

科尔沁地区不同类型沙地土壤水分变化分析

李衍青^{1,2}, 张铜会¹, 刘新平¹, 童勋章^{1,2}, 唐霞^{1,2}, 连杰^{1,2}

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 于 2005—2008 年 5—9 月, 利用中子水分仪对科尔沁沙地的流动沙丘、固定沙丘和沙质草地的不同深度(0—160 cm)的土壤水分进行了为期 4 a 的定期观测。采用方差分析和多重比较等方法, 并采用变异系数对土壤水分的时空变异进行了分析。结果表明, 可将土壤水分剖面的变化划分为 3 层: 土壤水分剧变层(0—40 cm), 稳定层(41—130 cm), 活跃层(131—160 cm)。在 0—40 cm 土壤层, 3 种类型沙地土壤水分表现为随深度增加而增加, 在 41—130 cm 土壤层则随深度增加而减小, 而在 131—160 cm 土壤层流动沙丘表现为继续减小, 但其它两种沙地的土壤水分则随深度增加而增加。同时土壤水分变异系数表现为: 流动沙丘 > 固定沙丘 > 沙质草地。土壤水分在不同月份的变化表现为: 7 月 > 8 月 > 6 月 > 9 月 > 5 月, 各月之间总体上差异性显著; 各类型沙地土壤水分的年变化为: 固定沙丘总体表现出逐年减小的趋势, 沙质草地有变化但差异不大, 而流动沙丘则随降雨的变化而变化。

关键词: 沙地; 土壤水分; 变化格局; 科尔沁沙地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0031-05

中图分类号: S152.7

Change Pattern of Soil Water Content in Different Dunes and Grassland in Horqin Sandy Land

LI Yan-qing^{1,2}, ZHANG Tong-hui¹, LIU Xin-ping¹, TONG Xun-zhang^{1,2}, TANG Xia^{1,2}, LIAN Jie^{1,2}

(1. *Research Institute of Cold and Arid Regions Environment and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Soil water content in 0—160 cm layers in mobile dune, fixed dune, and sandy grassland was monitored regularly in situ with neutron probe (CNC100, Beijing) from 2005 to 2008. The relationships between soil moisture and environmental factors were analyzed with multiple comparison and ANOVA. Results showed that three layers can be identified according to the vertical changes of soil water content in each site. They were drastic change layer (0—40 cm), relative stable layer (41—130 cm), and activity layer (131—160 cm). Soil water content was increased with the increase of sample depth in layer of 0—40 cm, but decreased in layer of 41—130 cm in all sites. However, soil water content was decreased continuously with the increase of sample depth in layer of 131—160 cm in mobile dune only, but increased in other sites. By the coefficient variation of soil water content, landscape units presented the order of mobile dune > fixed dune > sandy grassland. There was a significant difference in soil water content in all sites in each month and by soil water content, months have the order of July > August > June > May > September. Variation of soil water content between years showed that there were a decreasing trend in fixed dune, a bit of difference in sandy grassland, and a complex pattern in mobile dune as affected directly by rainfall.

Keywords: sand dune; soil water content; change pattern; Horqin sandy land

水分是影响干旱、半干旱地区植被分布的重要环境因子之一。土壤水分的变化又是长期限制植物种类和数量的主要因素, 因此, 土壤水分动态对植被 -

土壤系统的演化具有重要的作用^[1]。在科尔沁沙地, 降雨几乎是这里惟一的水分来源, 降雨特征和土壤水分动态直接影响着天然植被的生长和退化生态系统

收稿日期: 2009-10-12

修回日期: 2009-12-16

资助项目: 国家重点基础研究发展计划及课题“荒漠化水、土、气、生过程及其相互作用机制的研究”(2009CB421303); 国家自然科学基金“半干旱沙地沙丘地下水补给功能比较研究”(40871004); 国家自然科学基金项目“降雨在沙地土壤植被系统中的分配与转化”(40801036)

作者简介: 李衍青(1981—), 男(汉族), 山东省高密市人, 硕士研究生, 主要从事干旱区生态水文的研究。E-mail: liyangqing001001@163.com。

的恢复^[2]。土壤水分在时间和空间尺度上影响着整个生态系统相互作用,其含量对于净辐射变为潜热和感热以及降雨变成径流和入渗起到关键作用;同时通过蒸散作用,土壤水分可以为云和降雨提供水分来源;且表层土壤水分可通过陆地—大气的反馈机制对水分的分布进行调控^[3]。

基于土壤水分在生态系统中的重要作用,越来越多地受到学者的关注。大量试验研究表明,土壤水分有较强的时空变异特性^[4]。近些年,对于土壤水分的变异研究从定性转移到定量,研究尺度从田间尺度逐渐过渡到区域尺度,同时对不同尺度上影响土壤水分的关键因素也有深入的研究^[5-6]。

目前,土壤水分时空变异研究主要集中在平原旱地或丘陵地区^[7-8],在生态环境脆弱的科尔沁沙地,虽然土壤水分对当地的地表生态过程非常重要,但在该地区,有关土壤水分的变异的量化研究主要是集中在较小的时空尺度^[9-10]。

本文选择了科尔沁地区的流动沙丘、固定沙丘以及沙质草地 3 种不同类型沙地,连续 4 a 对其进行观测研究,揭示该地区土壤水分的时空变异规律以及其季节分布格局,这不仅能为区域水资源的有效利用奠定基础,而且能为该地区土地生产力评价和沙漠化生态系统的恢复起到重要的指导作用。

1 材料与方法

1.1 自然概况

研究区域位于地处科尔沁沙地腹地的奈曼旗中部,地理位置为 42°58'N, 120°44'E,海拔高度约为 360 m。这里属典型的温带大陆性半干旱气候。多年平均温度 6.1 ~ 6.4 °C,极端最低气温 -29.7 °C,极端最高气温 41 °C,多年平均降水量 366.4 mm,多集中在 6—8 月,年均蒸发量 1972.8 mm。平均风速 3.5 ~ 4.5 m/s,每年风速 > 5 m/s 的天数有 210 ~ 310 d。

这里的地貌类型以流动、半流动沙丘、固定、半固定沙丘、丘间低地和大片开阔的甸子地相间分布为特征。一些起伏平缓的甸子地主要作为放牧草场和旱作农田。这里流动沙丘的相对高度在 3 ~ 10 m,植被覆盖率在 10% 左右;固定沙丘的相对高度一般在 3 ~ 8 m,植被盖度约 40% 左右;沙质草地地势较为平缓,植被盖度可达 50% 以上。沙质草地和固定沙丘的植被主要有糙隐草 (*Cleistogenes squarrosa*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、猪毛菜 (*Salsola collina*)、虫实 (*Corispermum macrocarpum*)、差吧嘎蒿 (*Aritemisia halodendron*)、小叶锦鸡儿 (*Caragada microphlla*)。

1.2 材料与方法

2005 年 5 月,在中国科学院奈曼沙漠化研究站附近选择流动沙丘、固定沙丘和沙质草地。从 2005 年开始到 2008 年结束,每年 5—9 月用中子水分仪,每 10 cm 为一个层次,进行土壤水分测定,每月的 5 号,15 号,25 号测定 3 次,并用传统的烘干法对所得的数据进行标定,计算出平均含水量用于时空变异分析,同期的气象数据由邻近的奈曼沙漠化研究站气象观测站取得,不同样地的植被盖度是用样方法获得(每月选取 10 个样方进行调查)。

1.3 数据分析

应用 Excel 整理数据,然后用 Origin 8.0 绘制图形,并用 Kriging 插值来做土壤水分等值线图;数据分析利用 SPSS13.0 软件,采用 One-Way ANOVA 方差和 LSD 多重比较来分析土壤水分在时间和空间上的差异,并运用 Pearson 相关来判断土壤含水量与降雨的相关性。

2 结果与分析

2.1 研究区降雨量变化

大气降水是科尔沁沙地土壤水分的主要补给来源。降雨的多少直接或间接地反映着土壤水分变化。图 1 反映的是科尔沁沙地 2005—2008 年 5—9 月各月的累积降雨量以及多年的平均降雨量。2005—2008 年,各年的总降雨量分别是 287.8,224.5,315.5 和 201.2 mm,其中 2007 年的降雨比其他年份较大,但比多年平均降雨量 360 mm 还是少很多。总体看来这 4 a 仍属于干旱年份。试验期间,5—9 月份各月的平均降雨量为 33.06,53.98,94.4,55.05 和 18.68 mm,分别与多年 5—9 月的平均降雨量 32.0,67.86,108.66,69.92 和 32.62 mm 相比较而言都比同期月份的少,但降雨的基本格局没有变化,仍是 7 月份降雨明显高于其它月份,5 月和 9 月份降雨量较少。这 4 a 的最大降雨量出现在 2007 年的 7 月份,为 212.6 mm,最小降雨量出现在 2007 年的 6 月份,为 0 mm。

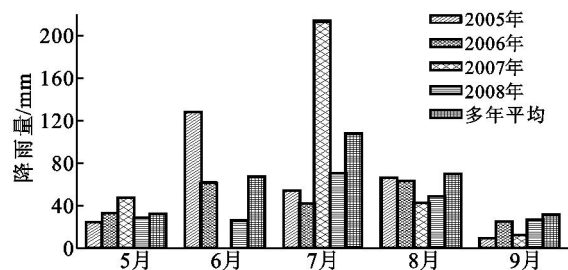


图 1 研究区 4 a 内 5—9 月的降雨量以及多年平均降雨量

2.2 沙地土壤水分含量的剖面空间变化

2.2.1 不同类型沙地的土壤水分变异系数 变异系数 C_v 的大小是反映变量变化范围或者变化幅度大小的指标,一般认为 $C_v < 0.01$ 为弱变异性, $0.01 < C_v < 1$ 为中等变异性, $C_v > 1$ 为强变异性^[11]。根据土壤水分的变异系数(表1)和土壤水分在0—160 cm的变化趋势(图2),可以将土壤剖面水分变化分成3层:0—40, 41—130和131—160 cm。由表1可知,不同类型沙地的各层土壤含水量的平均变异系数依次为:流动沙丘(0.41) > 固定沙丘(0.34) > 沙质草地(0.31),3种类型沙地变异系数处于0.01和1之间,都为中等变异。并且3种沙地0—40 cm表层的变异系数都较大,随着深度的增加变异系数先是变小,到达下层时再变大,同时可看出流动沙丘变异系数大于固定沙丘和沙质草地,这种变异系数的变化间接反应了土壤含水量与降雨、植被以及各自土壤剖面特性的密切相关性。

表1 不同类型沙地土壤含水量变异系数的比较

变异系数	土壤深度			平均
	0—40 cm	41—130 cm	131—160 cm	
流动沙丘	0.43	0.40	0.41	0.41
固定沙丘	0.35	0.30	0.36	0.34
沙质草地	0.42	0.24	0.27	0.31

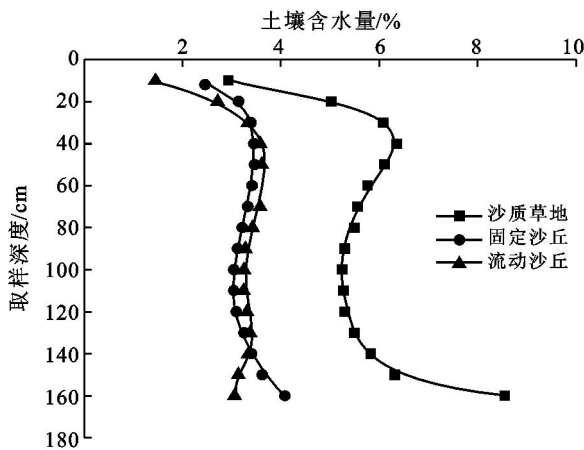


图2 不同类型沙地平均土壤含水量随取样深度的变化

2.2.2 不同沙地类型土壤水分的垂直变化 由图2可以看出,在0—40 cm土层,3种类型沙地的土壤含水量均随土壤深度的增加而增加;在41—130 cm,沙质草地随深度的增加逐渐减小,而流动沙丘和固定沙丘的土壤水分也有随深度减小的趋势,但是变化幅度较小;在131—160 cm土层,固定沙丘和沙质草地的土壤水分随深度的增加而开始增加,流动沙丘水分依然随深度增加而减小。

试验期间,流动沙丘、固定沙丘和沙质草地3种类型沙地在0—40 cm土层4 a平均含水量分别为2.72%, 3.08%和5.10%;在41—130 cm,土壤含水量分别为3.3%, 3.21%和5.51%;在131—160 cm,土壤含水量分别为3.14%, 3.70%和6.90%。方差分析表明不同类型沙地同层之间的土壤水分都存在着显著的差异性(0—40 cm, $F = 51.4$, $P < 0.001$; 41—130 cm, $F = 187.92$, $P < 0.001$; 131—160 cm, $F = 69.7$, $P < 0.001$),多重比较显示同一层沙质草地土壤含水量与流动沙丘和固定沙丘都有显著差异($P < 0.001$ 和 $P < 0.001$)。

将流动沙丘、固定沙丘和沙质草地的0—40, 41—130和131—160 cm土壤含水量分别与降雨在SPSS13.0中做Pearson相关分析,结果表明,在0—40 cm土层,流动沙丘和沙质草地的土壤含水量与降雨有极显著的相关性($R = 0.62$, $P < 0.01$; $R = 0.62$, $P < 0.01$),而固定沙丘与降雨仅是显著相关($R = 0.68$, $P < 0.05$);在41—130和131—160 cm土层,只有流动沙丘的土壤含水量与降雨呈显著相关性($R = 0.71$, $P < 0.01$; $R = 0.63$, $P < 0.01$),而固定沙丘和沙质草地土壤含水量与降雨则不相关,这说明了降雨对土壤水分的影响深度在流动沙丘要大于对其它2种类型沙地。

图3显示的是不同类型沙地在5—9月份土壤水分的克里格插值后的等值线图。从图3中可以看出,流动沙丘土壤水分含量的最大值出现在60—80 cm;而固定沙丘的最大值出现在40—60 cm,沙质草地的最大值出现的位置更浅,大约在30—50 cm,这就说明降雨对流动沙丘土壤水分的影响深度大于对固定沙丘和沙质草地的。结合3种沙地植被盖度大小,可以认为是固定沙丘和沙质草地的植被对降雨的截留,以及固定沙丘和沙质草地的植被生长和结皮发育,影响到了降雨向土壤深层的入渗。另外,从图3还可以看出,固定沙丘和沙质草地土壤水分都有2个峰值,除去上述的外,另一个约在160 cm,而流动沙丘仅有1个峰值。对于固定沙丘和沙质草地的第1个峰值,主要是当年降雨后,雨水入渗所形成的,而第2个峰值可能是由于前一年降雨积累下渗滞后作用的结果,这有待进一步研究验证。

2.3 土壤水分动态变化

2.3.1 不同类型沙地土壤水分月变化 各月的土壤水分监测表明(图4),3种类型沙地在0—160 cm土壤平均含水量总体上都呈现出7月 > 8月 > 6月 > 9月 > 5月的趋势,土壤含水量最低值出现在5月,这主要是因为此时研究区气温已升高、风速依然较大,

但降水比较少,再加上植物已开始生长,土壤水分极易被直接蒸发和植物蒸散所消耗;9月份的土壤水分含量也比较少,主要是受到降雨量减少和前期植物对

水分的消耗影响;最高值出现在7月,主要因为该月降雨最多且最集中,土壤水分含量基本表现为随着降雨量的增加而增加。

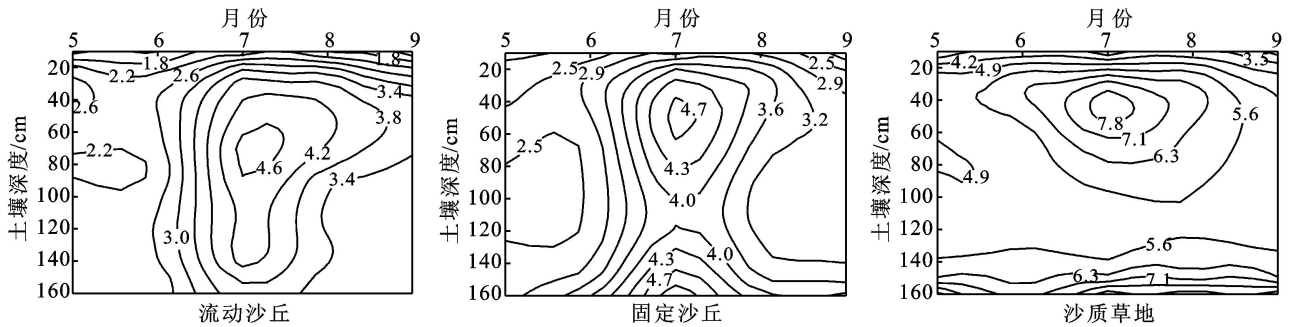


图 3 不同类型沙地土壤水分等值线图

试验期间,沙质草地平均土壤含水量的最大值为 6.24%,最小值为 5.07%;流动沙丘最大和最小值分别为 4.11%和 2.36%;而固定沙丘最大和最小值为 4.37%和 2.50%。

降雨量变化而变化,2005年和2007年的降雨量较大,流动沙丘在这两年的土壤水分含量也较大,而固定沙丘的土壤水分在2007年反而变小,根据吕贻忠等在毛乌素沙地和张继义等在科尔沁沙地的研究表明,固定沙丘其土壤水分有随着其固定年限的增加而逐渐降低的趋势^[12-13],这与他们的研究结果一致。流动沙丘和沙质草地的最大含水量都出现在2007年的7月份,与这个月的出现较大的降雨量(221.6 mm)密切相关。

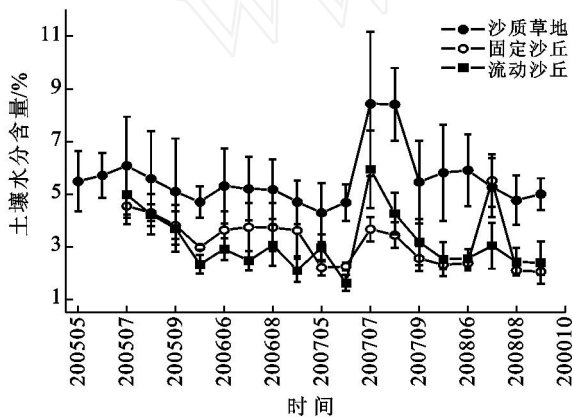


图 4 2005 - 2009 年各月不同类型沙地土壤含水量变化

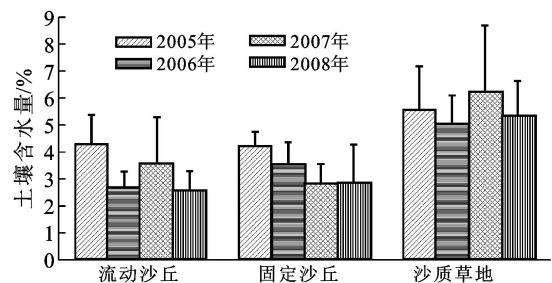


图 5 不同沙地类型 2005—2008 年土壤含水量的变化

方差分析表明,流动沙丘和固定沙丘各月份间存在显著差异 ($F = 4.085, P < 0.01; F = 8.85, P < 0.01$)。多重比较结果表明:除7月与8月之间差异不显著外,7份与其它月份差异都显著;而沙质草地各月份之间则存在显著差异 ($F = 2.52, P < 0.05$)。

通过 Pearson 相关分析得知,流动沙丘和沙质草地各月土壤水分与降雨量有极显著的相关性 ($R = 0.78, P < 0.01; R = 0.57, P < 0.01$),而固定沙丘各月土壤水分与降雨量相关性不显著。相比流动沙丘和沙质草地,这可能是由于固定沙丘主要是灌木,如小叶锦鸡儿、差吧嘎蒿等,其对雨水的截留和土壤水分的消耗,减弱了降雨对土壤水分的影响。

2.3.2 不同类型沙地土壤水分年变化 根据图 5 看出,2005—2008年期间,固定沙丘土壤水分含量呈现出递减的趋势,流动沙丘土壤水分含量则随着各年的

3 讨论

在半干旱沙地,土壤水分是沙地植物生长的主要影响因素。研究发现,在 0—160 cm 土层,这 3 种类型沙地在表层(0—40 cm)都是随深度的增加土壤水分也增加,然后在中间层(41—130 cm)呈现再减小趋势,而在 131—160 cm 土层,固定沙地和沙质草地土壤水分随深度的增加而增加,而流动沙丘则随深度增加而继续减小。这 3 种类型沙地土壤水分的变异系数最小值为 0.24,最大值为 0.43,由此看来,这 3 种沙地整个土壤剖面的土壤水分变化较大,活跃度较高。依照学者对黄土高原土壤水分自上而下的变化可划分为速变层、活跃层和稳定层^[14],而在本研究中表层土壤水分也变化较大($C_v = 0.41$),可以称为速变

层,而中间层的变化较小($C_v = 0.30$),相对稳定,可以称为稳定层,下层又开始有较大幅度的变化($C_v = 0.35$),可以称为活跃层。这种跟黄土高原对土壤水分变化层产生不同的划分可能是因为研究区域的不同,特别是土壤质地的不同以及研究的土壤深度不同而产生不同土壤水分变化层。

纵观这3种类型的土壤水分变异系数,表现出流动沙丘>固定沙丘>沙质草地的趋势,结合我们对这3种类型沙地的植被盖度的调查,5—9月流动沙丘的植被盖度平均为7.16%,固定沙丘为39.72%,沙质草地为49.79%。土壤水分的变异系数与植被盖度表现出一定关系,而早在上世纪中,Lull等人就发现当土地被植被完全覆盖时,其土壤水分变异最小,土地被植被零星覆盖时,土壤水分变异性最大^[15],这与本研究所得到的结论一致。

科尔沁沙地的雨季在7、8月份,土壤水分含量也相对较大。这主要是因为7、8月降雨较多,土壤水分含量随着降雨的增加而增加。根据甘肃民勤沙漠过渡带的土壤含水量变化认为7、8月植物对土壤水分的消耗是影响该阶段土壤水分的关键因素,但是在科尔沁地区,7、8月的土壤水分并没有因为植物进入生长季而使土壤水分低于其它月份,土壤水分反而高于其他月份,这就说明了在季节变化上,科尔沁沙地植被蒸腾并不是影响该地区土壤水分变化的主导因素,降雨才是影响该地区土壤水分变化的关键,该结论与张楠楠等在大清沟附近所得到的结果基本一致^[16]。

2005—2008年期间,流动沙丘土壤水分随各年的降雨量的变化而变化,沙质草地各年之间没有显著差异,这充分表明了近些年科尔沁地区禁牧政策的实施,使沙质草地生态系统趋于复杂化,其对不同年份下的降雨多寡的适应和调节能力增强;固定沙丘,随着植被的生长,其耗水量增加,土壤水分总体表现出逐年降低的趋势,这说明随着沙丘的逐渐固定,我们要适当调整植物种类和栽植密度以适应土壤水分的变化,建议在人工固沙区采用人工间伐的方式控制密度,同时选用低耗水植物类型来保持土壤水分的平衡。

[参 考 文 献]

[1] Nash M S, Wierenga P J, Gutjahr A. Time series analy-

sis of soil moisture and rainfall along a line transect in arid rangeland. *Soil Science*, 1991, 152: 189-198.

- [2] 潘艳霞,王新平. 荒漠人工植固沙植被区土壤水分的时空变异性[J]. *生态学报*, 2009, 29(2): 993-1000.
- [3] 张继光,陈洪松,苏以荣,等. 喀斯特山区洼地表层土壤水分的时空变异[J]. *生态学报*, 2008, 28(12): 6334-6343.
- [4] 潘艳霞,王新平. 荒漠人工植被区浅层土壤水分空间变化特征分析[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(2): 250-256.
- [5] Henninger D L, Peterson G W, Engman E T. Surface soil moisture within a watershed: Variation factors influencing and relationship to surface runoff[J]. *Soil Society of America Journal*, 1976, 40: 773-776.
- [6] Ladson A R, Moore I D. Soil water prediction on the Konza Prairie by microwave remote sensing and topographic attributes[J]. *Journal of Hydrology*, 1992, 138: 385-407.
- [7] 李阳兵,高明,魏朝富,等. 岩溶山地不同土地利用土壤的水分特征差异[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(5): 63-66.
- [8] 李洪建,王孟本,柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(4): 515-519.
- [9] 左小安,赵学勇,赵哈林,等. 科尔沁沙地沙质草场土壤水分对干旱和降雨响应的空间变异性[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 140-144.
- [10] 黄刚,赵学勇,黄迎新,等. 科尔沁沙地不同地形小叶锦鸡儿灌丛土壤水分动态[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 555-561.
- [11] 胡玲,彭世彰,丁加丽,等. 灌区土壤水分空间变异及检查方法研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 2004, 35(5-6): 489-491.
- [12] 吕贻忠,胡克林,李保国. 毛乌素沙地不同沙丘土壤水分的时空变异[J]. *土壤学报*, 2006, 43(1): 152-154.
- [13] 张继义,付丹,魏珍珍,等. 科尔沁沙地几种乔灌木耐极端土壤条件与生存能力野外实地测定[J]. *生态学报*, 2006, 26(2): 467-474.
- [14] 张洪芬,王劲松,黄斌. 西峰黄土高原麦田土壤水分的垂直分布[J]. *土壤通报*, 2006, 37(6): 1081-1085.
- [15] Lull H W, Reinhart K G. Soil moisture measurement. U S D A Southern For. Exo. Sta., New Orleans, LA., Occas, 1955. 140.
- [16] 张楠楠,关文彬,谢静,等. 科尔沁沙地东南缘大清沟自然保护区土壤水分的时空分布特征[J]. *生态学报*, 2007, 27(9): 3861-3873.