

古尔班通古特沙漠树枝状沙丘土壤水分时空变异特征

周宏飞^{1,2}, 肖祖炎^{1,3}, 姚海娇^{1,3}, 李莉^{1,3}, 李原理²

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆阜康荒漠生态系统国家野外科学观测研究站, 新疆 阜康 831505; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 认识沙漠土壤水分的时空变异性, 是揭示沙漠生态系统生态-水文格局的基础。利用中子土壤水分仪的实测数据, 对古尔班通古特沙漠树枝状沙丘土壤水分时空变异进行了系统分析。研究表明: ① 沙丘不同部位土壤水分随时间具有一致性变化规律, 上层土壤和下层土壤的变化趋势有所不同。0~1 m 土层坡顶 > 坡中 > 坡脚, 1~2 m 土层坡脚 > 坡中 > 坡顶。② 土壤水分具有明显的季节变化和分层变化特征。春季是古尔班通古特沙漠土壤水分最丰富、变化最迅速的时期; 0~40 cm、40~140 cm、140~200 cm 土层土壤水分变异系数分别为 13.56%、5.35% 和 0.80%, 与不同土层水分来源和消耗以及植物根系分布相对应; 不同土层土壤水分的变异强度要大于不同部位土壤水分的变异强度。③ 植被和地形对土壤水分的空间分异作用明显, 沙丘坡脚处以及荒漠灌木梭梭根区始终存在土壤水分相对富集区。

关键词: 土壤水分; 时空变异; 沙丘; 古尔班通古特沙漠; 干旱区

中图分类号: P962 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2013)06-0771-07

在干旱区, 土壤水分条件在很大程度上决定了沙漠植物的生长状况和分布格局, 是制约沙漠生态系统植被演替的关键因素^[1-3]。开展沙漠地区土壤水分动态变化研究, 是干旱区水循环以及土壤水资源研究的重要环节, 同时, 对于深入理解沙漠生态系统的稳定性具有重要意义。1965年, 陈文瑞和陈秀贞^[4]为了固沙植物的种植, 在腾格里沙漠对新月形沙丘的土壤水分状况进行了8年研究。事实上, 由于气候、土壤、植被、地形以及下垫面等条件不同, 使得不同沙漠的土壤水分时空变化有其特殊性, 塔克拉玛干沙漠存在湿沙层^[5], 古尔班通古特沙漠梭梭根区土壤水分有富集现象^[6], 腾格里沙漠人工植被区土壤水分逐渐减少^[4], 科尔沁沙地的沙质草地根系层土壤水分显著高于固定沙丘^[7]。古尔班通古特沙漠是中国积雪覆盖时间最长、植被盖度最大的半固定沙漠, 树枝状沙丘是典型的地貌单元, 由降水转化而来的土壤水是唯一水源。有关古尔班通古特沙漠土壤水分动态的研究不多, 且较少涉及深层土壤水分和雪融水^[8-9], 对沙丘不同部位土壤水分时空变化的系统研究更是缺乏。

本文利用2007年3月~10月中子土壤水分仪对沙丘横断面土壤水分的监测数据, 研究了沙丘不同部位土壤水分的空间分布以及年内动态变化及其成因。有助于理解古尔班通古特沙漠自然生态系统的稳定性机理以及土壤水资源特征、揭示其独特沙漠生态系统生态水文格局, 以期为干旱地区植被恢复和生态工程建设提供依据。

1 研究区概况

古尔班通古特沙漠地处新疆北部准噶尔盆地腹地, 属温带荒漠区, 地理位置为 44°11'N ~ 46°20'N 和 84°31'E ~ 90°00'E, 面积 4.88 万 km², 海拔 450 ~ 600 m, 是中国最大的固定与半固定沙漠, 整个沙漠 95%

收稿日期: 2013-01-08; 网络出版时间: 2013-09-12

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1309.P.20130912.1140.016.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41371079); 国家国际科技合作项目资助课题(2010DFA92720-05)

作者简介: 周宏飞(1965-), 男, 浙江东阳人, 研究员, 博士, 主要从事干旱区生态水文过程研究。

E-mail: zhouhf@ms.xjb.ac.cn

以上的土壤为风沙土^[10]，土壤容重为 1.50 ~ 1.65 g/cm³。无河流进入沙漠，沙漠腹地潜水埋深 30 m 以上。地表广泛分布有生物结皮，基质松散，地貌类型以树枝状沙丘和梁窝状沙丘为主，沙丘相对高度一般为 10 ~ 30 m，沙丘顶部多流沙，植被较少，而沙丘底部植被相对丰富。夏季干燥炎热，冬季寒冷，年均气温 6.6℃，年降水量为 70 ~ 150 mm，主要集中在 5 ~ 9 月，占全年降雨量的 70% ~ 80%， $\phi 20$ cm 蒸发皿年蒸发量 2 000 mm 以上，冬季(11 月上中旬至 3 月上中旬)一般有 20 ~ 30 cm 深的稳定积雪覆盖，稳定积雪日数为 100 ~ 160 d^[11]，冬季多雾凝结^[12]。雪融水以垂直入渗为主，无地表径流形成^[13]。古尔班通古特沙漠具有较好的植被覆盖，梭梭是主要的建群种，此外分布有沙蒿、角果藜、叉毛蓬和粗柄独尾草等 200 余种一年生草本及短命、类短命植物^[14]。

2 研究方法

2.1 实验布置

实验点位于古尔班通古特沙漠南缘的中国科学院阜康荒漠生态站北沙窝实验场，地理位置为 44°22'N 和 87°55'E。所选的树枝状沙丘较为平直，近似南北走向，高度 5 ~ 6 m，东坡陡而短，坡度为 12° ~ 16°，西坡缓而长，坡度为 8° ~ 12°，沙丘顶部为宽约 1 m 的平缓流沙带，沙丘不同部位均有梭梭及其他草本植物分布，疏密程度不同。实验点附近丘间低地潜水埋深 5 m，盛行风向西北。

2007 年设置沙漠土壤水分动态观测场，沿沙丘横断面布置了 8 个土壤水分观测孔，埋设中子管(铝管)，分别位于沙丘东侧平地、东坡坡脚、东坡、坡顶和西坡(图 1)。土壤水分观测孔深度为 2.0 ~ 5.5 m，其中坡顶 7#测深 5.5 m，丘间平地 2#测深 4.5 m，其余 6 个观测孔测深均为 2 m。1#和 2#观测孔周围下垫面有完整生物结皮，位于丘间平地上，其中 2#观测孔距梭梭根部 30 cm；3#~6#观测孔周围下垫面有轻微生物结皮，其中 3#观测孔在东坡坡脚位置，4#~6#观测孔位于东坡上；7#和 8#观测孔下垫面为裸露流沙，7#地处坡顶，8#在西坡上。1 m 以内土层每隔 10 cm 分层测定；1 ~ 2 m 土层每隔 20 cm 分层测定；2 m 以下土层每隔 50 cm 分层测定。

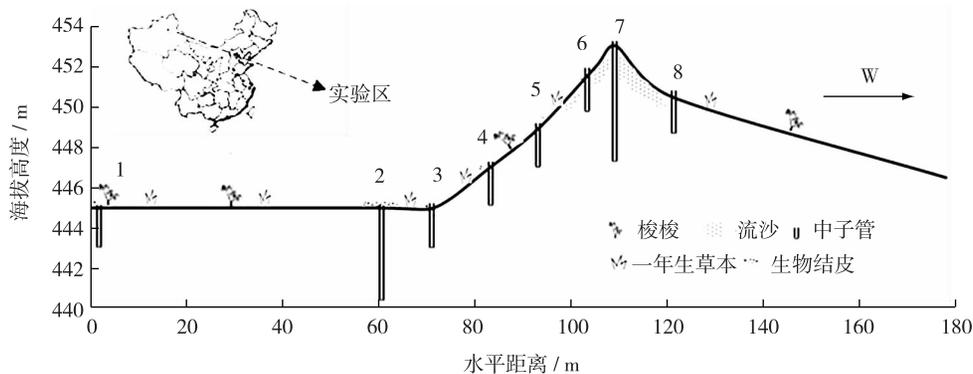


图 1 实验点位置和沙丘土壤水分观测断面示意

Fig. 1 Experimental site and the soil moisture observation transect in the sand dune

2.2 数据采集与处理

本文选择 2007 年 3 月中旬至 10 月底的土壤水分观测数据进行分析，11 月以后古尔班通古特沙漠进入稳定积雪期，土壤冻结。土壤水分利用 CNC503DR 型中子土壤水分仪观测，具体观测周期为：2007 年 3 月 12 日至 3 月底每天测定一次，4 ~ 10 月每隔 10 d 测定一次(每月 10 日、20 日和 30 日观测)。降水由实验区安装的 Campbell 公司生产的 CR10 型自动气象站记录，每 30 min 记录一次数据。实验期(3 ~ 10 月)内，降雨日数共 45 d，总降雨量为 180.4 mm，单次最大降雨量为 25.8 mm(2007-08-12)，本年度降雨量明显偏多。

土壤体积含水量用在观测点实地标定的公式计算，可减少仪器生产厂家提供的标准公式计算带来的误

差。10 cm 土壤用 $\theta = -15.767r^2 + 2.051r - 0.011$, 10 cm 以下土壤用 $\theta = 1.798r - 0.029$ 计算, 其中, θ 为土壤体积含水量, %; r 为中子仪计数比, cnt/std。采用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 进行数据分析, Origin8.5 和 Matlab7.1 作图。

3 结果与分析

3.1 土壤含水量季节变化特征

选择坡脚(3#)、坡中(5#)和坡顶(7#)3 个不同部位的数据, 绘制了 2007 年 3 月 15 日~10 月 30 日期间 0~200 cm 土壤平均体积含水量变化过程线(图 2), 为了便于比较分析, 同时绘出了逐次降雨量。由于 2007 年 3 月 15 日积雪没有开始融化, 11 月上旬地表已被积雪覆盖, 整个冬季土壤水分基本没有变化^[6], 因此可以代表年内变化过程。本文以大部分短命植物结束生命周期的 6 月上旬和以 1 年生草本植物和小灌木开始枯萎的 8 月下旬作为夏、秋两季的开始, 以稳定积雪期(11 月中旬~翌年 3 月上中旬)作为冬季来分析季节变化。

春季是古尔班通古特沙漠土壤水分最丰富、变化最迅速的时期。3 月中旬以后, 受冬季雪融水和春季雨水补给, 沙漠土壤中储存了充足的水分, 随着气温上升、植物耗水增加, 至 6 月上旬, 土壤水分降低迅速。夏秋季土壤含水量变化相对比较平稳, 具有随时间呈缓慢下降的特点, 除了降雨后表层土壤水分有短暂上升和快速下降的波动外, 土壤含水量在较低水平变动, 9 月以后的降雨, 由于蒸发力降低和无植被耗水, 往往会使人冬前的土壤水分略有回升。春季(3 月 20 日~5 月 30 日)、夏季(6 月 1 日~8 月 30 日)、秋季(9 月 1 日~10 月 30 日) 2 m 土层平均土壤体积含水量分别为 6.451 %、4.934% 和 4.933 %, 具有春季 > 夏季 > 秋季的特征。一般来说, 古尔班通古特沙漠春、夏、秋季几乎消耗了年内所有的雪融水和降雨形成的土壤水分, 入冬前土壤含水率维持在极低水平。

沙丘不同部位 2 m 土层平均体积含水量随时间具有一致的变化规律, 但变化幅度不同, 从表 1 可以看出, 土壤水分变幅具有梭梭根区 > 坡顶 > 坡中 > 坡脚 > 垄(丘)间平地的变化规律, 下垫面条件的差异是引起不同部位土壤水分变幅差异的主要原因。荒漠灌木树干的汇流作用可以使得梭梭根区土壤水分富集^[15], 梭梭根区土壤对降水具有放大效应, 变幅最大; 坡顶流沙有利于降水入渗补给土壤^[13], 土壤含水量对降水变化的响应直接而迅速, 变幅次之; 垄间平地良好的生物结皮阻止了降水入渗, 使其对降水变化的响应最慢, 土壤水分的变幅最小。

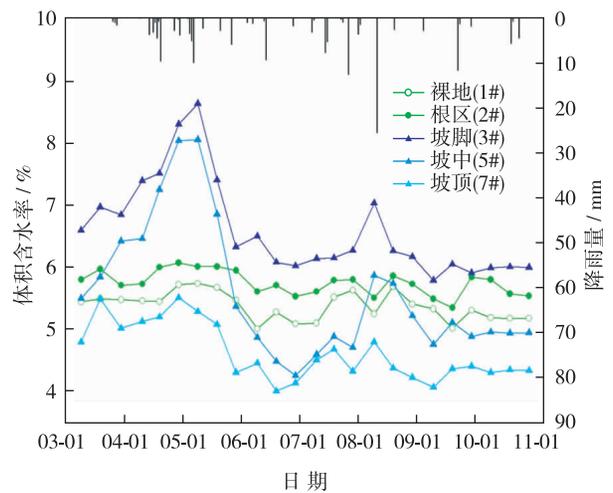


图 2 沙丘不同部位 0~2m 土层平均体积含水量变化过程线

Fig. 2 Curve of average volumetric soil moisture content in 0—2 m soil layers in different position of the sand dune

表 1 沙丘不同部位分层土壤储水量

mm

Table 1 Layering water storage in different position of the sand dune during different periods

时间	梭梭根部 2#		东坡坡脚 3#		坡中 4#		坡中 5#		坡中 6#		坡顶 7#		西坡坡中 8#	
	0~1m	1~2m	0~1m	1~2m	0~1m	1~2m	0~1m	1~2m	0~1m	1~2m	0~1m	1~2m	0~1m	1~2m
3 月 20 日~5 月 30 日	79.94	79.17	53.04	59.66	57.46	54.30	88.56	44.83	90.46	55.31	100.2	46.12	54.84	69.36
6 月 1 日~8 月 30 日	57.24	78.75	39.33	59.28	39.01	53.25	42.08	45.94	49.67	53.63	47.60	46.02	46.61	69.66
8 月 31 日~10 月 30 日	54.81	77.99	39.91	60.07	37.14	53.38	39.67	45.66	50.09	52.61	52.56	46.17	45.37	69.38

3.2 融雪期土壤水分变化特征

古尔班通古特沙漠的积雪消融期一般为7~10 d, 由于入冬前土壤水分含量低、积雪量少, 沙地冻土入渗率相对较高^[16], 雪融水主要以垂直入渗为主, 一般无地表径流产生。选取坡顶(7#)的数据进行分析(图3(a)), 从3月15日融雪开始至3月25日结束, 土壤水分逐渐增大, 湿润峰逐渐下移, 融雪水的最大入渗深度为100 cm, 也是年内逐次降水入渗的最大深度(8月12日最大降雨25.8 mm在同一地点的入渗深度约为70 cm), 融雪水对1 m以下的土壤水分几乎没有影响, 融雪期间沙丘1~2 m土层体积含水量几乎没有变化, 平均维持在5.47%左右。0~1 m平均体积含水量由融雪前的5.15%增加到融雪后的7.39%。从土壤体积含水量垂直变化过程看, 体积含水量最大值达17.65%, 大于田间持水量, 这部分滞水在未融化冻土以上土壤中可能形成壤中流向坡底流动, 在坡脚处形成土壤水分富集区。

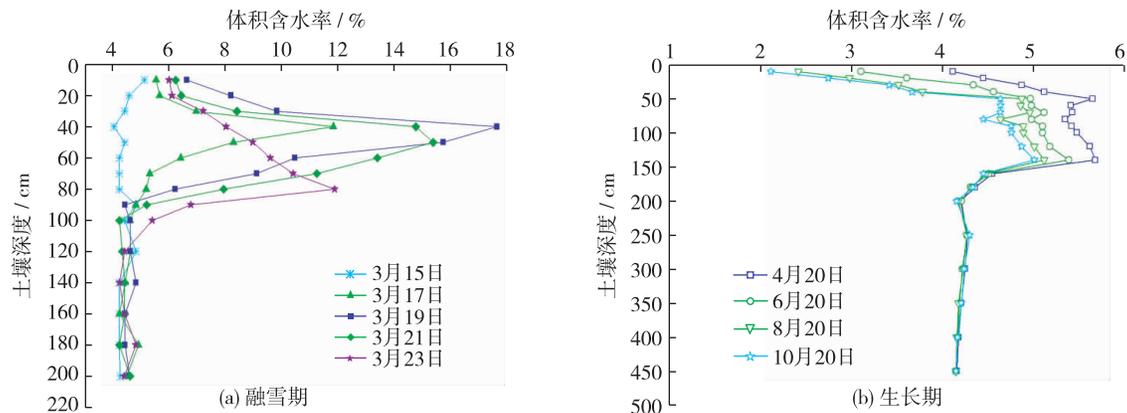


图3 不同时期土壤水分垂直变化过程(沙丘顶部7#)

Fig. 3 Vertical variation of volumetric soil moisture content during different periods(top of sand dune 7#)

3.3 沙丘土壤水分空间分布特征

表1列出了不同时段沙丘不同部位分层土壤储水量值, 图4为沙丘横断面2m深度土壤水分空间分布图, 根据融雪后3月30日、春季5月20日、夏季7月20日和秋季9月20日这4 d的土壤水分观测数据绘制。

土壤水分在沙丘横断面上的空间分布具有如下特征:

① 总体上看, 0~2 m土层土壤水分具有坡顶>坡中>坡脚的特征, 土壤水分从坡顶到坡脚逐渐减少; 但上层土壤(0~1 m)和下层土壤(1~2 m)的土壤水分随时间的变化趋势有所不同(表1), 0~1 m土层土壤水分总体具有坡顶>坡中>坡脚的变化规律, 表现为坡顶最大, 坡脚最小, 坡中各点从下往上土壤水分逐渐增加, 这与坡顶裸露流沙具有良好的渗透性^[13]、坡脚良好的生物结皮阻止降雨入渗^[17]有关, 反映了土壤水分对降水入渗补给的直接响应, 可以代表土壤水分年内短期变化; 1~2 m土层土壤水分总体具有坡脚>坡中>坡顶的变化规律, 可能与沿地形坡度方向的壤中流和地表汇流有关^[18-19], 反映了土壤水分对降水入渗补给再分配的间接响应, 可以代表土壤水分年际间的长期变化。② 坡脚处0~2 m始终存在土壤水分相对丰富区域, 且主要表现在下层土壤(1~2 m), 这种富集具有融雪后>春季>秋季>夏季的特

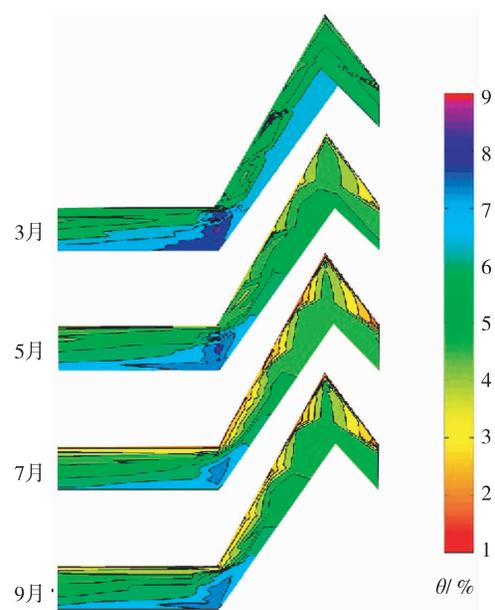


图4 沙丘横断面0~2 m土层土壤体积含水量空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of volumetric soil moisture content in 0—2 m soil layers transect of the sand dune

征。坡脚处相对丰富的植被, 使得其消耗更多的水分, 致使在夏季坡脚处的土壤水分富集往往是最底的; 相反, 融雪期, 融雪水在相对不透水的冻结土层以上滞留, 很容易形成沿着坡向向坡脚运移的壤中流, 致使融雪结束后坡脚处的土壤水分富集往往是最高的。③ 荒漠灌木梭梭根区的土壤水分普遍大于非根区土壤, 荒漠灌木根区存在土壤水分富集现象。从位于沙垄之间平地的1#和2#观测数据可知(图2), 位于梭梭根区的2#观测点0~2 m平均土壤体积含水率比位于裸地(有生物结皮)的1#观测点高12.8%, 其中梭梭根区0~1 m土层土壤体积含水率比裸地高17.8%。土壤水分在荒漠灌木梭梭根区的富集现象在古尔班通古特沙漠是普遍存在的, 时域反射仪(TDR)的长期监测也有类似结果^[6]。

3.4 土壤水分空间变异性分析

沙丘0~40 cm、40~140 cm、140~200 cm土层不同部位土壤水分的变异系数 C_v 变化范围分别为10.84%~16.87%、5.09%~5.56%、0.56%~0.98%(表2)。不同土层的 C_v 值差别要明显大于同一土层不同部位 C_v 值的差别, 不同土层土壤水分的变异强度要远大于不同部位的变异强度。从不同部位 C_v 值看, 荒漠灌木梭梭根区各层的 C_v 值均比同一层其他部位的 C_v 值大, 说明荒漠灌木对土壤水分变化的影响强烈, 其次是地形对土壤水分变化的影响, 沙丘不同部位 C_v 值往往大于丘间平地的 C_v 值。

表2 土壤水分变异系数 C_v 值

%

Table 2 The C_v of the soil moisture in different position and layers of the sand dune

土层/cm	垄间平地 (1#)	梭梭根部 (2#)	坡脚 (3#)	坡中1 (4#)	坡中2 (5#)	坡中3 (6#)	坡顶 (7#)	西坡坡中 (8#)	平均
0~40	10.84	16.87	12.32	12.69	13.20	13.22	14.30	15.06	13.56
40~140	5.11	5.56	5.30	5.09	5.51	5.49	5.42	5.32	5.35
140~200	0.72	0.98	0.79	0.56	0.77	0.98	0.67	0.95	0.80

土壤水分具有明显的分层变化特征(图3(b))。0~40 cm土层, 土壤含水量整体较低, 变化幅度最大, C_v 均值13.56%, 受降水和蒸发的强烈影响, 这一层是一年生草本植物和短命植物根系的主要分布层; 40~140 cm土层, 土层含水量一般随深度的增加而增大, C_v 均值为5.35%左右, 土壤水分主要受春季融雪水、大降雨事件水分补给以及荒漠灌木耗水的影响, 这一层是多年生荒漠灌木根系的主要活动层; 140~200 cm土层, 含水量一般随深度的增加而减少, C_v 均值为0.80%, 土壤水分变化基本不受降水和蒸发的直接影响, 但大雨形成的坡面汇流、壤中流或者根系或动物洞穴形成的大孔隙流可以使降水间接补给到这一层土壤。200~450 cm土层, 土壤水分不再随深度的变化而变化, 土壤水分相对稳定, 体积含水量一般维持在4%的低水平, 降雨和雪融水对该层土壤没有影响。

4 结 论

古尔班通古特沙漠树枝状沙丘不同部位土壤水分随时间具有一致性变化规律, 但上层土壤和下层土壤的变化趋势有所不同。0~1 m土壤水分坡顶最大, 坡脚最小; 1~2 m土壤水分坡脚最大, 坡顶最小。0~1 m土层在沙丘不同部位土壤水分的差异与不同部位的下垫面和渗透性差异有关, 主要反映土壤水分对降水入渗补给的直接响应; 1~2 m土层在沙丘不同部位土壤水分差异与沿地形坡度方向的汇流和壤中流有关, 主要反映土壤水分对降水入渗补给再分配的间接响应。

土壤水分具有明显的季节变化和分层变化特征。春季是古尔班通古特沙漠土壤水分最丰富、变化最迅速的时期。土壤水分变异强度具有上层土壤>下层土壤、沙丘>丘间平地、荒漠灌木梭梭根区>非根区的变化规律。不同土层的土壤水分变异强度大于不同部位的变异强度。沙丘不同部位0~40 cm、40~140 cm、140~200 cm土层土壤水分变异系数 C_v 平均值分别为13.56%、5.35%和0.8%, 这种差异与不同土层水分来源和植物根系分布相对应。200~450 cm土层, 土壤体积含水量一般维持在4%左右的低水平。

植被和地形对土壤水分的空间分异作用明显, 在沙丘坡脚处和荒漠灌木-梭梭根区始终存在土壤水分相

对富集区, 梭梭根区土壤水分的富集程度要大于坡脚处。坡脚处土壤水分富集程度具有融雪后 > 春季 > 秋季 > 夏季的特征。梭梭树干径流在根部的汇聚作用、坡面汇流和壤中流、沙丘不同部位渗透性不同是降雨转化为土壤水分形成空间差异的主要原因。

参考文献:

- [1] 赵文智. 干旱区生态水文过程若干问题评述[J]. 科学通报, 2001, 46(22): 1851-1857. (ZHAO Wenzhi. Comments on a number of issues of eco-hydrological processes in arid area [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(22): 1851-1857. (in Chinese))
- [2] BUTTAFUOCO G, CASTRIGNANO A, BUSONI E, et al. Studying the spatial structure evolution of soil water content using multivariate geostatistics [J]. Journal of Hydrology, 2005, 311(1/2/3/4): 208-218.
- [3] DANIEL D E, JOHNTHAMS. Water in desert ecosystems [M]. New York: Academic Press, 1981: 265-271.
- [4] 陈文瑞, 陈秀贞. 沙坡头格状新月形沙丘水分状况研究: 治沙研究(第7号) [M]. 北京: 科学出版社, 1965: 120-126. (CHEN Wenrui, CHEN Xiuzhen. Study on water condition of the grating barchans in Shapotou: Desert control research (NO. 7) [M]. Beijing: Science Press, 1965: 120-126. (in Chinese))
- [5] 安桂香, 曾凡江, 孙旭伟, 等. 塔克拉玛干沙漠南缘不同植被区土壤水分状况研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 63-67. (AN Guixiang, ZENG Fanjiang, SUN Xuwei, et al. Soil water conditions under various vegetations in southern fringe of Taklimakan Desert [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(1): 63-67. (in Chinese))
- [6] 杨艳凤, 周宏飞, 徐利岗, 等. 古尔班通古特沙漠原生梭梭根区土壤水分变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1711-1716. (YANG Yanfeng, ZHOU Hongfei, XU Ligang, et al. Dynamic variations of soil moisture in Haloxylon ammodendron root zone in Gurbantunggut Desert [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(7): 1711-1716. (in Chinese))
- [7] 姚淑霞, 张铜会, 赵传成. 科尔沁沙地土壤水分动态分析及其概率密度函数模拟[J]. 水科学进展, 2013, 24(1): 62-72. (YAO Shuxia, ZHANG Tonghui, ZHAO Chuancheng. Analysis of soil moisture dynamics and its probability density function simulation in Horqin Sand Land [J]. Advances in Water Science, 2013, 24(1): 62-72. (in Chinese))
- [8] 赵从举, 康慕谊, 雷加强. 古尔班通古特沙漠腹地土壤水分时空分异研究[J]. 水土保持学报, 2004(4): 158-161. (ZHAO Congju, KANG MUYI, LEI Jiaqiang. Space-time distribution of soil moisture in hinter land of Gurbantunggut Desert [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004(4): 158-161. (in Chinese))
- [9] 王雪芹, 蒋进, 雷加强, 等. 短命植物分布与沙垄表层土壤水分的关系: 以古尔班通古特沙漠为例[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 556-560. (WANG Xueqin, JIANG Jin, LEI Jiaqiang, et al. Relationship between ephemeral plants distribution and soil moisture on longitudinal dune surface in Gurbantunggut Desert [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4): 556-560. (in Chinese))
- [10] 季方, 攀自立, 赵贵海. 新疆两大沙漠风沙土土壤理化特性对比分析[J]. 干旱区研究, 1995, 12(1): 19-25. (JI Fang, PAN Zili, ZHAO Guihai. The comparative analysis of two desert aeolian sandy soil properties in Xinjiang [J]. Arid Zone Research, 1995, 12(1): 19-25. (in Chinese))
- [11] 李江风. 新疆气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 97-107. (LI Jiangfeng. The climate of Xinjiang [M]. Beijing: Meteorological Press, 1991: 97-107. (in Chinese))
- [12] 周宏飞, 周宝佳, 代琼. 古尔班通古特沙漠植物雾凇凝结实验研究[J]. 水科学进展, 2010, 21(1): 65-71. (ZHOU Hongfei, ZHOU Baojia, DAI Qiong. Observational analysis of rime condensation on plants over the Gurbantunggut Desert in China [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(1): 65-71. (in Chinese))
- [13] 汤英, 周宏飞, 徐利岗. 荒漠植被影响下的沙地稳定入渗率变化特征[J]. 土壤通报, 2009, 40(2): 235-239. (TANG Ying, ZHOU Hongfei, XU Ligang. The variation features of steady infiltration rates in sand influence by desert vegetation [J]. Chinese Journal of Soil Science [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(2): 235-239. (in Chinese))
- [14] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 1923-1932. (ZHANG Liyun, CHEN Changdu. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut Desert [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(11): 1923-1932. (in Chinese))
- [15] ZHOU Hongfei, XU Ligang, BAO Anming, et al. Soil moisture enrichment under the desert shrub in the Gurbantunggut Desert, Northwest China [C] //19th World Congress of Soil Science. Brisbane: Gilkes and Nattaporn Prakongkep, 2010:40-43.

- [16] 周宏飞, 周宝佳, 汤英, 等. 古尔班通古特沙漠季节性冻土入渗特征试验研究[J]. 干旱区地理, 2009, 26(3): 312-317. (ZHOU Hongfei, ZHOU Baojia, TANG Ying, et al. Study on the characteristics of the seasonal frozen soil infiltration in Gurbantunggut Desert [J]. Arid Land Geography, 2009, 26(3): 312-317. (in Chinese))
- [17] 王新平, 肖洪浪, 张景光, 等. 荒漠地区生物土壤结皮的水文物理特征分析[J]. 水科学进展, 2006, 17(5): 592-598. (WANG Xinping, XIAO Honglang, ZHANG Jingguang, et al. Hydrophysical characteristics of biological soil crust in an arid desert area [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(5): 592-598. (in Chinese))
- [18] FAMIGLIETTI J S, RUDNICKI J W, RODELL M. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas [J]. Journal of Hydrology, 1998, 210: 259-281.
- [19] 胡伟, 邵明安, 王全九. 黄土高原退耕坡地土壤水分空间变异性研究[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 74-81. (HU Wei, SHAO Mingan, WANG Quanjiu. Study on spatial variability of soil moisture on the recultivated slope-land on the Loess Plateau [J]. Advances in Water Science, 2006, 17(1): 74-81. (in Chinese))

Temporal and spatial variation of soil moisture in dendritic sand dune over Gurbantunggut Desert in central Eurasia *

ZHOU Hongfei^{1,2}, XIAO Zuyan^{1,3}, YAO Haijiao^{1,3}, LI Li^{1,3}, LI Yuanli²

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. National Fukang Desert Ecosystem Field Sciences Observation and Research Station, Fukang 831505, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Understanding of the temporal and spatial variation of soil moisture in sand dunes is a fundamental part of exploring the ecological and hydrological pattern of desert ecosystem. The temporal and spatial variation of soil moisture is analyzed using neutron probe soil water data collected from the Gurbantunggut Desert in central Eurasia. Results show that the spatial variation of soil moisture in different locations over sand dunes exhibits high level of consistency over time. Vertically, the variation behaves differently with soil layers. In the top layer of the soil (0—1 m), the volumetric soil moisture content has the highest value at the top, following by the hill, and the driest value is found at the foot. The opposite is true for the sub-layer of the soil (1—2 m), where the highest value occurs at the foot, following by the hill, and the smallest value is found at the top. The variation of soil moisture exhibits significant seasonality and has a strong vertical structure. The soil moisture is the richest in spring, but changes most rapidly during the season. The values of the coefficient of variation (C_v) in soil moisture for the layers of 0—40 cm, 40—140 cm and 140—200 cm are 13.56%, 5.35% and 0.8%, respectively, which correspond well to the source of soil water, the evaporation loss and the distribution of shrub roots in different soil layers. The vertical variation of soil moisture is greater than that in the horizontal ones. The vegetation covers and topography have strong influences on the spatial distribution of soil moisture. There exists a water-rich region in the *Haloxylon ammodendron* root-zone and the foot of sand dunes.

Key words: soil moisture; temporal and spatial variability; sand dune; Gurbantunggut Desert; arid region

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41371079) and the International Science & Technology Cooperation Program of China (No. 2010DFA92720-05).