

DOI: 10.5846/stxb201212101775

李从娟,雷加强,徐新文,高培,邱永志,许波,钟显彬,王永东,闫健,王桂芬.古尔班通古特沙漠土壤水分与化学性质的空间分布.生态学报,2014,34(15):4380-4389.

Li C J, Lei J Q, Xu X W, Gao P, Qiu Y Z, Xu B, Zhong X B, Wang Y D, Yan J, Wang G F. Spatial pattern for soil water and chemical properties in Gurbantunggut Desert. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(15): 4380-4389.

古尔班通古特沙漠土壤水分与化学性质的空间分布

李从娟^{1,*},雷加强¹,徐新文¹,高培²,邱永志³,许波³,钟显彬³,
王永东¹,闫健³,王桂芬³

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所,国家荒漠-绿洲生态建设工程技术研究中心,乌鲁木齐 830011;
2. 新疆信息工程学校,乌鲁木齐 830013; 3. 中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司,库尔勒 841000)

摘要:区域尺度上,气象和水文状况是影响植被分布格局和土壤性状的主要因子,当然,局部的地貌特征及植被分布对土壤性质的影响也是不能忽视的。以古尔班通古特沙漠为研究对象,对其南缘至腹地约25 km的土壤水分与化学性质的空间分布及其相互关系进行研究,结果显示:水平方向上,从沙漠南缘至腹地,土壤水分在丘底呈减小趋势,尤其是距边缘10 km以外,且在距边缘6—7 km出现1个峰值。同时土壤pH值和电导率的大小以及有机碳,全氮,有效氮,全磷和有效磷含量与土壤水分的变化状况相似,在丘底呈减小趋势,而在丘坡和丘顶上均呈波动分布。这说明丘底土壤性质的空间格局受到气象和水文状况的显著影响,而丘坡和丘顶土壤性质并没有受到气象和水文状况的显著影响,这种波动分布主要由采样点的设置及植物的分布状况所引起。丘底土壤水分及化学性质均显著高于丘坡和丘顶,这说明地貌特征对土壤性质的空间分布有显著影响。垂直方向上,不同深度土层土壤性质也存在显著差异,土壤水分,pH值和电导率随着土层深度增加而增加,而土壤养分随土层深度增加而减小。相关分析结果表明:仅4、5月份的土壤含水量及年平均土壤含水量与丘底土壤化学性质显著正相关,这可能由于冬季积雪的融化导致了土壤水分在4、5月份的聚集比较明显,使土壤水分对土壤化学性质发挥作用。总之,土壤空间异质性是由气象和水文以及地貌特征共同影响的,而土壤空间异质性的变异进而影响到植被的分布,植被的分布反过来又影响土壤的空间分布,因此土壤的空间分布和植被的空间分布是相互影响,共同作用的。

关键词:沙丘;土壤水分;土壤化学性质;相关分析

Spatial pattern for soil water and chemical properties in Gurbantunggut Desert

LI Congjuan^{1,*}, LEI Jiaqiang¹, XU Xinwen¹, GAO Pei², QIU Yongzhi³, XU Bo³, ZHONG Xianbin³, WANG Yongdong¹, YAN Jian³, WANG Guifen³

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, National Engineering Technology Research Center for Desert-Oasis Ecological Construction, Urumqi 830011, China

2 Xinjiang Information Engineering School, Urumqi 830013, China

3 Tarim Branch, Petro China Company Limited, Kurle 841000, China

Abstract: Spatial heterogeneity is considered as a ubiquitous feature in natural ecosystems. It is also well known that soil heterogeneity is a basic element for competitive and / or facilitative for resources competitive and interactions between plants, especially in the stressed environments of arid shrub-desert and steppe ecosystems. Consequently, soil spatial heterogeneity may determine the occurrence of plants, structure of vegetation and pattern of landscapes, and greatly affect biogeochemical cycles. At the regional or landscape scale, climatic and geomorphologic factors often exert strong influences

基金项目:国家重点基础研究发展计划973项目(2009CB825102);中国科学院西部博士专项(XBBS201205);新疆维吾尔自治区重大科技专项(201130106-3);国家自然科学基金(31300449, 41030530)联合资助

收稿日期:2012-12-10; **网络出版日期:**2014-03-03

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: li_congjuan@163.com

on the soil spatial heterogeneity, however, local-scaled topography and vegetation should not be ignored because they are important factors in the formation of small-scaled landscape patterns. This study was designed to investigate the spatial pattern of soil water and chemical properties and their relationship in Gurbantunggut Desert ranged from the south fringe to the hinterland of about 25 km. The results showed that soil water and soil chemical properties presented a decreasing trend from the south fringe to the hinterland at the interdune, especially at about 10 km away from the south fringe, e.g., a significant peak value was appeared at the distance of 6—7 km away from the fringe. However, it was a fluctuated pattern at the slope and top dune; it indicated that climatic and geomorphologic factors exerted strong influences on the spatial heterogeneity of soil at the interdune, but not on the slope and top dune. This phenomenon can be explained as the significant decreasing of groundwater level and precipitation from the south fringe to the hinterland. In addition, soil water and chemical properties were significantly higher at the interdune than they were at the slope and the top dune, since the local topographic conditions resulted in water and soil accumulating significantly at the interdune compared to the slope and the top dune. Furthermore, soil water and chemical properties at different soil depth were significantly different, soil water content, pH and electrical conductivity increased with the soil depth, while soil nutrients content decreased with the soil depth. It indicated soil salinity and soil nutrient status behaved differently in spatial heterogeneity, with an inverse distribution between soil nutrients and soil salinity/alkalinity at different soil depth. Correlation analysis also confirmed that soil water and chemical properties were significantly correlated at the interdune in April, May and annual averaged period. It further documented that climatic and geomorphologic factors exert strong influences on the spatial heterogeneity of soil, especially since topography is the most important factor for the spatial pattern in soil properties at Gurbantunggut Desert, which lead to soil water and soil resources accumulated significantly at the interdune in April and May. In summary, our results showed that within a population or community and over tens of kilometers, soil spatial heterogeneity was caused by climatic, geomorphologic (abiotic) and dominant plant types (biotic) together. However, these biotic and abiotic factors were not absolutely separated, but inter-linked each other, i.e., plant-soil interactions. The spatial heterogeneity of abiotic factors determined the spatial patterning of biotic factor, conversely, spatial patterns of plant distribution influenced rates of soil physical and biogeochemical processes.

Key Words: sand dune; soil water; soil chemical properties; correlation analysis

土壤性质是一系列土壤水分、物理和化学性质等的综合反映,体现了土壤环境的基本状况,其性质具有时间和空间尺度上的变异性^[1]。近年来,土壤性质的空间分布格局已成为异质性研究的一个重要领域^[2-6]。研究沙漠地区风沙土水分和化学性质的空间变异是了解沙漠地区土壤与植被关系以及植被空间格局的基础,对恢复沙漠植被和防治沙漠化具有重要意义。Delcourt 和 Delcourt^[7]的研究表明:气象和水文状况在大尺度上影响土壤的空间异质性,进而影响植被分布格局。当然,局部的地貌特征对土壤空间异质性的影响也是不能忽视的,Enoki 等^[8]和 Itoh 等^[9]的研究表明坡度和地形因子通过控制土壤水分的平衡来影响土壤资源和植被分布,它将导致土壤资源沿着丘坡呈梯度分布,进而影响养分的迁移及其在坡面上的重新分配。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,对整个生态系统的水热平衡起决定作用。尤其是干旱和半干旱地区,土壤水分状况更是决定植被格局和土壤状况的关键因素^[10-12]。

古尔班通古特沙漠沙丘多呈南北延伸,长度达几十到几十公里,所以南北方向地貌形态变化不大,但地下水位从沙漠南缘到腹地逐渐增深,边缘地下水位 5 m 左右,内部达 16 m 左右^[13],同样植被盖度从沙漠南缘至腹地也发生了显著变化,尤其是建群种梭梭,在距边缘 10 km 以后,成年梭梭大部分死亡,只有不到 3% 的幼青年梭梭存在。然而,东西方向上沙漠地貌变异强烈,沙丘呈 \cap 状分布^[13-14]。因此,弄清楚沙漠南缘至腹地土壤水分和化学性质的分布状况对探明植被的空间分布格局及其形成因素有重要意义。本文以古尔班通古特沙漠土壤为研究对象,

分别研究土壤水分和化学性质的空间分布及其相互关系,目的在于探明风沙土性质的空间变异及其影响因子,进而为植被的空间分布格局以及植被恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

古尔班通古特沙漠($44^{\circ}15'—46^{\circ}50' N$, $84^{\circ}50'—91^{\circ}20' E$)是中国第二大沙漠,也是中国最大的固定与半固定沙漠^[13]。年蒸发量2 000 mm,为典型的大陆性干旱气候,年降水量不超过150 mm,沙漠腹地仅70 mm左右。主要集中在早春到初夏时节,冬季一般积雪深度为20—30 cm,个别年份甚至达30 cm以上^[13-14]。融雪水加春季降水占全年降水的65%以上,这是土壤水分最为丰富的时期。也是维

持古尔班通古特沙漠地区植被生存的主要水分来源。地表植被盖度垄间和丘底最大,丘坡次之,丘顶最小,总植被覆盖度在15%—50%之间,主要建群种有白梭梭(*Haloxylon persicum*)、梭梭(*H. ammodendron*)等,其中梭梭和白梭梭等灌木植物群落的盖度不足30%。受气流、盆地地形、水文和植被等因素的影响^[13],沙漠地貌形态出现明显的东西和南北方向上的分异。南北方向地貌形态变化不大,但地下水位和降水从边缘到腹地分别呈降低和减小趋势(表1)^[3 14]。相应地,植被种类和盖度也发生了明显变化,尤其是梭梭种群,其盖度从沙漠南缘的20%—30%下降到腹地的3%左右(表1)。东西方向沙漠地貌变异强烈,成明显的 \cap 状沙丘^[13]。可见,受生物及非生物因子的影响,沙漠土壤性状呈显著的空间异质性。

表1 沙漠南缘与腹地年降雨量,地下水位及植被盖度的对比

Table 1 The comparison of precipitation, groundwater level and vegetation cover between south fringe and hinterland

位置 Position	年降雨量/mm Annual precipitation	地下水位/m groundwater level	草本盖度/% Herb cover	灌木盖度/% Shrub cover	总盖度/% Total cover
南缘 South fringe	150	5	22.67	25.33	48
腹地 Hinterland	70	16	13	3.33	16.33

1.2 样品采集与分析

1.2.1 土样采集

本研究土样的采集包括水平和垂直两个方向。水平方向上,土壤化学性质以表层土壤(0—10 cm)为研究对象,于2008年9月从沙漠南缘至腹地大约25 km分别选取3个完整沙丘样带,沙丘的剖面如图1所示。在所选择的样带上每1 km左右设置一个样地,共24个样地,每个样地分别在沙丘底部(丘底),丘坡中部(丘坡)和丘顶3个样点采取土样(图1),并利用GPS记录每个采样点的空间位置,每个样点取3个重复,每个土样约100 g放入采集袋中带回实验室,这些土样主要用于分析沙漠南缘至腹地土壤的空间分布状况及沙丘不同部位土壤的空间分布状况。土壤含水量的测量以2008年9月GPS定位的样点为研究对象,分别于2010年4月,5月,6月和8月进行。用直径4 cm的土钻在每个样点以3个重复分别取深度为0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm层的土样各约100 g,用烘干法测其土壤含水量。垂直方向上,土样的采集以丘底为研究对象,在沙漠南缘至腹地大约25 km,以大约5 km为间隔随机选取5

个样点,每个样点均设置3个重复,分别取0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm,40—60 cm,60—100 cm 5层土样各约100 g带回实验室,用于后期的化学性质分析。

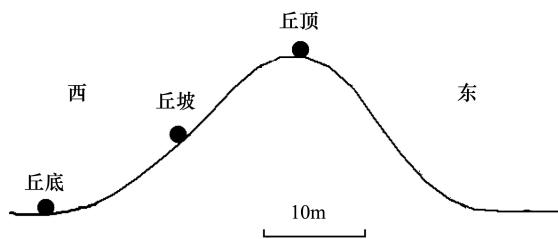


图1 沙丘不同部位取样点示意图

Fig. 1 The sampling points at the different position of sand dune

黑色实行圆球代表在沙丘不同部位丘底,丘坡和丘顶的采样点

1.2.2 土样化学分析

每个土样3个重复,将采集好的土样在自然状态下风干后,过2 mm筛,土壤pH值和电导率用土水比1:5测定;有机质含量用重铬酸钾外热法;全氮含量用凯氏法;全磷含量用HCl-HF消化钼锑抗比色法;有效氮含量用碱解扩散法;有效磷含量用

Bray 法^[15]。

2 数据分析处理

所有数据分析使用 SPSS13.0 和 Origin7.5 软件进行,单因素方差分析 ANOVA Tukey's HSD (Honestly significant difference)用来检验沙丘不同部位表层土壤(0—10 cm)以及不同土层深度(0—100 cm)土壤水分及化学性质是否存在显著差异($P < 0.05$)。利用 Pearson 相关分析来检验不同月份土壤含水量及年平均土壤含水量与表层土壤(0—10 cm)化学性质的相关性,同时结合 Origin7.5 进行制图。

3 结果与分析

3.1 沙丘不同部位土壤水分和化学性质的对比

沙丘不同部位表层土壤(0—10 cm)的水分和化

学性质的空间分布状况如(图 2)所示,除了 pH 和电导率在不同部位无显著差异外($P > 0.05$),其他土壤性质在沙丘不同部位均存在显著差异($P < 0.05$),从丘底到丘顶均呈减小趋势,其中土壤含水量在丘底显著高于丘顶($P < 0.05$),而丘坡则与两者均不存在显著差异($P > 0.05$)。土壤有机碳,全氮,全磷和有效磷含量在丘底,丘坡和丘顶之间均存在显著差异($P < 0.05$),其中土壤养分在丘底含量均达到丘顶含量的 2 倍左右。有效氮在丘底的含量显著高于丘坡和丘顶($P < 0.05$),而丘坡和丘顶之间没有显著差异($P > 0.05$)。这说明地貌特征对土壤水分和化学性质的空间分布有显著影响。

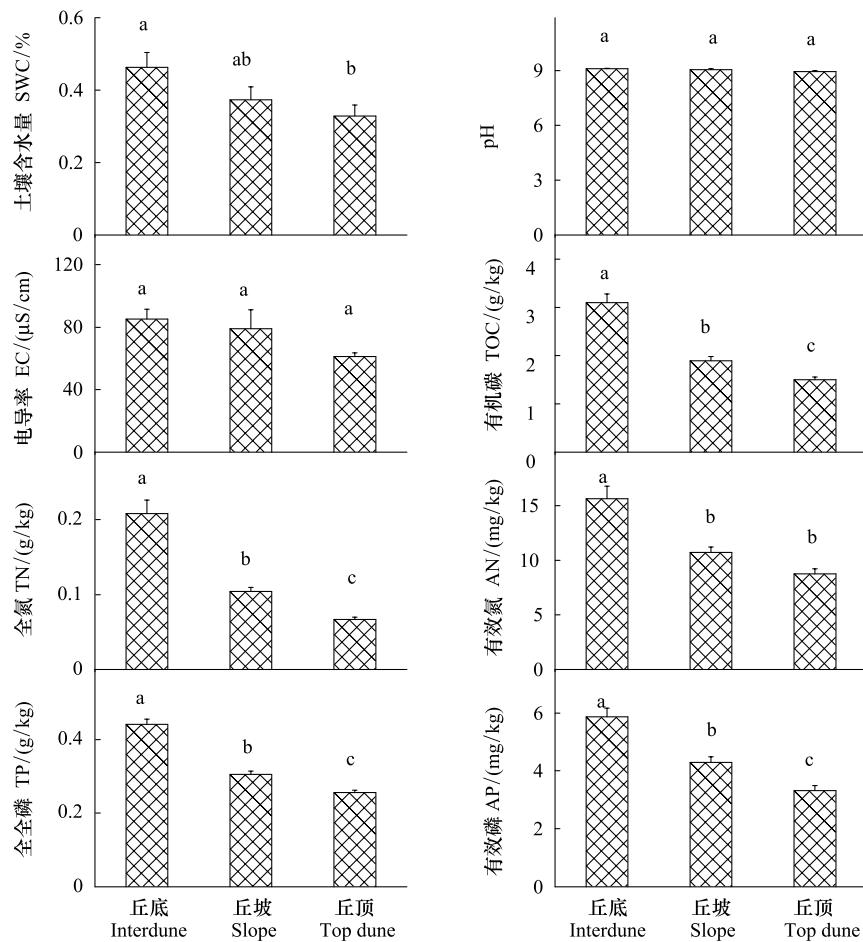


图 2 沙丘不同部位(丘底,丘坡和丘顶)土壤(0—10 cm)水分和化学性质的差异

Fig.2 The difference of soil water content and chemical properties at 0—10 cm soil layers between the interdune, slope and top dune
SWC: soil water content, EC: electrical conductivity, TOC: total organic carbon, TN: total nitrogen, AN: available nitrogen, TP: total phosphorus, AP: available phosphorus;不同的小写字母代表沙丘不同部位土壤性质存在显著差异($P < 0.05$)

3.2 丘底不同土层深度土壤水分和化学性质的对比

从图 3 中可以看出,垂直方向上,丘底土壤含水

量在0—100 cm 的变化由表层(水分含量0.45%)至深层逐渐增加(水分含量2.46%),且土壤含水量在0—10 cm与20—100 cm层达到显著差异($P<0.05$)。同样,pH值也随着土层深度的增加而逐渐增加,从9.09增加到9.4,属碱性土壤,且0—10 cm与60—

100 cm层达到显著差异($P<0.05$),土壤电导率在垂直方向上的变化与土壤含水量的变化相似,从浅层的85.26 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 增加到深层的921.35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($P<0.05$),这说明随着土壤水分的下渗土壤盐分也逐渐向深层转移。

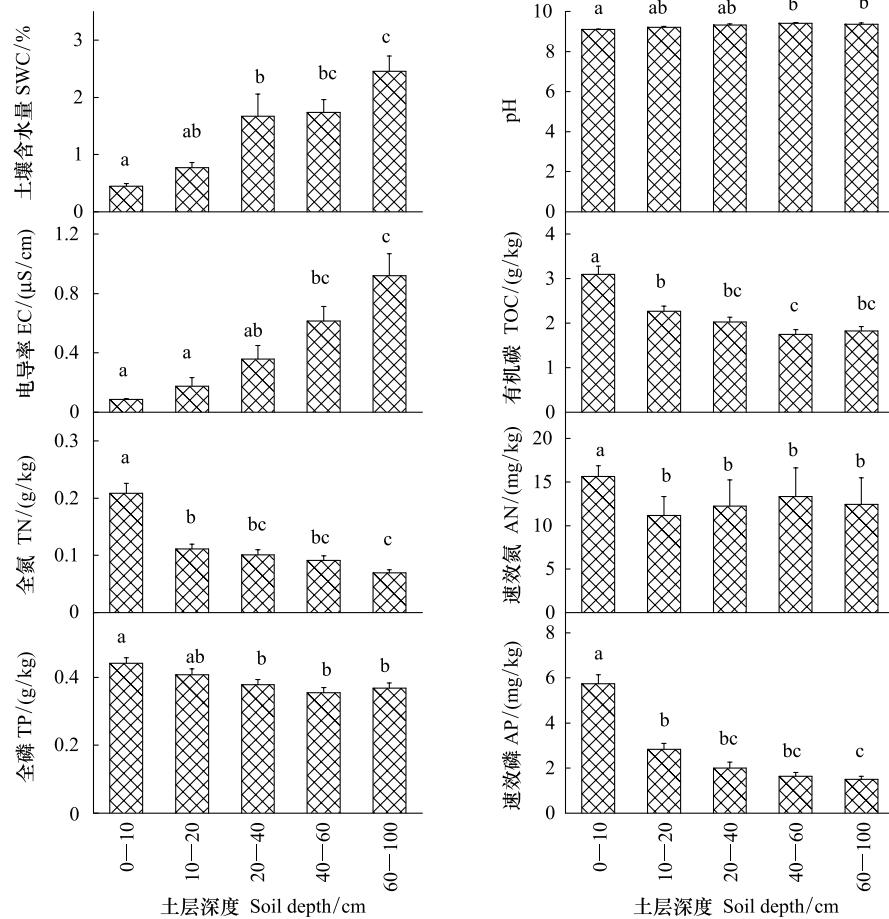


图3 丘底不同土层深度土壤水分和化学性质的差异

Fig.3 The difference of soil water and chemical properties between different soil depth at the interdune

据《新疆土地资源》提出的划分标准,古尔班通古特沙漠风沙土有机质、全氮和全磷含量属很低水平。本研究中土壤有机碳,全氮,有效氮,全磷和有效磷的含量均较低,且他们在垂直方向上的分布与土壤含水量,pH值和电导率的变化趋势相反,随着土层深度的增加,均呈逐渐减小趋势。有机碳和有效氮在0—10 cm土层的含量显著高于10—100 cm层($P<0.05$),全氮和有效磷含量在不同土层之间呈逐渐减小趋势。

3.3 土壤含水量在沙漠南缘至腹地的空间分布

在4,5,6月和8月份,沙漠南缘至腹地丘底土壤含水量的空间变化最大,无论是不同土层之间,还

是不同采样点之间,4,5,6月份土壤含水量总体表现出从边缘至腹地的减小趋势,而在8月份,土壤含水量的空间异质性主要发生在第一点和其它点之间,即与绿洲相连的沙漠第一点的土壤含水量显著高于其它采样点的土壤含水量($P<0.05$)。丘坡土壤含水量呈波动分布,其中4,5,6月份的土壤含水量在不同土层0—10 cm,10—20 cm和20—40 cm之间差异显著($P<0.05$)(图4)。丘顶土壤含水量的空间分布与丘坡的空间分布相似,也呈波动分布。这表明在区域尺度上,气候和水文状况仅对丘底土壤含水量的分布格局有显著影响,当然也与植被分布和植被盖度密切相关。而丘坡和丘顶土壤水分则与气候

和水文状况关系不大,这种波动分布可能与植被对

土壤水分的影响有关。

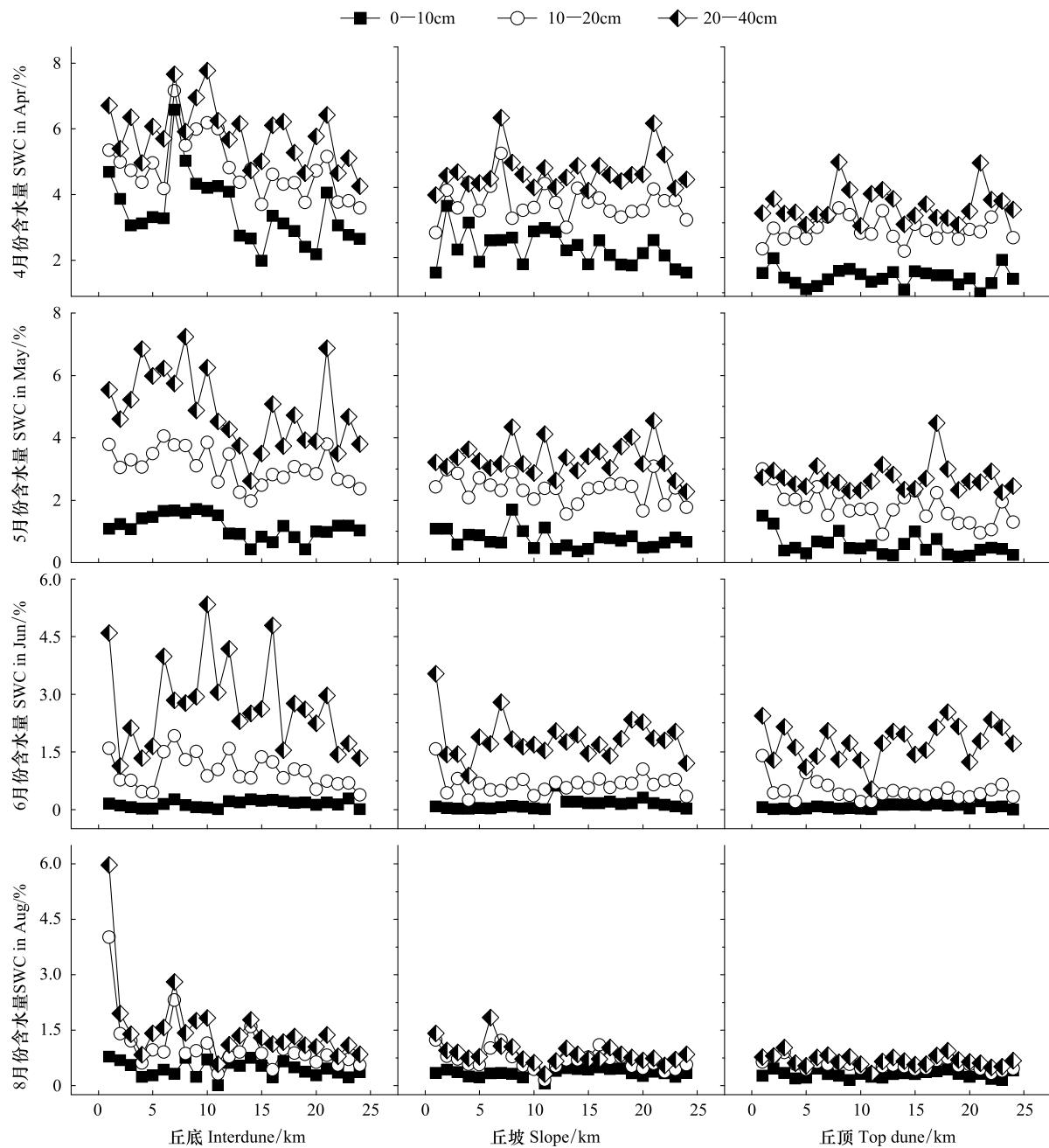


图4 沙漠南缘至腹地沙丘不同部位(丘底,丘坡和丘顶)在4, 5, 6和8月份的土壤含水量

Fig.4 Soil water content (SWC) at the interdune, slope and top dune in April, May, June and August

3.4 土壤pH和电导率从沙漠南缘至腹地的空间分布

沙漠南缘至腹地丘底表层土壤pH值和电导率均呈减小趋势(图5),而在距边缘6—7 km处同样出现了一个峰值,这与年平均土壤含水量在丘底的分布状况相似。丘坡pH值和电导率均呈波动分布。丘顶pH值在距边缘10 km后表现出显著的下降趋势($P < 0.05$),而电导率呈波动分布。以上结果表

明:从沙漠南缘至腹地,土壤pH值和电导率在丘底表现出随着地下水位的逐渐增深以及土壤水分的减少,而呈逐渐下降的趋势。

3.5 土壤养分从沙漠南缘至腹地的空间分布

从沙漠南缘至腹地,丘底表层土壤(0—10 cm)各养分均表现出总体的减小趋势,尤其是在距沙漠南缘10 km以后,土壤养分含量显著减小($P < 0.05$) (图6)。在丘坡和丘顶,土壤养分的分布趋势与pH

值和电导率的分布趋势相似,均呈波动分布(图5)。此外,丘底土壤养分含量显著高于丘坡和丘顶($P < 0.05$),这与土壤含水量在沙丘不同部位的分布状况

一致,这种现象表明沙漠中由于地貌类型的差异,导致了土壤水分和养分资源在沙丘底部的聚集,而在丘坡和丘顶土壤水分和养分资源相对匮乏。

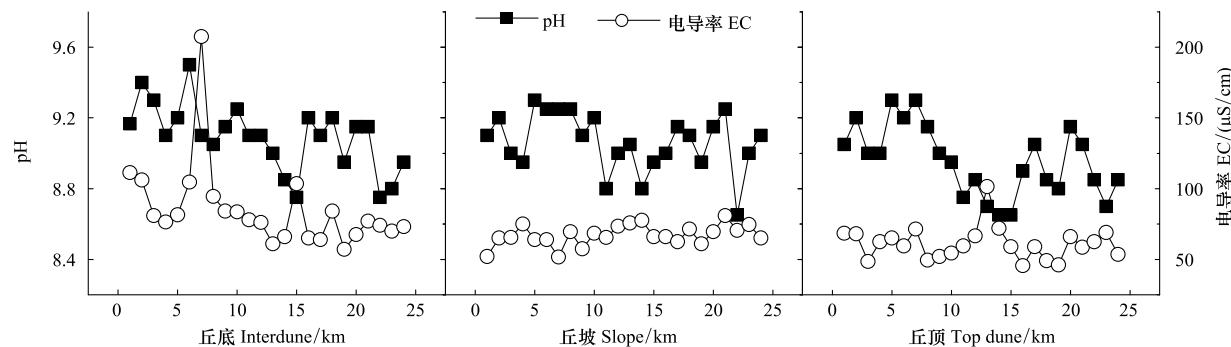


图5 沙丘不同部位(丘底,丘坡和丘顶)土壤pH和电导率的空间分布

Fig.5 Spatial patterns of soil pH and electrical conductivity (EC) at the interdune, slope and top dune

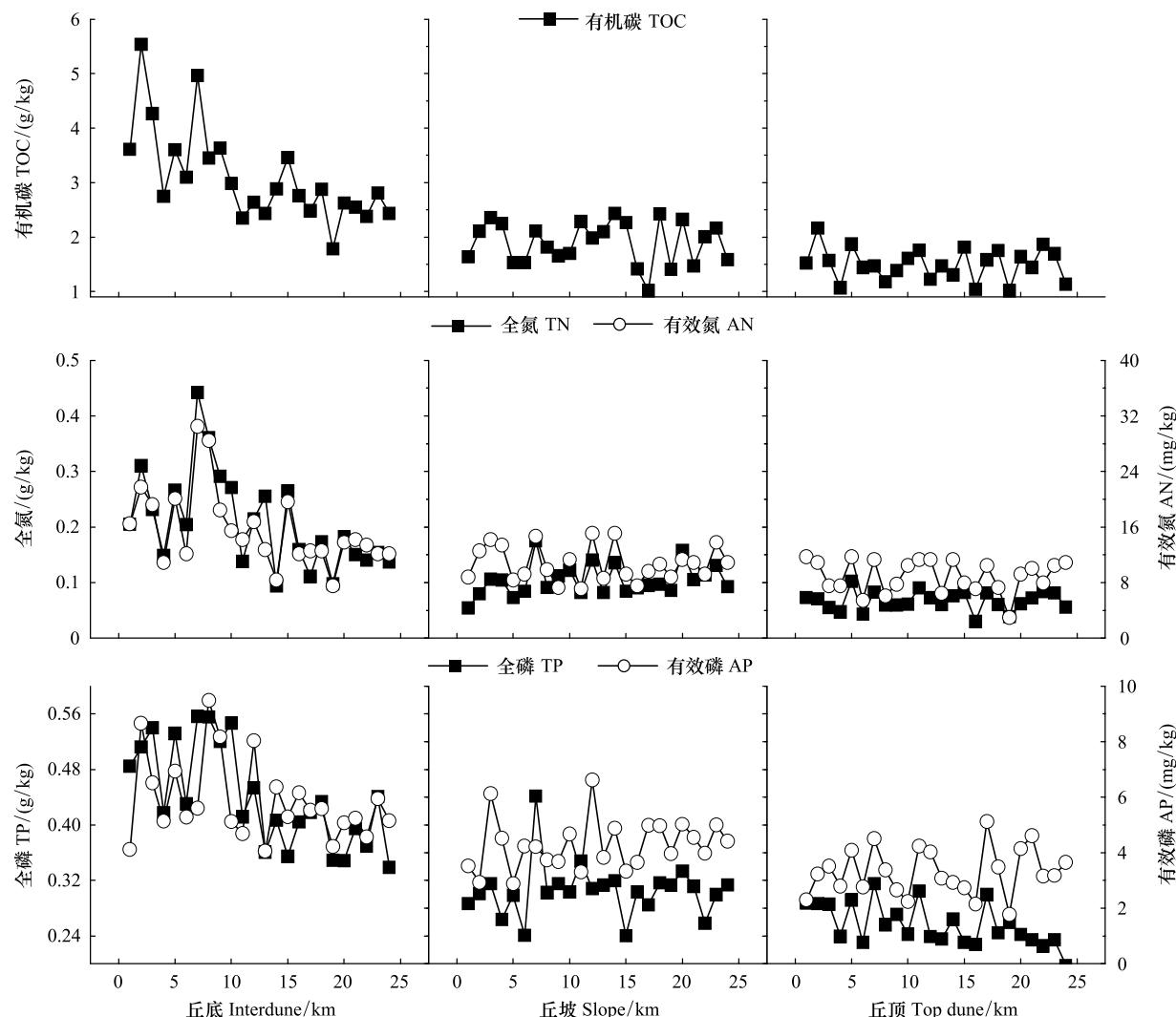


图6 区域尺度沙丘不同部位(丘底,丘坡和丘顶)土壤有机碳,全氮,有效氮,全磷和有效磷的空间分布

Fig.6 Spatial patterns of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), available nitrogen (AN), total phosphorus (TP) and available phosphorus (AP) at the interdune, slope and top dune

3.6 沙漠南缘至腹地土壤含水量与土壤化学性质的相关分析

相关分析(表2)结果显示:土壤绝大多数化学性质与水分条件相对较好的4、5月份土壤含水量和年平均土壤含水量呈显著或极显著正相关,尤其是

与土壤电导率,有机碳,全氮,有效氮和全磷,而6、8月份土壤含水量与土壤化学性质相关性较小,说明4、5月份及年平均土壤含水量对土壤化学性质有显著影响。

表2 土壤含水量与土壤化学性质的相关分析

Table 2 The correlation of soil water content and soil chemical properties

化学性质 Chemical properties	4月 Apr			5月 May			6月 Jun		
	0—10cm	10—20cm	20—40cm	0—10cm	10—20cm	20—40cm	0—10cm	10—20cm	20—40cm
pH	0.32	0.38	0.486 *	0.389	0.642 **	0.534 **	-0.351	0.157	0.327
EC	0.72 **	0.592 **	0.463 *	0.463 *	0.478 *	0.323	0.15	0.611 **	0.132
SOC	0.5 *	0.481 *	0.379	0.389	0.357	0.269	-0.045	0.308	-0.08
TN	0.653 **	0.625 **	0.575 **	0.576 **	0.487 *	0.416 *	-0.055	0.492 *	0.129
AN	0.705 **	0.615 **	0.501 *	0.551 **	0.479 *	0.414 *	-0.071	0.447 *	0.014
TP	0.713 **	0.705 **	0.653 **	0.624 **	0.638 **	0.583 **	-0.198	0.341	0.221
AP	0.319	0.266	0.077	0.261	0.219	0.231	-0.063	0.175	-0.072
化学性质 Chemical properties	8月 Aug			年平均 Annual mean					
	0—10cm	10—20cm	20—40cm	0—10cm	10—20cm	20—40cm			
pH	0.097	0.153	0.214	0.336	0.45 *	0.528 **			
EC	0.055	0.542 **	0.49 *	0.472 *	0.605 **	0.377			
SOC	0.257	0.478 *	0.434 *	0.383	0.495 *	0.284			
TN	0.184	0.31	0.309	0.572 **	0.603 **	0.452 *			
AN	0.175	0.308	0.286	0.653 **	0.615 **	0.394			
TP	0.264	0.401	0.39	0.678 **	0.721 **	0.621 **			
AP	0.24	-0.1	-0.095	0.438 *	0.273	0.118			

EC: 电导率 SOC: 土壤有机碳, TN: 全氮, AN: 有效氮, TP: 全磷, AP: 有效磷; * * 表示在 $P < 0.01$ 水平相关性显著, * 表示在 $P < 0.05$ 水平相关性显著

4 结论与讨论

4.1 区域尺度土壤水分和化学性质的空间变化

区域尺度上,气候和水文状况是影响土壤空间异质性的主要因子^[11]。本研究结果表明,气候和水文状况对古尔班通古特沙漠土壤含水量和土壤化学性质有一定影响,主要表现在从沙漠南缘至腹地土壤含水量和土壤化学性质在丘底部位呈逐渐减小趋势,这种减小的趋势正是由地下水位的加深以及降水的减少所引起(表2)。而在丘坡和丘顶,土壤含水量和土壤化学性质呈波动分布,这表明了在古尔班通古特沙漠南缘到腹地,气候和水文状况对丘底土壤性状有显著影响,而对丘坡和丘顶土壤性质的影响并不显著。在距沙漠南缘大约6—7 km左右出现了一个相对较高的峰值,这可能因为在距南缘6—

7 km左右,人为破坏以及放牧等因素对植被和土壤的干扰相对较小,也可能因为地下水位的急剧变化,这方面有待深入研究。此外,土壤含水量和土壤化学性质在10 km以后的显著减小趋势可能因为地下水位和降雨的显著降低^[14]。地下水位的显著降低以及降雨的减少将会对土壤性质和植被分布产生显著影响,尤其是对沙漠的建群种梭梭影响显著,事实上,梭梭种群的植被覆盖度从南缘的20%左右降到腹地的3%左右(表1)。因此,本研究结果可为古尔班通古特沙漠区域尺度上梭梭种群的空间分布格局提供理论依据。当然,这需要我们结合植物-土壤相互关系作进一步研究。

4.2 地貌特征对土壤含水量和土壤化学性质的影响

地貌特征是控制土壤过程的一个主要因子,在

景观尺度上决定着土壤养分的分布状况^[8-9, 16]。以往研究表明:土壤有机碳及其他养分在坡底或丘底显著聚集^[17-19]。本研究与以往研究结果一致,在植被茂盛的丘底,土壤含水量和各化学性质均显著高于丘坡和丘顶,这一方面可能因为地貌的形成导致了物质资源的重新分配,使土壤水分和养分资源在丘底显著聚集^[8]。另一方面可能由于荒漠植物,尤其是春季短命和类短命植物以及一年生植物的繁衍生长的循环过程增加了这些微地形上风沙土的肥力^[3]。当然,风蚀和水蚀作用对土壤养分在丘底的聚集是不能忽视的^[20]。

4.3 土壤含水量与土壤化学性质的相关性

水分资源被认为是干旱半干旱区土壤养分流失和重新分配的一个重要因子^[21-22]。虽然古尔班通古特沙漠地表不存在显著的地表径流^[23],然而在冬季,沙漠中却有平均20—30 cm厚的积雪,有些年份甚至超过30 cm^[13, 24]。因此,积雪融化是古尔班通古特沙漠生态系统中土壤水分的一个主要来源,它对土壤资源的流失,流走,地下水的补充,以及土壤资源的分布格局和重新分配有重要意义^[25]。本研究结果显示:仅4、5月份的土壤含水量以及年平均土壤含水量与丘底土壤化学性质呈显著正相关(表2),这是因为冬季积雪的融化使水分在丘底聚集,因而对土壤资源的分布格局和重新分配产生影响^[26]。事实上,在古尔班通古特沙漠,3—5月份的融雪水加上春季降水占全年降水量65%以上,这是土壤水分最为丰富的时期,也是维持古尔班通古特沙漠地区植被生存的主要水分来源。因此在4、5月份的土壤含水量与丘底土壤化学性质表现出显著的相关性,而在6、8月份,由于沙漠的极端干旱环境,强烈的蒸发加上植物的耗水,土壤水分被耗尽,因而,在此时土壤水分不会对土壤性状产生显著影响^[25]。

从古尔班通古特沙漠南缘至腹地,土壤性状表现出了随气候和水文状况变化而变化的空间分布格局,即表现出逐渐减小的空间分布格局,尤其是在距沙漠南缘10 km以后,这种减小趋势更为显著。此外,在距沙漠南缘6—7 km出现了土壤水分和化学性质的峰值。沙丘不同部位土壤水分和养分含量呈丘底显著高于丘坡和丘顶。总之,古尔班通古特沙漠风沙土的上述性状及空间变异,除受局地气候气象水文条件的制约外,还受沙垄微地貌和植物发育

状况的影响。

References:

- [1] Qian Y B, Zhang L Y, Yang H F, Jiang C, Yusufuili. Spatial heterogeneity for grain size distribution of eolian sand soil in the southern Gurbantunggut Desert. *Arid Land Geography*, 2009, 32 (5): 655-661.
- [2] Schlesinger W H, Raikes J A, Hartley A E, Cross A F. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, 1996, 77(2): 364-374.
- [3] Qian Y B, Zhang L Y, Tang Z H, Jiang J, Tang L S. North-south heterogeneity of soil physical-chemical properties for Gurbantunggut Desert. *Arid Land Geography*, 2006, 29 (6): 784-789.
- [4] Gallardo A. Spatial variability of soil properties in a floodplain forest in northwest Spain. *Ecosystems*, 2003, 6(6): 564-576.
- [5] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, 1992, 73 (6): 1943-1967.
- [6] Bai Y F, Xu Z X, Li D X. On the small scale spatial heterogeneity of soil moisture, Carbon and nitrogen in stipa communities of the Inner Mongolia plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1215-1223.
- [7] Delcourt H R, Delcourt P A. Quaternary landscape ecology: relevant scales in space and time. *Landscape Ecology*, 1988, 2 (1): 23-44.
- [8] Enoki T, Kawaguchi H, Iwatsubo G. Topographic variations of soil properties and stand structure in a *Pinus thunbergii* plantation. *Ecological Research*, 1996, 11(3): 299-309.
- [9] Itoh A, Yamakura T, Ohkubo T, Kanzaki M, Palmiotto P A, LaFrankie J V, Ashton P S, Lee H S. Importance of topography and soil texture in the spatial distribution of two sympatric dipterocarp trees in a Bornean rainforest. *Ecological Research*, 2003, 18(3): 307-320.
- [10] Zhao C Y, Wang Y C. Study on spatial and temporal dynamic of Soil Water Content in Desert-Oasis Ecotone. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(1): 124-127.
- [11] Feng Q, Gao Q Z. Analysis on variation law of sandy soil moisture and its influencing factors in Yucheng Shandong. *Journal of Desert Research*, 1995, 15(2): 151-155.
- [12] Zhang J X. Water and heat condition of blown sand soil in Shapotou region. *Journal of Desert Research*, 1997, 17 (2): 154-158.
- [13] Zhou H F, Li Y, Tang Y, Zhou B J, Xu H W. The Characteristics of the snow-cover and snowmelt water storage in Gurbantunggut Desert. *Arid Zone Research*, 2009, 26 (3): 312-317.
- [14] Sun D X, Yang J C. Precipitation characteristics at the hinterland

- of Gurbantunggut Desert and the surrounding areas. *Arid Land Geography*, 2010, 33(5) : 769-774.
- [15] Bao S D. *Soil Chemical Analysis of Agriculture*. 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [16] Seibert J, Stendahl J, Sørensen R. Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma*, 2007, 141 (1/2) : 139-148.
- [17] Zuo X A, Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, Guo Y R, Wang S K, Drake S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. *Soil and Tillage Research*, 2008, 99 (2) : 202-212.
- [18] Li C J, Li Y, Ma J, Fan L L, Wang Q X. Spatial heterogeneity of soil chemical properties between *Haloxylon persicum* and *Haloxylon ammodendron* populations. *Journal of Arid Land*, 2010, 2 (4) : 257-265.
- [19] Li C J, Li Y, Ma J. Spatial heterogeneity of soil chemical properties at fine scales induced by *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae) plants in a sandy desert. *Ecological Research*, 2011, 26(2) : 385-394.
- [20] Li J R, Okin G S, Alvarez L, Epstein H. Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. *Biogeochemistry*, 2007, 85 (3) : 317-332.
- [21] Chen J J, Jiang J, Fu H F, Song C W, Quan Y W. Soil moisture variation in south Gurbantunggut Desert. *Arid Land Geography*, 2009, 32(4) : 537-543.
- [22] Schlesinger W H, Ward T J, Anderson J. Nutrient losses in runoff from grassland and shrubland habitats in southern New Mexico: II. Field plots. *Biogeochemistry*, 2000, 49(1) : 69-86.
- [23] Xu H, Li Y. Water-use strategy of three central Asian desert shrubs and their responses to rain pulse events. *Plant and Soil*, 2006, 285(1/2) : 5-17.
- [24] Wang X Q, Zhang Y M, Jiang J, Chen J J, Song C W. Variation pattern of soil water content in longitudinal dune in the southern part of Gurbantonggut desert: How snowmelt and frozen soil change affect the soil moisture. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(2) : 262-268.
- [25] Li J, Zhao C Y, Zhu H, Wang F, Wang L J, Kou S Y. Multi-scale heterogeneity of soil moisture following snow thawing in *Haloxylon ammodendron* Bge. Shrubland. *Sciences in China Series D-Earth Sciences*, 2007, 50(Supp. I) : 1-7.
- [26] Zhao C J, Kang M Y, Lei J Q. Space-time distribution of soil moisture in hinter land of Gurbantonggut Desert. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(4) : 158-161.

参考文献:

- [1] 钱亦兵, 张立运, 杨海峰, 蒋超, 玉素甫艾力. 古尔班通古特沙漠南部风沙土粒度分布的空间异质性. *干旱区地理*, 2009, 32(5) : 655-661.
- [3] 钱亦兵, 张立运, 唐自华, 蒋进, 唐立松. 古尔班通古特沙漠88E沿线风沙土理化性状的纵向分异. *干旱区地理*, 2006, 29 (6) : 784-789.
- [6] 白永飞, 许志信, 李德新. 内蒙古高原针茅草原群落土壤水分和碳、氮分布的小尺度空间异质性. *生态学报*, 2002, 22(8) : 1215-1223.
- [10] 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.
- [11] 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) : 151-155.
- [12] 张继贤. 沙坡头地区风沙土的水热状况. *中国沙漠*, 1997, 17 (2) : 154-158.
- [13] 周宏飞, 李彦, 汤英, 周宝佳, 徐宏伟. 古尔班通古特沙漠的积雪及雪融水储存特征. *干旱区研究*, 2009, 26(3) : 312-317.
- [14] 孙东霞, 杨建成. 古尔班通古特沙漠腹地与周边的降水特征分析. *干旱区地理*, 2010, 33(5) : 769-774.
- [15] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 陈钧杰, 蒋进, 付恒飞, 宋春武, 全永威. 古尔班通古特沙漠腹地土壤水分动态. *干旱区地理*, 2009, 32(4) : 537-543.
- [24] 王雪芹, 张元明, 蒋进, 陈均杰, 宋春武. 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.
- [26] 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. *水土保持学报*, 2004, 18(4) : 158-161.