

# 腾格里沙漠沙坡头地区旱季沙层含水量

杨晓玉<sup>1</sup>, 邵天杰<sup>1</sup>, 赵景波<sup>1,2</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710119;

2. 宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 712100)

**摘要:** [目的] 研究腾格里沙漠沙坡头地区旱季沙层含水量、水分来源、水分存在形式、水分平衡等问题, 为沙漠地区水分合理利用、沙漠化防治、沙地改良以及沙地农业生产提供科学依据。[方法] 利用轻型人力钻打孔取样, 进行水分测定。[结果] 腾格里沙漠沙坡头地区旱季沙层平均含水量为 1%~3%, 一般具有分为 3 层的特点; 沙层含水量存在明显的空间差异, 洼地平均含水量最大, 平坦高地和半固定沙丘中部含水量较低, 流动沙丘中上部含水量最低; 旱季时期沙层水分以薄膜水形式存在; 研究区旱季沙层水分仍为正平衡, 主要是由沙层的高入渗率和受蒸发影响深度小决定的; 研究区有植被发育之处, 在根系的吸水作用下沙层剖面中下部的含水量比无植被的剖面含水量低。[结论] 研究区旱季沙层含水量低, 空间差异较大, 沙层水分仍保持正平衡状态。

**关键词:** 腾格里沙漠; 沙层含水量; 水分来源; 水分存在形式; 水分平衡

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)02-0088-05

**中图分类号:** P152.7, P941.73

**文献参数:** 杨晓玉, 邵天杰, 赵景波, 等. 腾格里沙漠沙坡头地区旱季沙层含水量[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 88-92. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.017

## Soil Moisture Content in Sand Layers of Shapotou Area in Tengger Desert During Dry Season

YANG Xiaoyu<sup>1</sup>, SHAO Tianjie<sup>1</sup>, ZHAO Jingbo<sup>1,2</sup>

(1. College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an,

Shaanxi 710119, China; 2. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Disaster Monitoring and Simulation Mechanism, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** [Objective] The moisture content was researched and the sources, forms and balance of soil moisture and other issues at dry season in Shapotou area of Tengger desert were discussed to provide scientific bases for reasonable water use, desertification control, sand amelioration and the increase of agricultural production. [Methods] Hole sampling was used by light drill, and the sand moisture was determined after that. [Results] The average moisture contents of sand layers were 1% to 3% at dry season in Shapotou area of Tengger desert, and generally could be divided into three differentiable layers. The spatial variation of moisture content of sand layers was very great. The low-lying land had the highest moisture content; while the flat plateau and the middle parts of semi-fixed dunes had relatively lower moisture content; and the upper or middle part of sand dunes had the lowest moisture content. The moisture at dry season in this area might exist in the form of film water. Benefited from rapid infiltration and insignificant influence of deep sand layers by evaporation, wherein a positive balance still existed. Affected by root absorption, the moisture contents of vegetational sand at middle and deep layers were lower than those of the area with no vegetation grew. [Conclusion] In Shapotou area, the moisture contents of sand layers were low and the spatial variation was significant, and they were balanced positively at dry season.

**Keywords:** Tengger Desert; moisture content in sand layers; moisture sources; moisture forms; moisture balance

收稿日期: 2014-09-22

修回日期: 2015-03-17

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项资金“腾格里沙漠沙层 CO<sub>2</sub> 通量变化规律与影响因素研究”(GK201302033); 国家自然科学基金项目“晋西北生态重建优势种林地土壤水分研究: 以沙棘和柠条为例”(41171423)

第一作者: 杨晓玉(1989—), 女(汉族), 陕西省西安市人, 硕士研究生, 研究方向为环境评价与治理。E-mail: 1170894261@qq.com。

通信作者: 邵天杰(1982—), 男(汉族), 安徽省淮北市人, 博士, 讲师, 主要从事环境科学研究。E-mail: tjshao2010@126.com。

在降水稀少的沙漠地区,沙层含水量是决定植物类型、生长形态以及空间分布的重要环境因子。研究沙层含水量对认识沙漠地区水分来源、水分运移和水分循环具有重要的科学意义,同时对沙区水分的合理利用及沙漠化的防治具有一定的实际意义<sup>[1]</sup>。因此,研究沙漠地区沙层含水量及其变化已成为国内外学术界研究的热点。国内学者对腾格里沙漠东南缘的沙坡头地区沙层含水量的研究取得了一定的进展,刘元波等<sup>[2]</sup>利用中子水分仪,从动力学角度定量研究沙地水分入渗动态,结果显示沙地吸水过程较快而脱水过程较缓慢,并且认为0.6 m深度是沙地水分活跃程度的一个重要分界线。张继贤<sup>[3]</sup>研究了沙坡头区风沙土的水热状况,指出流动风沙土稳定含水量在2%~3%。石莎等<sup>[4]</sup>通过对沙坡头区不同植被结构对沙层水分的影响进行分析,指出流沙区沙层水分随深度的增加而增加,植被区沙层水分随深度增加而递减。赵景波等<sup>[5]</sup>对沙坡头区沙层水分研究结果显示,沙层含水量空间变化大,垂直方向上沙丘中、上部含水量低,下部与洼地含水量高。目前,虽然关于腾格里沙漠沙层含水量的研究成果较多,但对深度大于2 m的沙层水分的研究较少,特别是对旱季时期沙层含水量研究涉及更少。本研究通过对腾格里沙漠沙坡头地区0—4 m深度沙层打钻取样,分析该沙区沙层水分特征,并探讨水分来源、水分平衡、植物生长与沙层水分关系等问题,以期对沙漠地区水分合理利用、沙漠化防治、沙地改良以及沙地农业生产提供科学依据。

## 1 研究区概况与研究方法

研究地区位于宁夏回族自治区中卫市沙坡头吊坡梁风沙观测场,该区地处腾格里沙漠东南缘,地理坐标为37°32′—39°27′N,101°49′—105°02′E。年均降雨量为180 mm且集中在7—9月。气温季节变化明显,1月最冷,平均气温为-7.7℃;7月最热,平均气温为27.4℃,属大陆性极端干旱气候,气候特点是寒冷、干燥、多风<sup>[6]</sup>。该地区沙丘高度一般为5~30 m,地形地貌复杂,多为链状新月形沙丘,也有格状沙丘。植物稀少,在沙丘中下部及丘间低地生长有稀疏灌木与草本植物,如沙竹藤子、沙米等。

2013年7月8日,我们利用轻型人力钻打孔取样,采样点分别选择在平坦高地、半固定沙丘、洼地以及流动沙丘。每个采样点打孔钻2个,共打孔钻8个。钻孔深度为0—4 m,采样间距均为10 cm。含水量测定采用烘干称重法。为防止水分散失,影响称量准确性,在现场进行烘干前的样品称重,然后将样品

带回实验室,在105℃的条件下烘干24 h以上,采用常规法测定含水量。

## 2 沙层含水量测定结果

### 2.1 平坦高地沙层含水量与分析

在平坦高地上选择了2个相距约10 m的采样点,称为第1采样点和第2采样点。采样点1四周有植物生长,为沙竹藤子、小沙米及沙芦苇。采样点2附近植物较少,有干枯的沙米。根据第1采样点含水量测定结果(图1),可将剖面划分为3层。第1层在0—0.5 m间,含水量为0.9%~2.6%,平均为1.7%。第2层位于0.5—2.8 m间,含水量为0.6%~2.1%,变化较为平缓,平均含水量为1.4%。第3层在2.8—4 m间,含水量呈波动下降趋势,变化在1.1%~2.2%间,平均为1.5%。根据第2采样点含水量测定结果(图1),可将剖面划分为3层。第1层位于0—0.5 m间,沙层含水量变化幅度大,从4.8%下降到了1.8%,平均含水量为3.8%。第2层为0.5—2.8 m,含水量变化较平缓,变化在0.5%~1.9%间,平均为1.3%。第3层在2.8—4 m间,含水量呈上升趋势,变化范围为2.3%~3.5%,平均含水量为2.7%。

### 2.2 半固定沙丘迎风坡沙层含水量

在半固定沙丘的迎风坡中部选择了2个采样点作为第3,4采样点,第3采样点位于沙丘中上部,四周生长有沙柳、小沙米等植物,而第4采样点位于沙丘中下部,附近则几乎没有植物生长。根据第3采样点含水量测定结果(图1),可将剖面划分为4层。第1层在0—0.6 m间,含水量随深度的增加而减少,变化在2.8%~4.9%间,平均为3.6%。第2层位于0.6—1.0 m间,含水量为0.8%~1.2%,平均为1.0%。第3层在1.0—2.4 m间,沙层含水量波动不大,变化范围为1.0%~1.4%,平均为1.1%。第4层位于2.4—4 m间,含水量为1.2%~2.2%,平均为1.7%。根据第4采样点含水量测定结果(图1),可将剖面划分为4层。第1层为0—0.4 m,含水量急剧减少,在0.4 m深度处微乎其微,平均含水量为2.3%。第2层在0.4—1.0 m间,含水量呈上升趋势,为0.3%~1.5%,平均为0.6%。第3层为1.0—2.4 m,含水量为1.3%~3.9%,平均为2.1%。第4层为2.4—4 m,含水量有上升趋势,平均为2.2%。

### 2.3 丘间洼地沙层含水量

在流动沙丘底部的洼地选择了2个采样点,编号为第5,6采样点。第5采样点处于缓坡上,周边生长有沙竹藤子和小沙米。第6采样点所在沙地地势平

坦,同样生长着沙竹藨子、干枯的沙米等植物。根据第5采样点含水量测定结果(图1),可将剖面划分为3层。第1层在0—0.8 m间,含水量为2.3%~3.5%,平均为2.9%。第2层为0.8—1.6 m,含水量变化在2.5%~3.9%间,平均为2.9%。第3层为1.6—4 m,含水量范围为1.4%~3.1%,平均为2.3%。根据第6采样点含水量测定结果(图1),可将剖面划分为3层。第1层为0—0.7 m,含水量呈下降趋势,变化在1.5%~3.0%间,平均为2.3%。第2层在0.7—1.6 m间,含水量为0.6%~3.1%,平均为1.2%。第3层为1.6—4 m,含水量变化幅度较小,变化范围为1.6%~2.4%,平均为1.9%。

## 2.4 流动沙丘迎风坡沙层含水量

在流动沙丘迎风坡选择了2个采样点作为第7、

8采样点,第7采样点位于流动沙丘中上部,周围10 m范围内没有植物生长。第8采样点位于流动沙丘中下部,附近零星的生长有小沙米。根据第7采样点含水量测定结果(图1),可将剖面划分为3层。第1层为0—1.0 m,含水量变化在1.9%~4.0%间,平均为3.0%。第2层为1.0—3.1 m,含水量变化不大,平均为1.0%。第3层位于3.1—4 m间,含水量范围为0.8%~2.0%,平均为1.1%。根据第8采样点含水量测定结果(图1),可将剖面划分为3层。第1层在0—1.0 m间,含水量为1.3%~2.9%,平均为1.9%。第2层位于1.0—3.1 m间,沙层含水量变化幅度较小,为1.6%~2.6%,平均为2.0%。第3层为3.1—4 m,含水量变化范围为1.8%~3.7%,平均为2.2%。

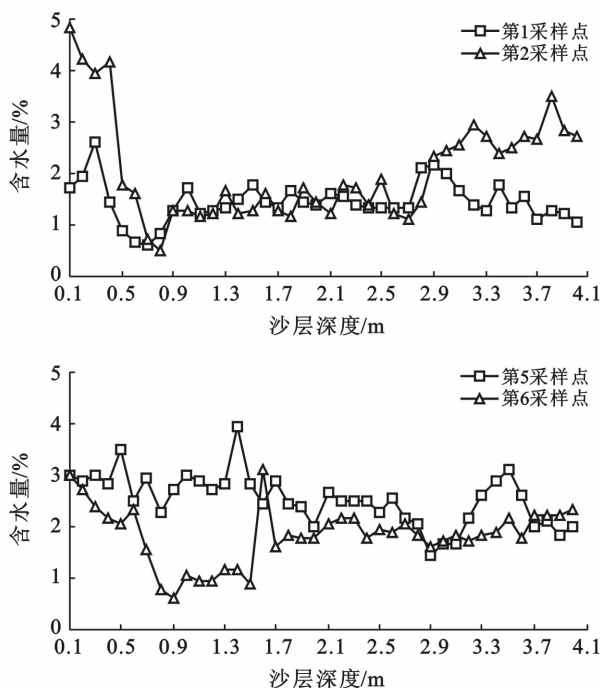


图1 腾格里沙漠沙坡头地区沙层含水量变化趋势

## 3 讨论

### 3.1 腾格里沙坡头地区沙层含水量时空分布特征

降水是沙漠地区水分来源的重要途径之一,降水的季节变化使沙层水分无疑也具有季节性变化的特点。春末夏初时,由于沙漠地区干旱多风,沙层含水量较低,在降水极少的条件下沙层含水量达到一年中的最低值<sup>[7-8]</sup>。夏季的来临也是雨季的到来,降水增多使沙层获得大量的水分补给,沙层含水量较高。秋季时沙层中虽有雨季积累的水分,但消耗小于积累,沙层水分略高于春季<sup>[9]</sup>。冬季的低气温使水分变化微弱,并使沙丘上部20 cm左右发生冻结,沙层水分

散失少,这时20—40 cm沙层含水量可维持秋后状况,其下部沙层可以逐步调整到自然状态。需要指出的是我们是在夏初时采的样品,含水量较低,平均含水量为1%~3%。

腾格里沙漠沙坡头地区沙层含水量在空间上存在明显的差异(图2)。平坦高地沙层平均含水量为1.8%,半固定沙丘中部为1.8%,流动沙丘间的洼地为2.2%,流动沙丘中上部为1.5%,流动沙丘中下部为2.0%。由此可见,腾格里沙漠沙坡头地区沙层含水量空间分布差异较大,洼地平均含水量最大,流动沙丘中下部次之,平坦高地和半固定沙丘中部较小,流动沙丘中上部最低。沙层含水量的这种分布表明,

该区大气降水主要是通过低洼地区向下入渗并补给地下水的。

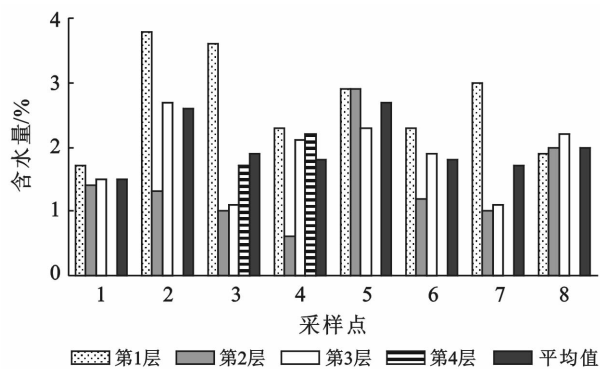


图2 腾格里沙漠沙坡头地区沙层含水量空间分布

### 3.2 腾格里沙坡头地区沙层水分来源

沙漠地区气候干旱、降水稀少、水分缺乏,沙层水分来源问题一直是学术界关注的热点问题,查明沙层水分来源对沙漠地区水资源合理利用有重要的参考价值。一般认为沙层水分来源于大气降水和地下水<sup>[10-13]</sup>,但沙坡头地区地下水埋藏较深,埋深为3~4 m<sup>[7]</sup>,难以补给沙层水分,降水则是补给沙层水分的主要来源。据观测,在1993年8月中旬发生的一次22.2 mm的降水过程中,水分入渗深度到达1.04 m左右<sup>[2]</sup>,可见降水对沙层水分补给之强。再者,沙层蒸发影响深度小于0.5 m,那么入渗到0.5 m深度以下的水分就能向下入渗,并可能补给地下水<sup>[2]</sup>。在我们的含水量测定结果中,有些采样点的含水量峰值出现在剖面中部或中下部,这就指示了沙层水分来自上部大气降水并且向下移动到达了中下部。在本研究的8个沙层剖面中,都是上部0—0.8 m沙层含水量最高,这是采样前降了小雨造成的,也能显示当年降水对沙层是否有补给作用。因为沙层水分蒸发影响深度小于0.5 m<sup>[2]</sup>,所以8个沙层剖面上部0.5—0.8 m间含量高的水分就代表了降水的补给,这部分位于蒸发影响深度以下的水分还会继续向下运移。

### 3.3 腾格里沙坡头地区沙层水分存在形式

土壤水分存在形式主要包括毛管水、薄膜水和重力水。田间持水量是划分薄膜水和重力水的依据,当土层含水量低于田间持水量时为薄膜水,土层含水量高于田间持水量时为重力水。据前人研究,腾格里沙漠东南缘以占60.5%~66.2%的细沙颗粒为主<sup>[14-15]</sup>,细沙颗粒为主的沙层田间持水量为5%左右<sup>[7]</sup>。即当沙层水分小于5%时,水分以薄膜水形式存在;当沙层水分大于5%时,水分以重力水形式存在。本研究在腾格里沙漠沙坡头地区的8个钻孔含

水量测定结果均小于5%,说明该沙区在夏初雨季前沙层水分以薄膜水形式存在,当然在降雨过程中和降雨之后很短时间内出现重力水是完全可能的。另外,当薄膜水下渗遇到粒度成分较细的、具有一定隔水性的沙层时,薄膜水会因水分聚积而含量增大转变为重力水。以薄膜水形式存在的沙层水分是从水膜厚处向水膜薄处运移且运移很缓慢,表明干旱季节沙层水分对地下水的补给很少。

### 3.4 腾格里沙坡头地区沙层水分平衡与原因

土壤水分平衡是指某时段某土层水分输入量(包括降水、灌溉、地下水补给等)和输出量(包括蒸发、蒸腾、渗漏等)之差。当输出量小于输入量时为正平衡,表明沙层水分盈余;当输出量大于输入量时为负平衡,表明沙层水分亏缺。研究水分平衡对揭示沙漠地区地下水来源、水分运移、植被生长分布具有十分重要的作用。由于沙漠地区降水稀少,蒸发强烈,所以人们一般会认为这样的地区是水分负平衡的地区。本文在旱季采样,沙层含水量普遍较低,虽然无法定量计算水分的收支状况,但以下证据则定性的反映了该沙区沙层在较干旱时期确实存在着水分的正平衡。(1)剖面上部沙层含水量高,且达到了0.5 m或更深,超出了蒸发影响的深度。这是采样前一次小雨入渗的结果,表明降水对沙层的补给作用。(2)剖面含水量峰值一般出现在剖面下部以及部分剖面出现在中部,都代表上一年降水入渗达到了2—4 m深度,表明大气降水经过蒸发和蒸腾之后,还有盈余的水分向下运移到了沙层深处。在降水极少的沙漠地区,为何会出现水分的正平衡是值得讨论的。前人在沙坡头地区进行的观测表明,降水40 mm以上时可浸透3 m深的土层,当降水约30 mm时可浸透2 m的土层,降水十几毫米时才能浸透干沙层<sup>[7]</sup>。再者,因为沙层受蒸发影响的深度不超过0.5 m,所以入渗到达0.5 m深度的水分就能向更深层运移,所以该区具备水分正平衡的条件,这种平衡主要是由沙层的高入渗率利于大气降水向地下水的转化和沙层受蒸发影响深度小决定的,是沙漠地区降水极端稀少的情况下出现的特殊的水分正平衡。

### 3.5 腾格里沙坡头地区沙层水分与植被生长关系

水分是制约沙漠地区植物生存和生长发育的关键因素,对植被状况和生态恢复有很大的限制作用<sup>[16]</sup>,植物对水分的利用主要是通过根系吸收沙层水分。因此,沙层水分与植被生长之间具有密切的联系。有研究表明,沙坡头地区草本植物的根系主要分布在大约10—20 cm左右的沙层,而灌木的根系主要分布在大约20—40 cm的沙层<sup>[4]</sup>,根系的吸水作用使

沙层剖面中下部的含水量比没有植被生长的剖面含水量偏低。第1采样点四周有植被生长,为沙竹藤子、小沙米及沙芦苇。第2采样点附近植被较少,只有干枯的沙米。含水量测定结果表明(图1),第1采样点剖面中下部沙层含水量基本保持在1%~2%之间,而第2采样点剖面下部沙层含水量达到了2%~4%,由此可见,植被生长减少了沙层水分的含量。类似的情况同样出现在第3采样点和第4采样点。另外,植被的生长可以促进地表生物结皮的形成和逐年增厚,这就加大了水分的无效耗损,阻滞了降水的有效入渗和对沙体深处的补给<sup>[17]</sup>,从另一方面影响了沙层含水量。在采用植被防止沙漠化时,应对人工固沙林地采取一定的灌溉措施以补给沙层水分,而草本植物由于根系较浅可以利用沙层上部较多的水分而无需特别灌溉。同时在选择植被类型时,要尽可能选择耗水少的灌木种类。

## 4 结论

(1) 腾格里沙漠沙坡头地区4 m深的剖面沙层水分一般具有分为3层的特点,多呈现为上层和下层含水量高。上层含水量高是采样前降雨的结果,而下层含水量高则是上一年降水入渗的结果。旱季时期沙层含水量较低,平均含水量为1%~3%,且以薄膜水形式存在。

(2) 腾格里沙漠沙坡头地区沙层含水量存在明显的空间差异,洼地平均含水量最大,平坦高地和半固定沙丘中部含水量较小,流动沙丘中上部最低。平坦高地和半固定沙丘中部含水量为1.8%,丘间洼地为2.2%,流动沙丘中上部为1.5%,流动沙丘中下部为2.0%。沙层含水量的这种分布表明,该区大气降水主要是通过低洼地区向下入渗并补给地下水的。

(3) 研究区有植被生长的地方,在根系的吸水作用下其剖面中下部的含水量比无植被生长的剖面含水量低。因此,在利用人工植被固沙时,要尽可能选择耗水少的灌木种类。

### [参 考 文 献]

[1] 赵景波,邢闪,邵天杰,等. 腾格里沙漠南缘沙层含水量

- 与水分平衡研究[J]. 自然资源学报, 2012, 27(3): 480-488.
- [2] 刘元波,陈荷生,高前兆,等. 沙地降雨入渗水分动态[J]. 中国沙漠, 1995, 15(2): 143-150.
- [3] 张继贤. 沙坡头地区风沙土的水热状况[J]. 中国沙漠, 1997, 17(2): 154-158.
- [4] 石莎,马风云,刘立超,等. 沙坡头地区不同植被结构对沙地土壤水分的影响[J]. 中央民族大学学报:自然科学版, 2004, 13(2): 137-141.
- [5] 赵景波,马延东,邢闪,等. 腾格里沙漠宁夏中卫沙层含水量研究[J]. 山地学报, 2010, 28(6): 653-659.
- [6] 赵景波,马延东,邢闪,等. 腾格里沙漠宁夏回族自治区中卫市沙层水分入渗研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 12-16.
- [7] 冯起,程国栋. 我国沙地水分分布状况及其意义[J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 225-236.
- [8] 张世军,张希明,王雪梅,等. 古尔班通古特沙漠边缘春秋沙丘水分状况初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 131-136.
- [9] 赵景波,郁科科,邵天杰,等. 腾格里沙漠沙层水分状况初步研究[J]. 资源科学, 2011, 33(2): 259-264.
- [10] 秦佳琪,托亚,叶冬梅,等. 乌兰布和沙漠不同沙地类型土壤水分特征的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2004, 25(2): 23-26.
- [11] 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[J]. 草业科学, 2008, 25(12): 6-11.
- [12] 格日乐,张力,刘军,等. 库布齐沙漠人工梭梭林地土壤水分动态规律的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 173-177.
- [13] 郭柯,董学军,刘志茂. 毛乌素沙地沙丘土壤含水量特点:兼论老固定沙地上油蒿衰退原因[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 275-279.
- [14] 哈斯. 腾格里沙漠东南缘格状沙丘粒度特征与成因探讨[J]. 地理研究, 1998, 17(2): 178-184.
- [15] 哈斯,王贵勇. 沙坡头地区新月形沙丘粒度特征[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 271-275.
- [16] 崔国发. 固沙林水分平衡与植被建设可适度探讨[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 89-94.
- [17] 陈荷生,康跃虎,冯今朝. 腾格里沙漠沙坡头地区植物生长与水分平衡的初步研究[J]. 中国沙漠, 1991, 11(2): 1-10.