

古尔班通古特沙漠南缘固定沙丘土壤水分时空变化特征^{*}

朱 海^{1, 2} 胡顺军^{1†} 陈永宝³

(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, 乌鲁木齐 830011)

(2 中国科学院大学, 北京 100049)

(3 湖北煤炭地质一二五队, 湖北宜昌 443000)

摘 要 土壤水分是维系古尔班通古特沙漠荒漠植被发育最主要的制约因子。为了研究古尔班通古特沙漠南缘固定沙丘土壤水分特征, 于2012年12月4日至2013年11月4日, 采用中子仪法对0~400 cm沙层土壤含水率进行了原位观测, 分析了沙丘不同部位土壤含水率的时空变化及不同发育阶段梭梭对其根区土壤含水率的影响。结果表明: (1) 0~40 cm土层为土壤水分活跃层, 40~200 cm土层为土壤水分次活跃层, 200 cm以下土层为土壤水分相对稳定层; (2) 西坡、坡顶和东坡的土壤含水率差异不显著, 丘间地土壤含水率与西坡、坡顶和东坡均存在极显著性差异, 且丘间地土壤含水率相对较高; (3) 3—5月是土壤水分补给期, 6—10月是土壤水分耗损期, 11月—次年2月是土壤水分稳定期; (4) 不同发育阶段梭梭根区土壤含水率秋季均显著低于春、夏两季, 壮年阶段梭梭根区土壤含水率各季都较低, 青年阶段梭梭根区土壤含水率各季相差较大, 壮年阶段梭梭和青年阶段梭梭根区土壤含水率春、夏季均存在显著性差异。

关键词 固定沙丘; 土壤水分; 梭梭根区; 古尔班通古特沙漠

中图分类号 S152.7 **文献标识码** A

水分作为植物生存的源泉, 不仅影响植物个体的发育和生长类型, 还限制着植被的种类、数量和分布^[1-2]。沙地水分状况是气候、植被、地形及土壤因素等自然条件的综合反映^[3], 是影响沙漠植物生存、生长发育的关键因素^[4-8], 是沙漠土壤—植物—大气连续体 (Soil plant atmosphere continuum, SPAC) 中水循环的重要组成部分^[9], 是确定植被承载力、进行沙地土壤水分管理的基础。沙地水分状况一直是研究沙漠水热平衡的重点问题。研究沙丘水分动态对其植被生存或恢复^[10-13]及实施荒漠化防治生态建设工程具有科学和实践意义。

古尔班通古特沙漠深居亚欧大陆腹地, 远离海洋, 降水稀少, 和其他沙漠相比, 植被覆盖度较高^[14], 决定了沙生植物对土壤水分的竞争更加激烈。关于该地区的土壤水分, 已有学者进行了一定研究^[15-23], 并取得了重要成果。例如王雪芹等^[20]分析沙漠南部春季雪融水对沙丘0~100 cm土层土壤水分的影响后发现, 融雪水入渗使得春夏季沙丘土壤水分呈现出垄间最高、坡部次之、垄顶最低的空间格局。朱玉伟等^[21]对沙漠南缘半固定沙丘0~100 cm沙层土壤水分动态进行研究后认为, 春夏季是土壤水分累积期, 秋季是亏缺期。沙丘各部位水分含量表现为丘间低地大于丘顶、丘顶

^{*} 国家重点基础研究发展计划项目 (2013CB429902)、国家自然科学基金—新疆联合基金面上项目 (U1303181) 资助
Supported by the National Basic Research Program of China (No.2013CB429902) and Xinjiang Joint Funds of National Natural Science Foundation of China (No.U1303181)

[†] 通讯作者Corresponding author, E-mail: xjhushunjun@aliyun.com

作者简介: 朱 海 (1990—), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事水文与水资源方面的研究。E-mail: zhuhai0917@163.com

收稿日期: 2015-04-03; 收到修改稿日期: 2015-07-17

大于背风坡、背风坡大于迎风坡。张建兵等^[22]对比了沙漠南缘沙丘表层不同部位的土壤水分含量后发现,丘间地土壤含水率远高于迎风坡和背风坡。周宏飞等^[23]也对沙漠南缘沙丘不同季节不同部位土壤含水率进行了对比分析,认为沙丘土壤含水率有明显的季节变化和分层变化特征,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。但由于土壤含水量测定的深度较浅,观测时间较短,目前尚缺乏对该地区深层土壤水分变化规律的深入认识。

本文在前人研究的基础上,在古尔班通古特沙漠南缘北沙窝沙区固定沙丘不同部位及不同年龄的梭梭植株下面布设了23个土壤水分定位监测点,采用中子水分仪测定0~400 cm土层土壤含水率,分析土壤水分时空变异规律及不同发育阶段梭梭对其根区土壤含水率的影响,以期为古尔班通古特沙漠生态环境保护、受损生态系统的恢复与重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于古尔班通古特沙漠南缘北沙窝(44° 22.63'N, 87° 55.21'E),地貌类型以树枝状沙垄为主,沙垄呈南北走向近平行排列,两侧不对称,东坡陡西坡缓,东坡坡度为17°~23°,西坡坡度为12°~18°,高度为5~7 m,沙丘顶部有1 m左右的平缓流沙带。根据阜康北沙窝自动气象站监测数据显示,年平均气温7.19℃,极端最高气温41.5℃,极端最低气温-37℃。多年平均降水量为128.7 mm,蒸发量为1 764 mm左右^[14]。潜水位埋深9~10 m。土壤为典型沙漠风沙土,容重1.54~1.65 g cm⁻³。植被以梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭(*Haloxylon persicum*)为优势种,还包括蛇麻黄(*Ephedra distachya*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)以及众多的短命植物^[18, 24]。

1.2 试验设计

自2012年12月4日开始陆续沿沙丘横断面布置了两排土壤水分监测断面,土壤水分监测点分别位于沙丘东侧平地(丘间地)、东坡、坡顶和西坡。其中北监测断面监测点的编号为1#、2#、3#、4#、5#、6#、7#、8#、9#、10#,南监测断面监

测点的编号为A#、B#、C#、D#、E#、F#、G#、H#、I#。此外,在丘间地中间垂直这两个监测断面再增加一个监测断面,监测点的编号为11#、12#、13#、14#。监测点整体上呈“工”字型排列(图1)。其中1#、2#、3#、A#和B#监测点位于西坡,4#和C#监测点位于坡顶,5#、6#、7#、D#和E#监测点位于东坡,8#、9#、10#、11#、12#、13#、14#、F#、G#、H#和I#监测点位于丘间地。根据不同发育阶段梭梭冠幅、株高和基径数据^[25],将梭梭分为壮年阶段梭梭、青年阶段梭梭及枯死梭梭(枯树)(表1)。11#、E#和H#土壤水分监测点的梭梭为壮年阶段梭梭,7#、9#和G#土壤水分监测点的梭梭为青年阶段梭梭,10#土壤水分监测点的梭梭为枯死梭梭。

土壤水分采用中子仪法测定,中子管(铝管)埋设深度4 m左右。通常10 d左右监测一次,测定深度为10、20、40、60、80、100、120、140、160、200、250、300、350、400 cm,每层读数三次,取其平均值作为观测值。

表1 不同发育阶段梭梭的形态特征

Table 1 Morphological features of *Haloxylon ammodendron* relative to growth stage

发育阶段 Growth stage	株高Height (m)	冠幅Canopy (m × m)	基径Diameter (cm)
青年Youth stage	1.7 ~ 2.1	1.5 × 1.3 ~ 1.7 × 1.5	5.4 ~ 7.3
壮年Adult stage	3.6 ~ 4.2	1.9 × 3.0 ~ 4.2 × 4.0	11.5 ~ 17.2
枯树Dead tree	2.2	2.4 × 2.3	8.0

1.3 数据处理

将每个坡位对应观测点的土壤含水率的平均值作为各坡位的土壤含水率,将所有观测点土壤含水率的平均值作为梭梭群落的土壤含水率。将处于相同发育阶段梭梭旁各个观测点土壤含水率的平均值作为该发育阶段梭梭根区的土壤含水率。

采用Excel 2003统计不同坡位的土壤含水率及其变异系数CV和不同发育阶段梭梭根区的土壤含水率;采用SPSS 16.0软件对不同坡位的土壤含水率进行LSD多重比较;采用Sigmaplot 10.0及Surfer 8.0软件绘图,柱状图误差棒为标准误。

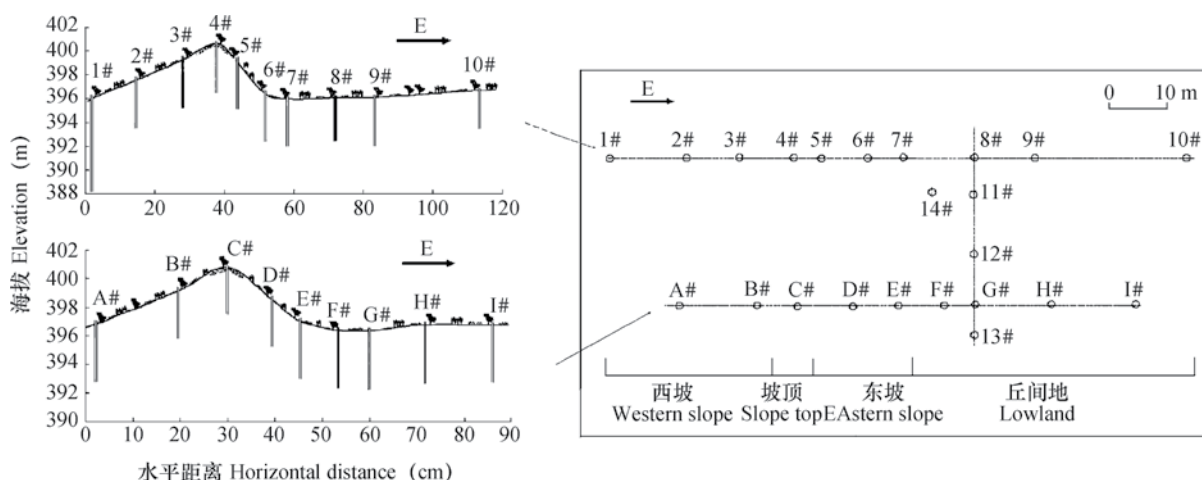


图1 土壤水分监测点布设示意图

Fig.1 Distribution of soil moisture observation sites in sand dunes

2 结果与讨论

2.1 土壤水分垂直变化

由图2可见, 土壤水分具有明显的分层变化特征。从平均土壤含水率来看, 在0~400 cm土层垂直剖面上, 土壤含水率明显存在两个带: 在0~200 cm之间, 土壤含水率较大且变化明显; 在200~400 cm, 土壤含水率较低且基本保持稳定, 这说明融雪水和降水对较浅层(0~200 cm)沙土含水量的影响较为显著, 而对深层沙土含水量的作用不明显。

从变异性来看, 按照土壤水分变异系数, 土壤含水率剖面可划分为活跃层($0.2 < \text{变异系数} < 0.3$)、次活跃层($0.1 < \text{变异系数} < 0.2$)和相对稳定层($\text{变异系数} < 0.1$)^[26]。土壤水分变异系数在垂直剖面上也存在明显的分层现象, 且不同的坡位, 土壤分层也有差异。200 cm以下土层, 变异系数较小(小于0.1), 属土壤水分相对稳定层。东坡、西坡和丘间地在40~200 cm土层, 变异系数介于0.1~0.2, 属于次活跃层, 0~40 cm, 变异系数在0.2~0.3之间, 属于活跃层。而坡顶在0~120 cm土层深度, 其变异系数就达到0.2~0.3, 属于活跃层。从整个剖面上看, 坡顶的土壤水分变异系数最大, 其他坡位各土层变异系数相差不大。

沙地土壤水分的垂直变化, 除受土壤质地、地下水埋深、植被类型等影响外, 还受降水、蒸发和风等多种气象因素的影响^[27]。上层土壤受外界环

境影响大, 随着深度的增加土壤所受的环境影响减弱。一般而言, 随着深度的增加, 土层含水量的变化幅度减少。

处于土壤—大气界面的活跃层(0~40 cm), 受到降雨量、表面蒸发、风速、沙地热传导以及孔隙水分扩散等因素的直接影响。降雨后沙土含水量会迅速增加, 随着蒸发的逐渐加强, 水分含量又会迅速下降, 水分变化最为剧烈, 土壤含水率变异程度大。

次活跃层(40~200 cm)受气象条件影响较小, 水分主要来自上部下渗水, 水分变化幅度较上层减小。加之表层“干沙层”的存在, 有效地抑制了水分的蒸发^[28]。其变异程度相对较小。

相对稳定层(200 cm以下)几乎不受气象要素影响, 土壤含水率不再随深度的变化而变化。水分运行缓慢, 含水量相对稳定, 一般维持在3%左右。尽管该层土壤水分会随着季节发生变化, 但变化幅度要较0~200 cm沙层小得多。

2.2 不同坡位土壤含水率的比较

对不同坡位(0~400 cm)土壤含水率数据的比较检验结果表明, 西坡、坡顶和东坡的土壤含水率差异不显著。丘间地土壤含水率与西坡、坡顶和东坡均存在极显著性差异($p < 0.01$) (图3), 且土壤含水率相对较高, 最大值达到4.7%。活跃层、次活跃层和相对稳定层, 不同坡位土壤含水率差异均与整个剖面不同坡位土壤含水率差异相一致。在活跃层, 丘间地平均土壤含水率分别为西坡、坡顶和东坡平均土壤含水率的1.25倍、1.26倍

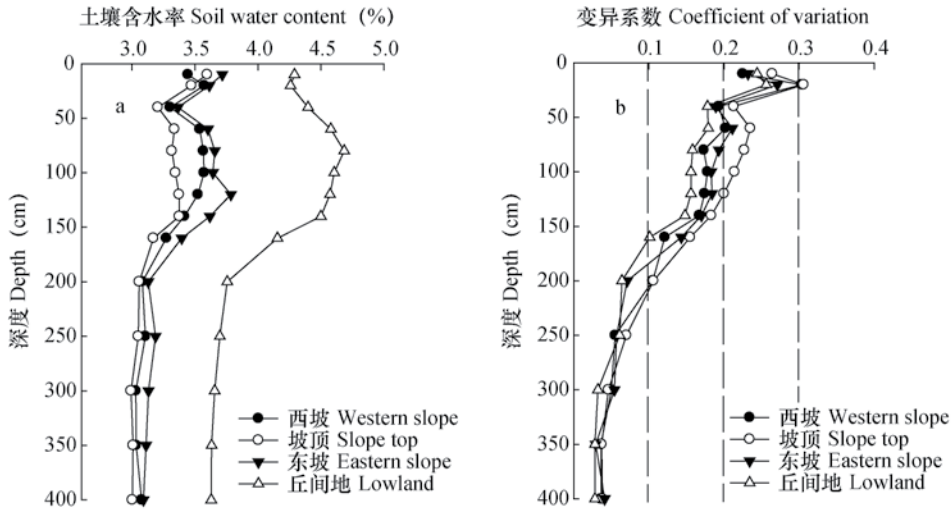


图2 土壤含水率及变异系数随深度的变化

Fig.2 Variations of soil water content and coefficient of variation with soil depth

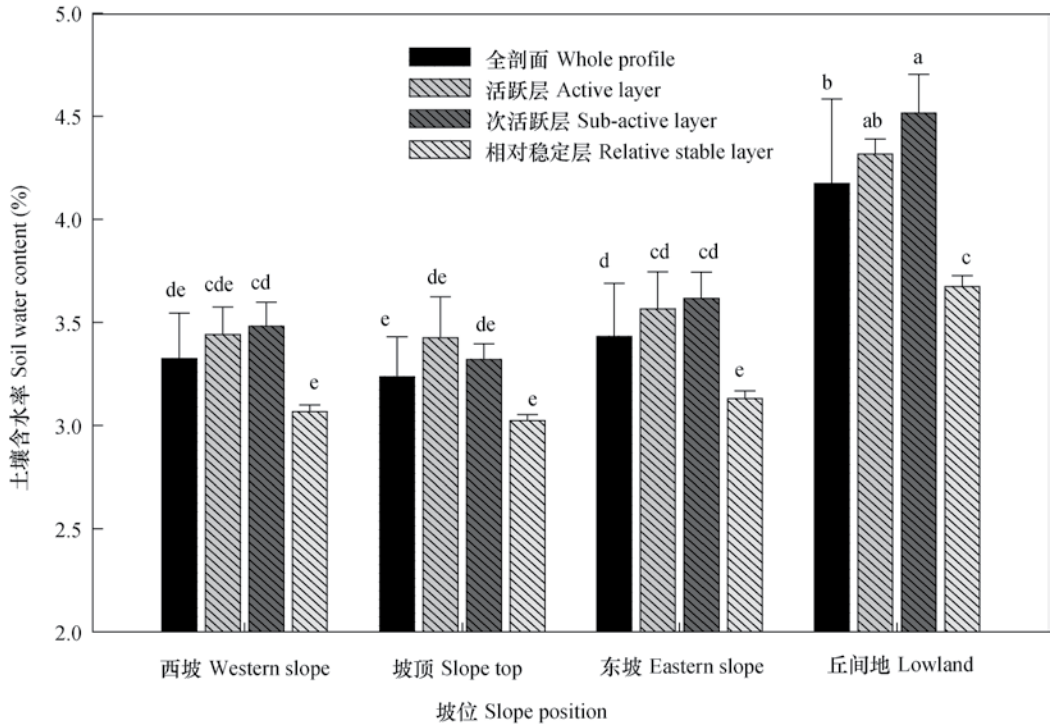


图3 不同坡位土壤含水率差异

Fig.3 Variances of soil water content with slope position

和1.21倍，在次活跃层，丘间地土壤含水率分别为西坡，坡顶和东坡平均土壤含水率的1.30倍、1.36倍和1.25倍。在相对稳定层，丘间地平均土壤含水率分别为西坡、坡顶和东坡平均土壤含水率的1.20倍、1.22倍和1.17倍。

由于丘间地地势较低，利于水分蓄积和下渗，大量生物结皮的存在减少了表层水分的蒸发，加之

荒漠灌木的“湿岛”效应^[29]，使得丘间地土壤含水率较高。而且丘间地阳光照射时间较短，蒸发强度较小。坡顶日照时间相对较长、蒸发强度大，加之局部出现裸露的风沙土，其持水能力较差，降水之后立即蒸发，导致土壤含水率很低。

西坡、东坡地势居中，水分蓄积和下渗程度居于底顶和丘间地之间，其水分含量也居于两者之

间。就东、西坡相比，西坡土壤含水率略低于东坡。由于研究区域盛行西风，而西坡为迎风坡，蒸发作用较背风坡强烈。造成迎风坡（西坡）土壤含水率低于背风坡（东坡）土壤含水率，这与朱玉伟等^[21]的研究结果是一致的。

2.3 土壤水分季节变化

图4a~图4e分别描述了西坡、坡顶、东坡、丘间地和梭梭群落土壤含水率随时间变化的过程。西坡在3月份土壤含水率开始增大，在6月份达到最大，之后土壤含水率逐渐降低；在9月份，表层土壤含水率较大。坡顶2013年下层（200~400 cm）土壤含水率基本不变，且保持较低的含水量，表层土壤在3月和9月含水量较大，在6月份形成峰值区，深层土壤水分全年都维持较低值。东坡和西坡表层土壤含水率有相似的变化规律，在3~6月和8~11月深层土壤含水率较其他月份高。丘间地呈现春夏季土壤含水率大，秋冬季含水量小的特征，150 cm以下土壤含水率季节变化不显著。从不同深度的土壤含水率平均值来看，在生长季（4~10月）内，表层土壤含水率变化较大，深层变率较小。

由于融雪水入渗补给、降水入渗补给和蒸散发的共同作用，土壤水分变化过程可分为3个阶段，3—5月是土壤水分补给期，6—10月是土壤水分耗损期，11月—次年2月是土壤水分稳定期。春季（3—5月）是古尔班通古特沙漠土壤水分变化最迅速的时期^[23]，受冬季雪融水和春季雨水补给，土壤含水率增大。在5月之后，气温迅速回升导致土壤蒸发加剧，另一方面植物开始萌芽，尤其是大量的短命植物的生长，随着叶面积增长而蒸腾量快速上升，导致土壤水分严重耗损；降水后表层土壤水分有短暂上升和快速下降的波动，但土壤含水率仍呈整体下降趋势。在11月上旬地表已被积雪覆盖，加之气温较低，土壤冻结后土壤水由液态变成固态。此时期树木已停止生长，整个冬季土壤含水率基本没有变化。

2.4 丘间地不同发育阶段梭梭对根区土壤水分的影响

虽然丘间地土壤含水率远高于沙丘各部位，但由于植被分布不同，丘间地内土壤水分空间分布也有较大的差异。因此，选取丘间地不同发育期梭梭，来分析其对根区土壤含水率的影响。

由图5可见，在春季，青年阶段梭梭根区土壤含水率较高，最大值达到4.6%，经显著性检验，与壮年梭梭根区土壤含水率的差异极显著（ $p < 0.01$ ），根区土壤含水率是壮年阶段梭梭根区土壤含水率的1.12倍。枯树根区土壤含水率、裸地土壤含水率均略高于壮年阶段梭梭根区土壤含水率，但三者差异不显著。

在夏季，壮年阶段梭梭根区土壤含水率最低，与青年梭梭和枯树根区土壤含水率均存在显著性差异（ $p < 0.05$ ），其余三者土壤含水率相差不大。夏季，壮年阶段梭梭，其巨大冠幅的蒸腾作用造成大量的水分散失，导致根区土壤含水率很低。而青年阶段梭梭，其蒸腾作用较弱，且与遮阴效应相互制衡，使得其根区土壤含水率与枯树根区土壤含水率、裸地土壤含水率相差不大。

在秋季，青年阶段梭梭根区、壮年阶段梭梭根区、枯树根区土壤含水率差异不显著。该季，梭梭落叶衰败，蒸腾作用逐渐减弱，到后期随梭梭完全衰败而消失，使得不同发育阶段梭梭根区土壤含水率逐渐趋于一致。

整体来看，不同发育阶段梭梭根区土壤含水率秋季均显著低于春、夏两季。壮年阶段梭梭根区土壤含水率各季均较低。青年阶段梭梭根区各层土壤含水率春、夏、秋季分别介于3.5%~4.5%、3.5%~4.0%和3.0%~3.5%之间，各季相差较大。

3 结 论

在0~400 cm土壤垂直剖面上，土壤含水率明显存在两个带：在0~200 cm之间，土壤含水率较高且随深度变化较大，在200~400 cm，土壤含水率较低且基本不随深度变化；依据土壤水分变异系数，0~40 cm土层为土壤水分活跃层，40~200 cm土层为土壤水分次活跃层，200 cm以下土层为土壤水分相对稳定层。

西坡、坡顶和东坡的土壤含水率差异不显著，丘间地土壤含水率与西坡、坡顶和东坡土壤含水率均存在极显著性差异，且丘间地土壤含水率相对较高。活跃层、次活跃层和相对稳定层不同坡位土壤含水率差异与全剖面差异特征相一致。

土壤水分具有明显的季节变化规律，从季节划分，3—5月是土壤水分补给期，6—10月是土壤水

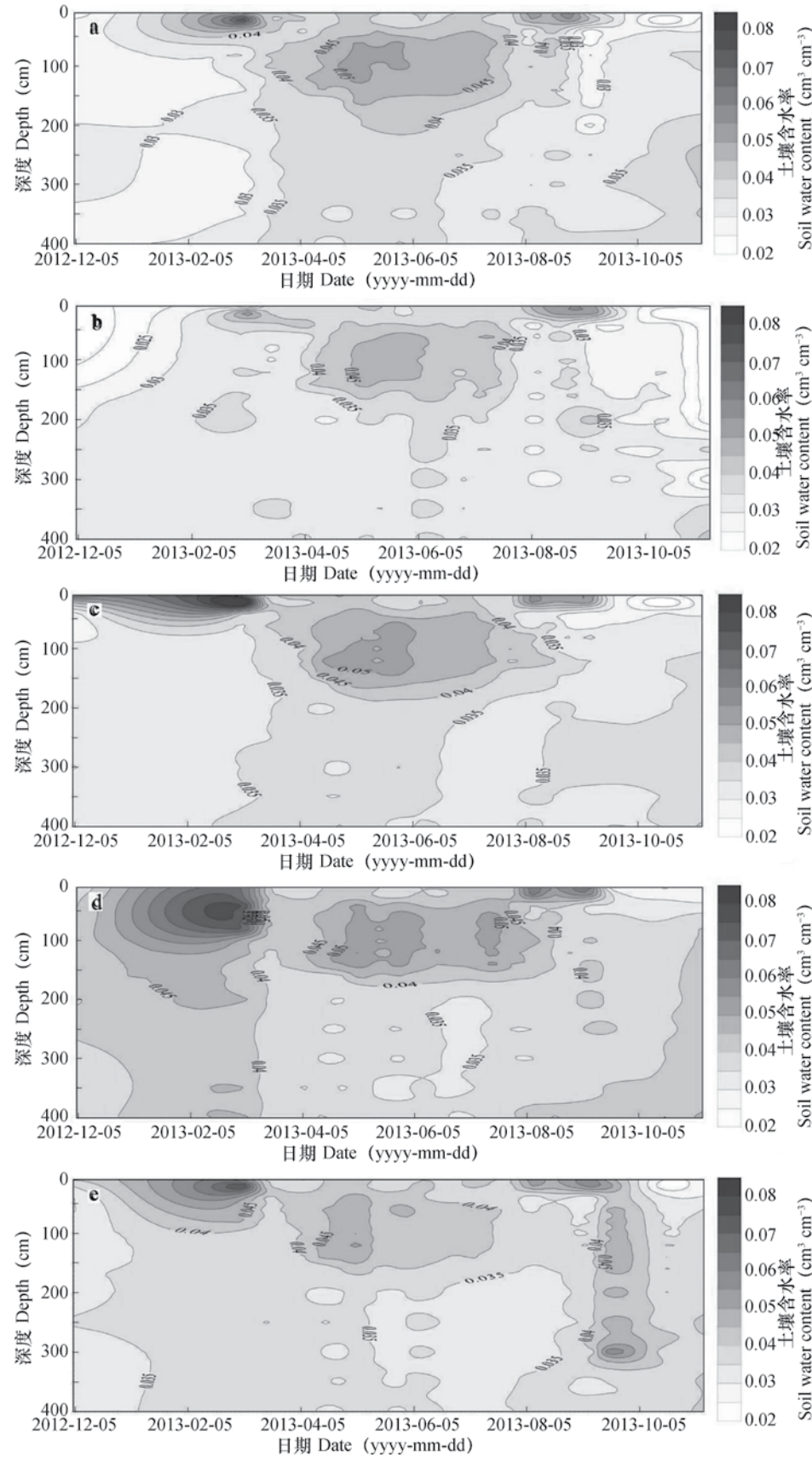


图4 不同坡位土壤水分等值线图 (a~e分别代表西坡、坡顶、东坡、丘间地和梭梭群落)

Fig.4 Isoline diagram of soil water content relative to slope position (a~e stands for west slope, slope top, east slope, lowland between sandy dunes and *Halawylon ammodendron* community, respectively)

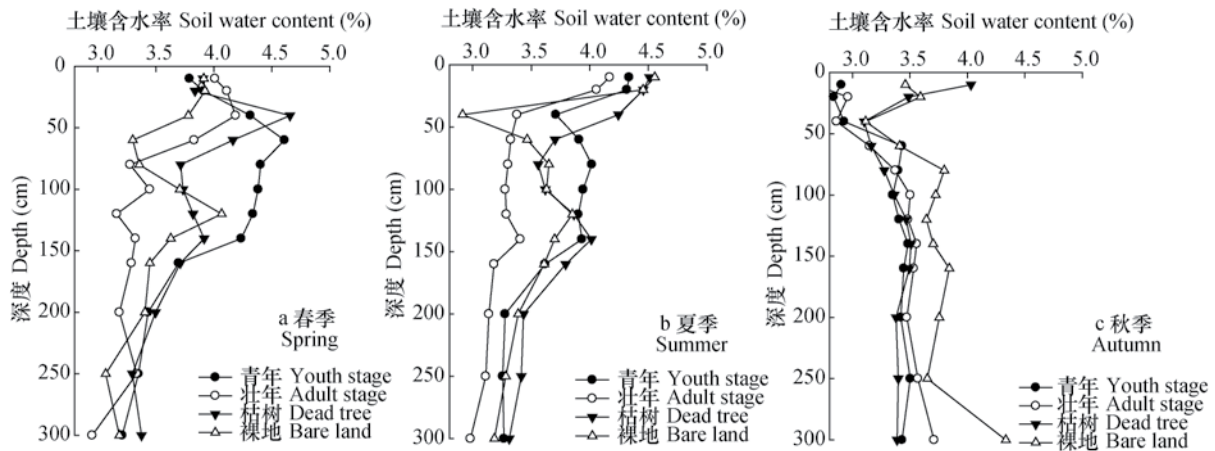


图5 不同发育阶段梭梭根区土壤含水率

Fig.5 Soil water content in root zone of *Haloxylon ammodendron* relative to growth stage

分耗损期，11月—次年2月是土壤水分稳定期。

不同发育阶段梭梭根区土壤含水率秋季均显著低于春、夏两季；壮年阶段梭梭根区土壤含水率各季都较低，青年阶段梭梭根区土壤含水率各季相差较大；青年阶段梭梭和壮年阶段梭梭根区土壤含水率春、夏季均存在显著性差异。

参考文献

- [1] 孙长忠, 黄宝龙, 陈海滨, 等. 黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究. 北京林业大学学报, 1998, 20 (3): 7—14
Sun C Z, Huang B L, Chen H B, et al. Interaction between soil water conditions and different kinds of artificial plant cover in the Loess Plateau (In Chinese). Journal of Beijing Forestry University, 1998, 20 (3): 7—14
- [2] 蒋超, 钱亦兵, 杨海峰, 等. 古尔班通古特沙漠南缘浅层风沙土含水量空间变异. 干旱区研究, 2009, 26 (4): 519—525
Jiang C, Qian Y B, Yang H F, et al. Spatial variation of moisture content in shallow Aeolian sandy soil in the southern marginal zone of Gurbantungut Desert (In Chinese). Arid Zone Research, 2009, 26 (4): 519—525
- [3] 刘发民, 张应华, 仵彦卿, 等. 黑河流域荒漠地区梭梭人工林地土壤水分动态研究. 干旱区研究, 2002, 19 (1): 27—31
Liu F M, Zhang Y H, Wu Y Q, et al. Soil water regime under the shrubberies of *Haloxylon ammodendron* in the desert regions of the Heihe watershed (In Chinese). Arid Zone Research, 2002, 19 (1): 27—31
- [4] 班卫强, 严成, 尹林克, 等. 立地条件和积雪厚度对古尔班通古特沙漠梭梭造林的影响. 中国沙漠, 2012, 32 (2): 395—398
Ban W Q, Yan C, Yin L K, et al. Effects of site condition and snow depth on *Haloxylon ammodendron* afforestation in Gurbantungut Desert (In Chinese). Journal of Desert Research, 2012, 32 (2): 395—398
- [5] Kemp P R. Phenological patterns of Chihuahuan Desert plants in relation to the timing of water availability. The Journal of Ecology, 1983, 71 (2): 427—436
- [6] Gad M R M, Kelan S S. Soil seed bank and seed germination of sand dunes vegetation in North Sinai-Egypt. Annals of Agricultural Sciences, 2012, 57 (1): 63—72
- [7] Cornelius J M, Reynolds J F. On determining the statistical significance of discontinuities with ordered ecological data. Ecology, 1991, 72 (6): 2057—2070
- [8] 邱开阳, 谢应忠, 许冬梅, 等. 毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤水分和植被空间格局. 生态学报, 2011, 31 (10): 2697—2707
Qiu K Y, Xie Y Z, Xu D M, et al. Spatial pattern of soil moisture and vegetation attributes along the critical area of desertification in southern Mu Us Sandy Land (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (10): 2697—2707
- [9] 孙海龙. 浅地下水埋深条件下沙质人工草地SPAC水分运移与消耗研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 2008
Sun H L. Study on the movement and consumption of SPAC water in sandy artificial pasture with shallow groundwater table (In Chinese). Huhehot: Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, 2008
- [10] 李新荣, 马凤云, 龙立群, 等. 沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究. 中国沙漠, 2001, 21 (3): 217—

- 222
Li X R, Ma F Y, Long L Q, et al. Soil water dynamics under sand-fixing vegetation in Shapotou area (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2001, 21 (3): 217—222
- [11] Anderson J E, Shumar M L, Toft N L, et al. Control of the soil water balance by sagebrush and three perennial grasses in a cold-desert environment. *Arid Land Research and Management*, 1987, 1 (4): 229—244
- [12] Yoder C K, Nowak R S. Soil moisture extraction by evergreen and drought-deciduous shrubs in the Mojave Desert during wet and dry years. *Journal of Arid Environments*, 1999, 42 (2): 81—96
- [13] 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. *土壤学报*, 2006, 43 (1): 152—154
Lu Y Z, Hu K L, Li B G. The spatio-temporal variability of soil water in sand dunes in Mowusu Desert (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43 (1): 152—154
- [14] 钱亦兵, 吴兆宁. 古尔班通古特沙漠环境研究. 北京: 科学出版社, 2010
Qian Y B, Wu Z N. *Environments of Gurbantunggut Desert* (In Chinese). Beijing: Science Press, 2010
- [15] 赵成义, 王玉朝. 荒漠—绿洲边缘区土壤水分时空动态研究. *水土保持学报*, 2005, 19 (1): 124—127
Zhao C Y, Wang Y C. Study on spatial and temporal dynamic of soil water content in desert-oasis ecotone (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19 (1): 124—127
- [16] 张静, 张元明, 周智彬, 等. 古尔班通古特沙漠生物结皮影响下土壤水分的日变化. *干旱区研究*, 2007, 24 (5): 661—668
Zhang J, Zhang Y M, Zhou Z B, et al. Study on daily change of soil moisture content under the effect of microbiotic crusts in the Gurbantunggut Desert (In Chinese). *Arid Zone Research*, 2007, 24 (5): 661—668
- [17] 赵从举, 雷加强, 王雪芹, 等. 古尔班通古特沙漠腹地春季土壤水分空间分异研究. *干旱区地理*, 2003, 26 (2): 154—158
Zhao C J, Lei J Q, Wang X Q, et al. The spatial distribution of the spring soil moisture in the hinter land of Gurbantunggut Desert (In Chinese). *Arid Land Geography*, 2003, 26 (2): 154—158
- [18] 蒋进, 王雪芹, 雷加强. 古尔班通古特沙漠工程防护体系内土壤水分变化规律. *水土保持学报*, 2003, 17 (3): 74—77
Jiang J, Wang X Q, Lei J Q. Soil moisture distribution in straw barrier system in Gurbantunggut Desert of Xinjiang, China (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17 (3): 74—77
- [19] 陈荣毅. 古尔班通古特沙漠表层土壤凝结水水汽来源特征分析. *中国沙漠*, 2012, 32 (4): 985—989
Chen R Y. Source of soil condensation water in the Gurbantunggut Desert (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2012, 32 (4): 985—989
- [20] 王雪芹, 张元明, 蒋进, 等. 古尔班通古特沙漠南部沙垄水分动态——兼论积雪融化和冻土变化对沙丘水分分异作用. *冰川冻土*, 2006, 28 (2): 262—268
Wang X Q, Zhang Y M, Jiang J, et al. Variation pattern of soil water in longitudinal dune in the southern part of Gurbantunggut Desert: How snow melt and frozen soil change affect the soil moisture (In Chinese). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28 (2): 262—268
- [21] 朱玉伟, 陈启民, 刘茂秀, 等. 古尔班通古特沙漠南缘沙丘水分的时空分布特征. *草业科学*, 2008, 25 (12): 6—11
Zhu Y W, Chen Q M, Liu M X, et al. Spatiotemporal distribution of moisture content in sand dunes of the unirrigated forestation along the southern marginal zone of Gurbantunggut Desert (In Chinese). *Pratacultural Science*, 2008, 25 (12): 6—11
- [22] 张建兵, 熊黑钢, 郭宇翔, 等. 古尔班通古特沙漠南缘春季沙丘不同部位表层土壤水分空间变异性研究. *水土保持研究*, 2010, 17 (2): 125—129, 135
Zhang J B, Xiong H G, Guo Y X, et al. Study on spatial variability of surface soil moisture in different positions of sand dunes in south Gurbantunggut Desert (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17 (2): 125—129, 135
- [23] 周宏飞, 肖祖炎, 姚海娇, 等. 古尔班通古特沙漠树枝状沙丘土壤水分时空变异特征. *水科学进展*, 2013, 24 (6): 771—777
Zhou H F, Xiao Z Y, Yao H J, et al. Temporal and spatial variation of soil moisture in dendritic sand dune over Gurbantunggut Desert in central Eurasia (In Chinese). *Advances in Water Science*, 2013, 24 (6): 771—777
- [24] 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. *生态学报*, 2002, 22 (11): 1923—1932
Zhang L Y, Chen C D. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut Sandy Desert (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (11): 1923—1932
- [25] 刘耘华, 杨玉玲, 盛建东, 等. 北疆荒漠植被梭梭立地土壤养分“肥岛”特征研究. *土壤学报*, 2010, 47 (3): 545—554

- Liu Y H, Yang Y L, Sheng J D, et al. Fertile island characteristics of soil nutritions in *Haloxylon ammodendron* land in North Xinjiang (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47 (3) : 545—554
- [26] 邹文秀, 韩晓增, 王守宇, 等. 黑土区土壤剖面水分动态变化研究. *水土保持通报*, 2009, 29 (3) : 130—132
- Zou W X, Han X Z, Wang S Y, et al. A study on dynamics of soil moisture of soil profile in black soil (In Chinese). *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29 (3) : 130—132
- [27] 冯起, 高前兆. 禹城沙地水分动态规律及其影响因子. *中国沙漠*, 1995, 15 (2) : 151—157
- Feng Q, Gao Q Z. Analysis on variation of sandy soil moisture and its influencing factors in Yucheng, Shandong (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 1995, 15 (2) : 151—157
- [28] 刘新平, 张铜会, 赵哈林, 等. 流动沙丘干沙层厚度对土壤水分蒸发的影响. *干旱区地理*, 2006, 29 (4) : 523—526
- Liu X P, Zhang T H, Zhao H L, et al. Influence of dry sand bed thickness on soil moisture evaporation in mobile dune (In Chinese). *Arid Land Geography*, 2006, 29 (4) : 523—526
- [29] 杨艳凤, 周宏飞, 徐利岗. 古尔班通古特沙漠原生梭梭根区土壤水分变化特征. *应用生态学报*, 2011, 22 (7) : 1711—1716
- Yang Y F, Zhou H F, Xu L G. Dynamic variation of soil moisture in *Haloxylon ammodendron* root zone in Gurbantunggut Desert (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (7) : 1711—1716

Spatio-temporal Variation of Soil Moisture in Fixed Dunes at the Southern Edge of Gurbantunggut Desert

ZHU Hai^{1, 2} HU Shunjun^{1†} CHEN Yongbao³

(1 State Key Laboratory of Desert and Oasis in Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academic of Sciences, Urumqi 830011, China)

(2 University of Chinese Academic of Sciences, Beijing 100049, China)

(3 Hubei Province Coal Geology 125 Team, Yichang, Hubei 443000, China)

Abstract Soil moisture is the main restrictive factor for the growth of desert vegetation in the Gurbantunggut Desert. Three soil moisture monitoring sections (include 23 soil moisture monitoring points) were set to research the spatio-temporal variation of soil moisture in a fixed dune at the southern edge of Gurbantunggut Desert in December 2012, two of the monitoring sections were set along the transverse section of dune, the third one which is vertical to the above-mentioned two soil moisture monitoring sections was set in the interdune. The soil moisture monitoring points were located in the interdune, west slope, east slope and top of the dune, respectively. In-situ observation was performed from December 2012 to November 2013 of soil moisture in the 0 ~ 400 cm soil layer of the fixed sand dune with a neutron probe, to explore spatio-temporal variation of moisture content in different slope positions of the fixed dune and impact of *Haloxylon ammodendron* on soil moisture content in the root zone of the plant at its different growth stages. Results show that (1) a 0 ~ 400 cm soil profile could be divided into two parts according to average soil moisture content: soil moisture content is higher and vary a lot with the depth in 0 ~ 200 cm soil layer, soil moisture content is lower and relatively constant with depth in 200 ~ 400 cm soil layer; based on the variation coefficients of soil moisture content, a 0 ~ 400 cm soil profile could be divided into 3 layers: active layer (0 ~ 40 cm), sub-active layer (40 ~ 200 cm) and relatively steady layer (200 ~ 400 cm); (2) the difference in soil moisture content was not significant between slope positions, in the west slope, east slope and top of the dune, but it was significant between interdune and the above-mentioned three slope positions ($p < 0.01$), and the soil moisture content in the former was relatively higher; the difference of soil moisture content in different slope positions in active layer, sub-active layer and relatively steady layer consistent with the

difference of soil moisture content in the whole profile (0 ~ 400 cm) ; in active layer, soil moisture content in the interdune is 1.25 times, 1.26 times, 1.21 times of the soil moisture content in the west slope, east slope and top of the dune, respectively; in sub-active layer, soil moisture content in the interdune is 1.30 times, 1.36 times, 1.25 times of the soil moisture content in the west slope, east slope and top of the dune, respectively; in relatively steady layer, soil moisture content in the interdune is 1.20 times, 1.22 times, 1.17 times of the soil moisture content in the west slope, east slope and top of the dune, respectively; (3) soil moisture content has obvious temporal variation, the annual variation of soil moisture content could be divided into 3 periods, i.e., moisture gaining period (from March to May) , moisture losing period (from June to October) and moisture stable period (from November to February the following year) ; Soil moisture recharge is more than discharge in moisture gaining period and less than discharge in moisture losing period, soil moisture recharge and discharge are almost same in moisture stable period; (4) soil moisture content was much lower in autumn than in spring and summer in the root zone of the *Haloxylon ammodendron* of different growth stages; was quite low in all the four seasons in the root zone of grown-up *Haloxylon ammodendron*; varied sharply between seasons in the root zone of young *Haloxylon ammodendron* and between the grown-up plants and the young plants in spring and summer.

Key words Fixed dune; Soil moisture; Root zone of *Haloxylon ammodendron*; Gurbantunggut Desert

(责任编辑: 汪枫生)