相间,零星半固定沙丘和流动沙丘与农田交错分布。地势由西南向东北倾斜。鼎新绿洲属黑河冲积阶地,以冲积物为主,是典型的沿河绿洲,各种景观均沿河分布。北部属马鬃山东南部低山地带,中南部的北大河冲积扇和东部黑河两岸是金塔绿洲和鼎新绿洲;黑河东岸属巴丹吉林沙漠边缘,有沙丘分布;金塔绿洲西北和北山山地以南为戈壁分布地带,金塔绿洲和黑河之间在北大河古道两侧也有戈壁和沙丘分布。金塔县深居西北内陆,气候干燥,降水量少,蒸发量大,冬季寒冷,夏季酷热,四季分明,气温年较差、日较差大,属典型的温带大陆性气候。年平均气温  $8^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量  $59.5\text{ mm}$ 。年平均日照

总时数高达  $3\,300\text{ h}$ ,年平均蒸发量  $2\,538.6\text{ mm}$ 。光热资源丰富,平均太阳辐射总量  $153\text{ kJ/cm}^2$ ,无霜期  $140\sim 150\text{ d}$ 。天然植被主要有耐盐碱、耐干旱的梭梭、红柳、泡泡刺、膜果麻黄、胡杨、合头草、沙拐枣、沙蒿、盐爪爪等。绿洲内土壤土质优良,以灌淤土(绿洲灌溉耕作土)、潮土(草甸土)、风沙土等为主,绿洲外围则为典型灰棕漠土。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样本采集 经过实地考察与调研,在金塔县选取胡杨林生长较为密集、面积较大且很少受人为活动影响的天然胡杨林区,于 2010 年 9 月采取土样。采样地点分别为五星(WXCD),大庄子(DZZC),牛头湾(NTWC),西红(XHCD),火烧(HSCD),双城(SC-CD)以及拐坝林场(GBLC)。在每个采样点内分别设置 18 个小采样点。参考一般盐渍化土壤研究的采样深度为  $1\text{ m}$  左右的标准<sup>[11]</sup>,将本研究土壤样品的取样深度确定为  $1.2\text{ m}$ 。应用土钻分层取样,以  $20\text{ cm}$  为一层,分别取  $0\sim 20, 20\sim 40, 40\sim 60, 60\sim 80, 80\sim 100, 100\sim 120\text{ cm}$  不同深度的土样,用铝盒封存,及时带回实验室用烘干法测定土壤水分含量。

1.2.2 地统计分析与反距离插值方法 本文采用变异系数( $C_v$ )反映土壤含水量空间变异性的<sup>[12]</sup>。按一般对变异系数的评估,当  $C_v\leq 10\%$  时为弱变异性,当  $10\%<C_v\leq 100\%$  时为中等变异,当  $C_v$  大于 1 时为强变异性。由于变异函数的计算一般要求数据符合正态分布或近似正态分布,否则可能存在比例效应。对各样地各层土壤含水量运用 Kolmogorow-Smirnov 法进行正态检验( $p<0.05, 2\text{-tailed}$ )。如果不服从正态分布,经对数转换后呈正态分布,变异函数计算采用的数据为对数转化后的数据<sup>[13]</sup>。

利用 ArcGIS 中地统计学方法中的反距离加权(Inverse Distance Weighted)插值法,以 7 个采样点不同土壤层的土壤含水量作为参数,绘制各层土壤含水量的水平空间拟合分布图。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤含水量的垂直分布特征

从研究区采样点土壤含水量随深度的变化(图 1)可以看出,  $0\sim 120\text{ cm}$  土壤深度平均土壤含水量,SCCD 值最大,达到  $10.7\%$ 。其次是 DZZC, GBLC 和 XHCD,分别为  $5.0\%, 4.9\%, 4.7\%$ ,五星的平均土壤含水量不足  $4\%$ ,平均土壤含水量最低的为 NTWC 和 HSCD,分别为  $2.8\%, 2.7\%$ ,不足  $3\%$ 。除 SCCD 外,其它各点土壤含水量较低。这主要是由于 7 个采样点主要分布于由北大河和黑河构成的三角

区内的河成阶地或古河床上,由于上游人工截流,使胡杨生境内水文条件发生改变,又加之干旱、空气干燥、多大风、蒸发强烈等因素导致土壤含水量较少<sup>[14]</sup>。

土壤含水量在垂直空间上具有一定的动态特征。除了 SCCD 土壤含水量随深度增加而呈增加趋势外,其他各点土壤含水量随着深度的增加土壤含水量呈先减少后增加的趋势。通常情况下,表层土壤受大风、强蒸发以及植物蒸腾作用的影响,水分含量较低。而本研究区在采样前受到降水影响,各个样地 0—20 cm 土壤水分含量偏大,介于 4.2%~8.6%。由表层向下至 120 cm,SCCD 土壤含水量一直呈增加趋势,由表层的 6.8%增加到 14.5%。这可能是由于 SCCD 距黑河较近,且采样地周边有一小湖泊,土壤水分含量大。而由表层至 60 cm 深度,HSCD,GBLC,DZZC,WXCD,NTWC,XHCD 共 6 个采样点的土壤含水量都呈减少的趋势,变化幅度较大。在 60—120 cm,HSCD 与 GBLC 两样点土壤含水量继续呈缓慢减少趋势,在 100—120 cm 分别降低到 1.3%,3.1%。而 DZZC,WXCD,NTWC,XHCD 四样点以 40—60 cm 深度为转折点,在 60—120 cm 深度土壤含水量呈缓慢增加趋势,在 100—120 cm 分别达到 5.5%,4.8%,2.9%,6.1%,但含水量值都小于表层土壤含水量。尤其是牛头湾和火烧两地,位于金塔绿洲流沙上,整体含水量较小。

DZZC,WXCD,NTWC,XHCD 四样点土壤含

水量曲线呈现出类似“<”形状,形成明显浅层土壤干层。胡杨的主根通常在 70—80 cm 土层之间,最深 1 m 左右,胡杨的水平根系或须根系主要分布于 30~80 cm 土层范围内<sup>[15]</sup>。植被为维持其正常的生长必然要通过根系吸收土壤内部的水分,在连续干旱条件下,被吸收的水分得不到补偿,最终导致土壤干化,形成浅层土壤干层<sup>[16]</sup>。另外,不同林龄和有无地被物也会影响土壤含水量的变化<sup>[6]</sup>。

经 Kolmogorow—Smirnov 法进行正态检验,不同样地土壤水分含量服从正态分布,满足地统计学分析的要求。由表 1 可以看出,在土壤垂直剖面,不同样地土壤水分含量的变异系数表现一定的规律性。土壤水分含量的变异系数随土壤深度的增加呈增加趋势。各层土壤含水量变异系数差异明显,变化范围为 16.5%~100.3%。除 XHCD 在 100—120 cm 土层深度出现强变异性外,其余各样地各层土壤含水量变异系数呈中等变异性。各点各层变异系数均值中,GBLC 变异系数最大,WXCD 最小。

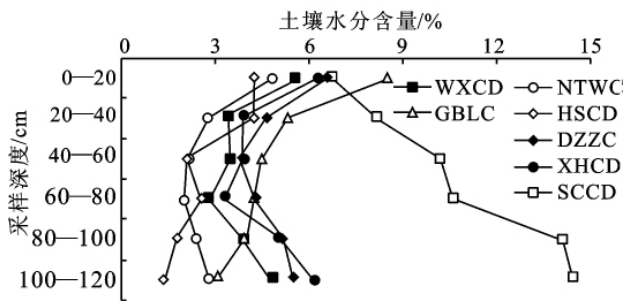


图 1 土壤含水量随深度的变化

表 1 不同样地土壤水分含量的变异系数

深度/cm	HSCD	SCCD	GBLC	DZZC	WXCD	NTWC	XHCD
0—20	28.9	49.5	53.1	54.5	18.3	22.3	49.0
20—40	39.1	47.5	70.7	51.7	16.5	51.8	50.9
40—60	68.1	62.0	70.1	76.1	24.8	61.6	51.5
60—80	96.1	54.0	95.6	77.0	35.6	48.5	67.3
80—100	73.8	52.4	99.1	80.5	30.5	74.4	87.6
100—120	53.9	39.0	97.5	73.2	30.2	89.9	100.3

2.2 土壤含水量与胡杨胸径分析

由表 2 看出,各个样地胡杨的胸径平均值为 9.86~28.74 cm,胸径值由大到小依次为 NTWC>SCCD>DZZC>WXCD>HSCD>GBLC>XHCD。在 XHCD,SCCD,DZZC,GBLC 四样地中,土壤含水量较大,均大于 4%,胡杨长势较好,随着土壤平均含水量的增大,胡杨的胸径也明显增加。而在 WXCD,

HSCD,NTWC 三样地中,土壤含水量较小,均不足 4%,胸径较大,胡杨长势呈衰退趋势。根据胡杨的生长阶段以及胸径的大小,可将 WXCD,HSCD,NTWC 三样地胡杨视为成熟林<sup>[17]</sup>。成熟林的根系比其它林发达,根系越发达,吸收地下水进行蒸腾的能力也就越强<sup>[18]</sup>。耗水量急剧增大导致土壤含水量下降,由于土壤水分的降低又导致了胡杨林的衰退。

表 2 不同样地胡杨胸径

项目	XHCD	WXCD	SCCD	DZZC	HSCD	NTWC	GBLC
土壤含水量/%	4.7	3.9	10.7	5.0	2.7	2.8	4.9
胸径/cm	9.9	18.96	27.4	24.4	16.2	28.7	12.4
长势	长势较好,幼龄树较多	枯梢衰退	长势较好	长势较好	枯梢衰退	枯梢衰退	长势良好

### 2.3 土壤含水量的水平空间分布特征

由图 2 中可以看出,各土层土壤含水量的分布在水平空间分布格局上存在较强的相似性。土壤含水量大体上呈西低东高的趋势。除 60—80 cm 土层土壤含水量呈明显的自西向东增加的趋势外,其余各土层土壤含水量呈自 NTWC 和 SCCD 分别向西、东逐渐增加的趋势。0—20 cm,土壤含水量最大值出现在 GBLC;20—120 cm 各土层,土壤含水量最大值出现在 SCCD。NTWC 和 SCCD 两样地各土层土壤含水量值均低于其它各样地。这可能是由于 NTWC 与 HSCD 位于绿洲边缘,是鸳鸯池灌区的边缘地带,距离水源较远。各土层土壤含水量水平空间分布格局

的中间地带出现类似“V”型低值区,由表层至 120 cm 土壤含水量分别为 0.042~0.049,0.027~0.036,0.019~0.033,0.019~0.033,0.017~0.038,0.013~0.035,此区位于金塔绿洲西北倒三角形的边缘,沙化严重,胡杨多为中龄或过熟林,林下植被稀少。位于黑河沿岸鼎新绿洲的 SCCD 与 GBLC 各土层土壤含水量都较大,而西部的金塔绿洲各样地各土层土壤含水量较低,所占面积也较大。这有可能是 SCCD 与 GBLC 距离黑河较近,且附近有北河湾上水库与芨芨水库,距离水源较近,地下水能够得到足够的补给。各土层土壤含水量水平空间分布格局中,土壤含水量随离水源地距离的增加而降低。

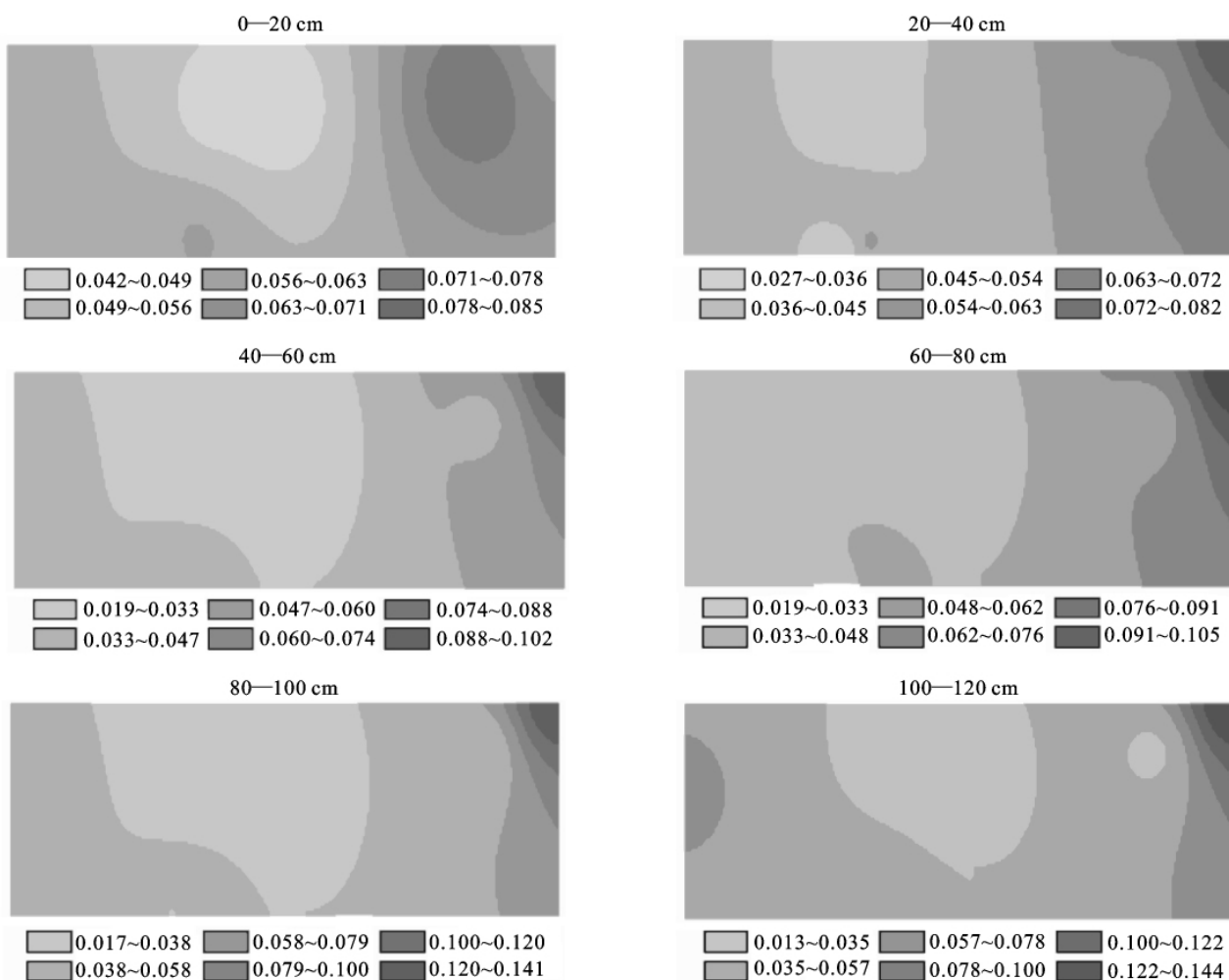


图 2 不同深度土壤含水量的空间插值拟合分布

## 3 结论

(1)土壤含水量在垂直空间上具有一定的动态特征。除 SCCD 土壤含水量随深度增加而呈增加趋势外,其它各点土壤含水量大体上随着深度的增加,呈先减少后增加趋势。除 SCCD 平均土壤含水量大于 10%以外,其它各点平均土壤含水量较低。平均土壤

水分含量  $SCCD > DZZC > GBLC > XHCD > WXCD > NTWC > HSCD$ 。

(2)不同深度的土壤含水量的变异系数有明显的差异,且随土壤深度的增加而增加。

(3)XHCD,SCCD,DZZC,GBLC 四样地,随着土壤平均含水量的增大胡杨的胸径也明显增加,胡杨长势较好;WXCD,HSCD,NTWC 三样地中,土壤含水

量较小,胸径较大,胡杨长势呈衰退趋势。

(4)分析不同深度土壤含水量的水平空间分布格局得出,各土层含水量在水平空间分布上存在明显的空间差异,各层在大体上呈自西向东逐渐增加的趋势。鼎新绿洲各土层土壤含水量值高于金塔绿洲。各土层土壤含水量水平空间分布随离水源地距离的增加而降低。

致谢:感谢研究生安建科、张平、朱小娟、赵敏丽以及本科生王允、杨泉、王作栋、苏有才等人参与野外采样。

#### 参考文献:

- [1] 常学向,赵爱芬,赵文智,等.黑河中游荒漠绿洲区免灌植被土壤水分状况[J].水土保持学报,2003,17(2):126-129.
- [2] 马晓东,李卫红,朱成刚,等.塔里木河下游土壤水分与植被时空变化特征[J].生态学报,2010,30(15):4035-4045.
- [3] 李禄军,蒋志荣,车克钧,等.绿洲—荒漠交错带不同沙丘土壤水分时空动态变化规律[J].水土保持学报,2007,21(1):123-127.
- [4] 贾宝全,慈龙骏,蔡体久,等.绿洲—荒漠交错带土壤水分变化特征初步研究[J].植物生态学报,2002,26(2):203-208.
- [5] 马海艳,龚家栋,王根绪,等.干旱区不同荒漠植被土壤水分的时空变化特征分析[J].水土保持研究,2005,12(6):231-234.
- [6] 萨如拉,豪树奇,张秋良,等.额济纳胡杨林土壤含水量时空变化的研究[J].林业资源管理,2006(1):59-62.
- [7] 席海洋,冯起,司建华,等.额济纳绿洲不同植被覆盖下土壤特性的时空变化[J].中国沙漠,2011,31(1):68-75.
- [8] 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):152-155.
- [9] 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.
- [10] 康向阳.甘肃胡杨恢复发展的限制因子及对策[J].中国沙漠,1997,17(1):53-57.
- [11] 肖德安,王世杰.土壤水研究进展与方向评述[J].生态环境学报,2009,18(3):1182-1188.
- [12] 张正铎.空间变异理论与应用[M].北京:科学出版社,2005.
- [13] 杨劲松,姚荣江.黄河三角洲地区土壤水盐空间变异特征研究[J].地理科学,2007,27(3):348-353.
- [14] 孙雪新,康向阳,李毅,等.甘肃省胡杨资源现状及发展[J].自然资源,1992(4):51-56.
- [15] 魏庆苒.胡杨[M].北京:中国林业出版社,1990:1-17.
- [16] 莫保儒,蔡国军,赵廷宁,等.甘肃半干旱黄土丘陵沟壑区人工植被土壤水分研究[J].水土保持研究,2009,16(6):125-128.
- [17] 叶茂,徐海量,龚君君,等.不同胸径胡杨径向生长的合理生态水位研究[J].地理科学,2011,31(2):172-177.
- [18] 张秋岭.额济纳绿洲胡杨林群落特征与土壤水分的关系[D].北京:北京林业大学,2008.

(上接第50页)

## 4 结论

(1)土壤的比容和压力变化曲线可用幂函数关系描述。在相同压力下,随着生物炭含量的增加,土壤比容增大,土壤收缩程度减小。

(2)添加生物炭的土壤,其收缩特征变化可以用三直线模型描述。伪饱和段和结构段的土壤特征值随生物炭含量增加而减小,超正常段的土壤特征值随生物炭含量增加而增大。不同生物炭粒径对土壤收缩特征值变化的影响不显著。

(3)土壤中添加生物炭能有效降低土壤干燥过程中的收缩程度,改善土壤结构,提高土壤持水性能。

#### 参考文献:

- [1] Antal M J, Gronli M. The art, science and technology of charcoal production[J]. Industrial and Engineering Chemistry,2003,42:1619-1640.
- [2] Forbes M S, Raison R J, Skjemstad J O. Formation, transformation and transport of black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems[J]. Science of the Total Environment,2006,370:190-206.
- [3] Lehmann J. A handful of carbon[J]. Nature,2007,443:143-144.
- [4] 吕殿青,邵明安.土壤干湿收缩特征研究进展[J].土壤通报,2003,34(3):225-228.
- [5] Mitchell A R, Van Genuchten M T. Shrinkage of bare and cultivated soil[J]. Soil Sci. Soc. Am. J.,1992,56:1036-1042.
- [6] McGarry D, Malafant K W J. The analysis of volume change in unconfined unite of soil[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1987,51:290-297.
- [7] 邵明安,吕殿青.土壤收缩特征曲线的实验研究[J].土壤学报,2003,40(3):471-474.
- [8] 吕殿青,王宏,王玲.离心机法测定持水特征中的土壤收缩变化研究[J].水土保持学报,2010,24(3):209-212.