

塔里木河下游土壤风蚀期0~15 cm层土壤 含水率分布规律

李诚志^{1,2}, 刘志辉^{2,3,4*}

(1.新疆大学资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2.新疆大学教育部绿洲生态重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 3.新疆大学干旱生态环境研究所, 新疆 乌鲁木齐 830046; 4.干旱半干旱区可持续发展国际研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要: 土壤表层含水率是影响土壤风蚀的一个重要参数。在塔里木河下游土壤风蚀期间对0~15 cm层土壤水分进行调查,发现0~15 cm层土壤含水率极低,平均含水率仅0.84%,含水率>2%的区域主要分布在绿洲边缘和河道边缘。进一步探讨植被盖度、风沙活动强度和土壤结皮对0~15 cm层土壤含水率分布的影响,结果表明:①0~15 cm层土壤含水率与植被盖度的相关性不显著;②0~15 cm层土壤含水率与风沙活动强度呈显著指数负相关;③土壤结皮能够有效保护表层土壤水分,抑制土壤风蚀。

关键词: 土壤含水率; 土壤风蚀; 植被盖度; 风沙活动强度; 土壤结皮; 塔里木河下游

中文图分号: S157 **文献标识:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)04-0511-05

土壤风蚀是干旱半干旱地区土地退化的主要表现形式之一^[1-5]。土壤风蚀受气候、土壤、地形、植被等各种因素的影响^[1]。其侵蚀强度取决于区域的自然环境及土壤本身特性^[6,7],其中土壤水分是影响土壤风蚀的一个重要因素^[8]。目前测定区域表层土壤水分主要有两种:一是依靠均匀实地采样然后内插值形成区域土壤表层水分图,二是利用卫星数据反演土壤表层水分^[9]。实地采样工作量大,且内插图与实际区域分布还是存在一定差距^[10];而卫星数据反演却精度不高^[9]。为提高表层土壤水分区域空间分布的精确度,须对区域表层土壤水分的分布规律和相关影响因素做进一步研究。本文于塔里木河下游(以下简称塔河下游)土壤风蚀期间,对0~15 cm层土壤进行采样,并在野外调查和卫星影像资料分析的基础上,对塔河下游地表风蚀时的0~15 cm层土壤含水率分布规律进行研究,探讨植被盖度、风沙活动强度、地表结皮对0~15 cm层土壤水分影响。为进一步研究区域土壤风蚀提供基础。

1 研究区概况

研究区位于塔克拉玛干沙漠东部塔河下游大西海子水库至阿拉干段,位于87°20'58"~88°27'13"E、39°51'07"~40°51'02"E(图1)。年平均气温10.5~11℃,年平均降水量17.4~42.0 mm,年平均潜在蒸发量2 500~3 000 mm,常年盛行东北风,年平均风速1.6~2.0 m/s,年平均沙尘暴日数25~90 d,且主要集中在4~6月,该地区的土壤风蚀也集中在此期。地貌类型主要以平沙地、流动沙丘和灌丛沙堆为主。土壤类型主要为风沙土,且存在少量的龟裂土,地表风蚀十分严重。植被以杨柳科、柽柳科、豆科、夹竹桃科为主,形成乔木、灌木的复合群落^[11],在地下水位较浅的地方形成以芦苇为主的单一群落。

1972年大西海子水库建成以后,大西海子水库以下的320 km的河道完全断流,植被大量死亡,沙丘活化,沙漠化快速发展,严重威胁塔河下游生态走廊的安全。2001年开始实行应急性间歇生态输水,到2010年底已进行11次输水,累计输水量

收稿日期: 2011-11-21; **修订日期:** 2012-01-12

基金项目: 高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(708090)、国家自然科学基金项目(40871023)、国家社会科学基金项目(11CGL113)、新疆大学博士启动基金(07020428040)资助。

作者简介: 李诚志:(1979-),男,湖南资兴人,博士研究生,主要研究方向为干旱区人地关系。E-mail:xdlichengzhi@sina.com

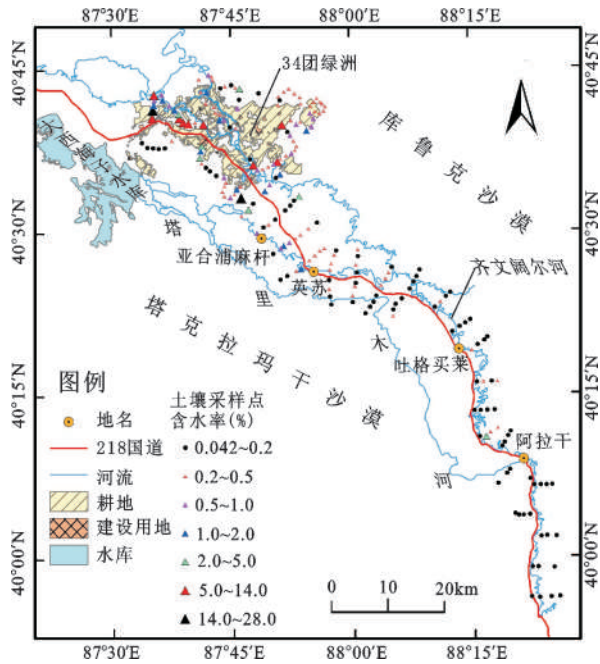


图1 塔河下游土壤含水率调查点
Fig.1 The survey points of soil moisture
(0-15 cm) in the lower reach of Tarim River

达到 $25.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。生态输水后塔里木河下游距离河道 1 km 范围内的生态环境得到改善,距河道 1 km 以外的区域生态环境依然严峻,沙漠化进程并没有得到缓解^[12]。

2 研究方法

2.1 土壤采样与土壤含水率测定

2010年5月6~22日,在塔河下游土壤风蚀时对土壤进行采样,其采样期间无明显降水,采用土钻对 0~15 cm 层土壤进行混合采样,采样点主要布置于荒漠植被区(图1)。采样点沿 218 国道每 5 km 向两边植被区设置,横向采样间隔 1 km,直到无植被的流沙地。另在绿洲边缘荒漠植被区设置横向间隔 1 km 的采样点带。盛土使用已称量的铝盒,并用密封袋将其严密封闭。利用烘干称重法测定土壤含水率。此次调查共采样 220 个,其中 209 个有效。

2.2 植被盖度测定

利用遥感数据反演植被盖度进行实地验证。选用 2010 年 4 月 23 日 TM 影像,此时塔河下游荒漠植被大部分已经变绿,并达到最大盖度的 80% 左右。利用 1:10 万地形图对影像进行几何校正,运用 ENVI4.7 进行辐射标定,利用 Flassh 模块进行大气校正,参考文献[13],计算归一化植被指数

(NDVI, 下式值为 N_{NDVI}):

$$C = \frac{N_{\text{NDVI}} - N_{\text{NDVI}_S}}{N_{\text{NDVI}_V} - N_{\text{NDVI}_S}} \quad (1)$$

式中, C 为植被盖度, N_{NDVI_V} 为纯植被的归一化植被指数, N_{NDVI_S} 为纯沙漠的归一化植被指数。通过野外调查和图像识别来确定纯植被和纯沙漠对应的植被指数,结合 GPS 定位验证其植被盖度精度。

2.3 风沙活动强度分级

根据塔河下游地貌类型、植被类型和盖度以及王涛^[14]提出的土地沙漠化分级表,把研究区域土地风沙活动强度分为 5 个级别:非风沙活动土地,植被盖度 > 60% 的耕地、草地、林地;轻度风沙活动土地,植被盖度 30%~60%,流沙呈斑点状分布,面积占 5%~25%,部分出现灌丛沙堆,地表覆盖薄沙层;中度风沙活动土地,植被盖度 10%~30%,流沙面积占 25%~50%,在灌丛沙堆植被不能覆盖整个沙堆,迎风坡呈现流沙状;重度风沙活动土地,植被覆盖面积 10%~25%,灌丛开始死亡,流沙面积超过 50%;极重度风沙活动土地,植被盖度 < 10%,相当于流动沙地,活动沙丘等。土地风沙活动分级采用决策树分类法,并进行实地野外考察验证,分类结果详见文献[12]。

2.4 土壤结皮测定

土壤结皮采用野外调查法测定。经前期调查发现塔河下游土壤结皮主要是盐碱结皮。在地下水位较高地方形成 1~2 cm 厚盐碱晶体层,地下水位较低的位置形成不足 1 mm 厚的盐碱土结皮层。考虑到研究区 4~6 月风沙大,有时地表会覆盖一层浮沙,这给地表结皮的判断带来一定困难。此次调查在判断是否土壤结皮时看地表 10 cm 内是否存在结皮层,如果存在结皮层则认为该点土壤存在结皮,如果地表 10 cm 内未发现结皮层,则认为该点不存在结皮。

3 结果与分析

3.1 土壤含水率调查结果

图1看出,0~15 cm 层土壤水分分布存在一定规律。土壤含水率 > 2% 的调查点主要分布在绿洲边缘和河道边缘,沿河道向下 0~15 cm 层土壤含水率有减少趋势,沿河道向两侧延伸,0~15 cm 层土壤含水率呈现下降趋势。由图2可见,塔河下游 0~15 cm 层土壤水分含水量极低。92% 的采样点的土壤含水量小于 2%,最大值也仅仅只有

15.05%, 而最小值仅到 0.04%, 平均含水量为 0.84%, 干燥的土壤表层对土壤风蚀的阻碍作用十分微弱, 土壤风蚀十分严重。

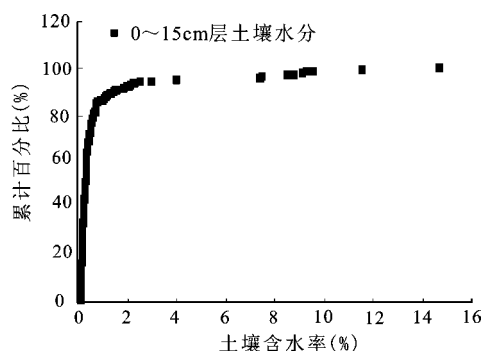


图2 0~15 cm层土壤水分累计分布

Fig.2 The cumulative distribution of the soil moisture (0-15 cm)

3.2 土壤水分分布的影响因素

1) 土壤水分与植被盖度。对塔河下游风蚀期间 209 个调查点的 0~15 cm 层土壤含水率和植被盖度作散点图(图3)。利用 SPSS15 软件对土壤含水率与植被盖度进行回归分析, 并选择相关系数最大的回归方程, 得出回归方程为:

$$y=0.8922 \log_e(x)+3.6053 \quad (R=0.277, P=0.0759) \quad (2)$$

式中, y 为植被盖度, x 为 0~15 cm 层土壤含水率。从式(2)看, 相关系数(R)虽在 0.10 水平上显著, 但达不到 0.05 的显著水平, 可见两者相关性不显著。该研究结果与陈有军等^[3]在浑善达克沙漠、付华^[15]在腾格里沙漠研究表层土壤水分与植被盖度的结果存在差异。陈有军^[3]等人在内蒙古浑善达克沙漠对表层土壤水分与植被盖度研究中发现, 植被盖度大其表层水分也越大; 而付华^[15]在研究腾格里沙漠白沙蒿密度与表层土壤水分时发现白沙蒿的密度越小其表层土壤水分越高。而在塔河下

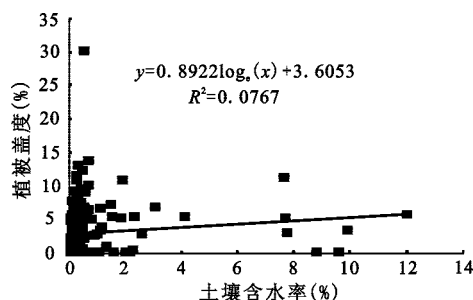


图3 植被盖度与0~15 cm层土壤含水率

Fig.3 The scatter diagram of the vegetation coverage and the soil moisture (0-15cm)

游 0~15 cm 层土壤水分与植被盖度几乎不相关。这种结果差异与塔河下游的植被群落类型存在一定关系。经调查塔河下游主要植物群落为怪柳堆与胡杨林。这两类植物都是深根植物, 根系深度大都在 4 m 以上, 其主要依靠地下水, 而与表层土壤水分关系不大。而浑善达克沙漠和腾格里沙漠的植被主要为沙米、虫实和白沙蒿等草本植物, 其主要依靠浅层土壤水分, 所以表层土壤水分与植被盖度相关性好。

土壤风蚀期间表层土壤水分与植被盖度间的相关性受植被类型的影响, 不能简单的以植被盖度来判断表层土壤水分, 还需考虑植被群落特性。

2) 土壤水分与风沙活动强度。对塔河下游风蚀期间不同风沙活动强度的 0~15 cm 层土壤含水率计算均值和方差(图4)。由图可知塔河下游风蚀期间风沙活动土地 0~15 cm 层土壤含水量很低, 土壤含水量均值均小于 2%。土壤含水量随风沙活动强度的增高而降低。为定量分析两者间关系, 对风沙活动强度进行赋值(非风沙活动赋值为 1, 轻度风沙活动赋值为 2, 中度风沙活动赋值为 3, 重度风沙活动赋值为 4, 极重度风沙活动赋值为 5), 并与 0~15 cm 层土壤含水率进行回归分析。

$$y=11.1x^{-2.6553} \quad (R=0.982, P=0.0001) \quad (3)$$

式中, y 为 0~15 cm 土壤含水率(%), x 为风沙活动程度。可见 0~15 cm 层土壤含水率与土地风沙活动程度呈显著的负指数函数关系。0~15 cm 层土壤含水率随风沙活动强度的变化符合土地沙漠化变化引起的土壤结构变化规律。土地沙漠化使表层土壤结构发生变化, 表层土壤的有机质减少, 细

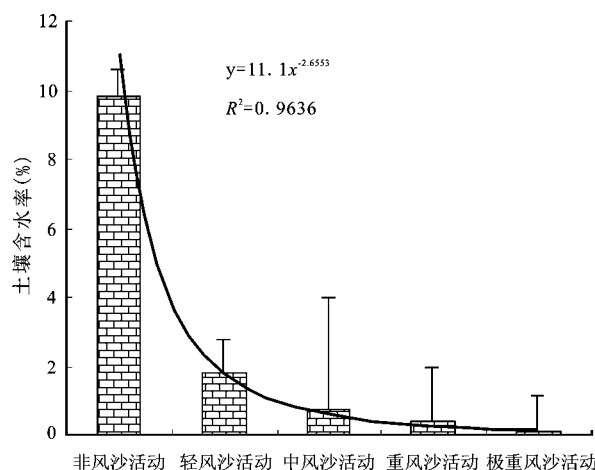


图4 0~15 cm层土壤水分与风沙活动程度关系

Fig.4 The relationship between the intensity of sand activity and the soil moisture (0-15cm)

颗粒土壤含量下降,粗颗粒土壤含量增加^[16]。土壤有机质和粘粒减少使表层土壤持水性减弱,表层土壤含水量减少^[17]。

从图4看出不同风沙强度土地0~15 cm层土壤含水率的均匀性存在显著差异。中度风沙程度土地0~15 cm层土壤水分差异性最大,其标准方差达3.28,极重风沙程度土地表层土壤水分差异性最小,仅1.0。这种差异与不同风沙活动程度土地的土壤结构均匀性有关^[18]。中度风沙活动的土地处于发展过度阶段,表层土壤结构均匀性较差,有的地表为流动风沙土,有的地表是沙壤土;而极重度风沙活动土地处于发展的稳定阶段,其表层土壤结构基本都为流动风沙土,均匀性相对较好。

风沙活动强度可作为间接反映表层土壤水分的一个指标,相互关系为显著负指数函数关系,过度阶段土壤质地差异对其稳定性有很大的影响。

3) 土壤水分与地表结皮。塔河下游的土壤结皮不同于古尔班通特沙漠和腾格里沙漠的生物土壤结皮^[19],其主要是地表盐碱结皮。在209个有效采样点中,有85个采样点存在盐碱结皮。对结皮土壤和未结皮土壤0~15 cm层土壤含水率分别求其均值和方差(图5)。结皮的土壤含水率明显高于未结皮的,结皮的土壤含水率平均达到1.69%,而未结皮的土壤含水率平均仅有0.26%,结皮的土壤含水量是未结皮的6.5倍。可见盐碱结皮能够显著增加0~15 cm层土壤水分含量。结皮地表在土壤表层形成一层厚度不一的致密盐碱壳,盐碱壳的存在阻止上层土壤水分快速向空气中蒸发,从而保护0~15 cm层土壤水分,增加表层土壤水分含量。

从结皮土壤含水率和未结皮的方差来看,结皮土壤含水率的标准方差较大,达到3.06;而未结皮的标准方差较小,仅0.42。可见结皮的土壤含水率的均匀性较差,而未结皮土壤含水率均匀性较好。盐碱结皮厚度和地下水位是影响结皮土壤水分均匀性的主要因素。根据调查,在低洼地段地下水位高,土壤含水率大,盐碱结皮层可以到达1~2 cm厚,加上结皮层对表层土壤保护作用,使其0~15 cm土壤含水率可以达到15%以上。而地下水位低的地方,地下水分不能通过毛细管达到地表形成盐碱结皮^[20],其表层结皮大多为春季融雪或降雨形成,结皮厚度很薄,有的不足1 mm,这样的结皮对表层土壤含水率保护低,加上地下水又无法因蒸发作用到达地表,所以其0~15 cm层土壤含水

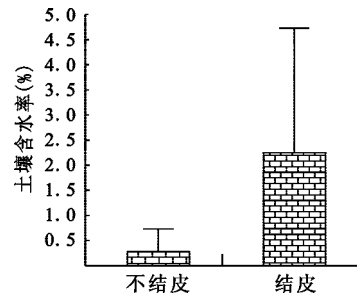


图5 0~15 cm层土壤水分与土壤结皮关系

Fig.5 The relationship between the soil crust and the soil moisture (0-15cm)

率较低。而未结皮地表没有结皮层保护,0~15 cm层土壤水分很快被蒸发,不同地域土壤含水率都很低,所以其差异性也很小。

土壤盐碱结皮能保护表层土壤水分,有效抵制土壤风蚀。野外调查发现,土壤风蚀强度在地表盐碱结皮地域明显小于未结皮地域。盐碱结皮在土壤表层形成一层盐碱壳,能保护0~15 cm层土壤水分,增强地表抗风蚀的能力,有效降低地表风蚀量。然而,盐碱结皮与土壤风蚀定量关系,本研究暂未涉及,有待进一步探寻。

4 结 论

调查塔河下游土壤风蚀期间0~15 cm层土壤水分,发现塔河下游0~15 cm层土壤水分含量极低,平均含水率0.84%,92%土壤含水率<2%,含水率>2%的地方主要分布在绿洲边缘和河道边缘。

探讨植被盖度、风沙活动强度和土壤结皮对0~15 cm层土壤含水率的分布影响得出:①塔河下游的植被盖度与0~15 cm层土壤含水率的相关性不显著,相关系数仅仅0.277($P=0.0759$),不能直接通过植被盖度来判断0~15 cm层土壤水分,还需考虑植被群落特性。②土地风沙活动强度与0~15 cm层土壤含水率呈显著负指数函数关系($y=11.1x^{-2.6553}$, $R=0.982$, $P=0.0001$),其可以作为间接判断0~15 cm层土壤水分的一个指标,但需要考虑土壤质地的差异,因为不同风沙活动强度的土壤含水率均匀性存在较大差异,其中中度风沙程度的方差最大,重度风沙程度土地的方差最小。③土壤盐碱结皮影响0~15 cm层土壤水分分布,结皮能有效提高土壤含水率,但结皮厚度差异导致结皮表层土壤水分差异。同时盐碱结皮还能有效的抵制土壤风蚀。

致 谢: 新疆大学资源与环境科学学院研究生乔鹏、周正、陈涛、王睿、王海雷、贺青山、陈凯协助野外土壤采样调查和室内土壤水分测定, 特此谢忱。

参考文献:

- [1] HE Qing, YANG Xinghua, Ali Mamtimin, et al. Impact factors of soil wind erosion in the center of Taklimakan Desert [J]. *Journal of arid land*, 2011, **3**(1): 9-14.
- [2] 海春兴, 刘宝元, 赵 焱. 土壤湿度和植被盖度对土壤风蚀的影响[J]. *应用生态学报*, 2002, **13**(8): 1057~1058.
- [3] 陈有君, 刘钟龄. 内蒙古浑善达克沙地土壤水分状况的分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2000, **14**(1): 80~85.
- [4] 吕贻忠, 李保国, 胡克林, 等. 鄂尔多斯夏初不同地形土壤水分空间变异[J]. *中国农业大学学报*, 2002, **7**(5): 38~43.
- [5] 张伟华, 关世英. 不同牧压强度对草原土壤水分养分及其地上生物量的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2000, **14**(4): 61~64.
- [6] 林 晨, 周生路, 吴绍华. 30年来东南红壤丘陵区土壤侵蚀度时空演变研究——以长汀县为例[J]. *地理科学*, 2011, **31**(10): 1235~1241.
- [7] 闫云霞, 许炯心, 廖建华. 中国东北地区侵蚀产沙尺度效应的空间分异[J]. *地理科学*, 2010, **30**(5): 783~789.
- [8] W S Chepil. Influence of moisture on erodibility of soil by wind [J]. *Soil Science Society of America Proceeding*, 1956, **2**(20): 288-291.
- [9] 余 涛, 田国良. 热惯量法在监测土壤表层水分变化中的研究[J]. *遥感学报*, 1997, **1**(1): 24~31.
- [10] 杨 琳, 朱阿兴, 秦承志, 等. 基于典型点的目的性采样设计方法及其在土壤制图中的应用[J]. *地理科学进展*, 2010, **29**(3): 279~286.
- [11] 周洪华, 李卫红, 杨余辉, 等. 干旱区不同土地利用方式下土壤呼吸日变化差异及影响因素[J]. *地理科学*, 2011, **31**(2): 190~196.
- [12] 李诚志, 刘志辉, 袁 林. 基于决策树分类的塔里木河下游沙漠化动态分析[J]. *环境科学研究*, 2011, **24**(8): 99~108.
- [13] 张仁华. 实验遥感模型及地面基础[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [14] 王 涛. 中国沙漠与沙漠化[M]. 河北科学技术出版社, 2003.
- [15] 付 华, 周志宇, 陈善科. 腾格里沙漠东南缘飞播区白沙蒿植被密度与土壤水分关系的研究[J]. *中国沙漠*, 2001, **21**(3): 265~270.
- [16] 申建友, 董光荣, 李长治, 等. 沙漠化与土壤物质含量变化[J]. *中国沙漠*, 1992, **12**(1): 40~48.
- [17] 赵景波, 侯雨乐, 曹军骥, 等. 青海湖西吉尔孟附近土壤水分研究[J]. *地理科学*, 2011, **31**(4): 394~400.
- [18] 张丽萍, 王小云, 张赫斯. 沙盖黄土丘陵坡地土壤理化特性随地形变化规律研究[J]. *地理科学*, 2011, **31**(2): 178~183.
- [19] 王新平, 肖洪浪, 张景观, 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.
- [20] 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[J]. *干旱区地理*, 2006, **29**(4): 523~526.

Distribution of the Soil Moisture (0-15 cm) During the Soil Drifting in the Lower Reach of Tarim River

LI Cheng-zhi^{1,2}, LIU Zhi-hui^{2,3,4}

(1. School of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 3. Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 4. International Center for Desert Affairs—Research on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Lands, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

Abstract: Surface soil moisture is one of the most important parameters influencing soil drifting. The moisture in 0-15 cm soil is investigated during the soil drifting in the lower reach of Tarim River. It was found that the soil moisture (0-15 cm) is very low, the average of the soil water content is only 0.84%, and the regions of the soil moisture more than 2% are concentrated in the edge of oasis and river. The relationships between the soil moisture and the vegetation coverage, the intensity of soil drifting, and the soil crust were analyzed. It shows that the correlation between the soil moisture (0-15 cm) and the vegetation coverage is not evident. The correlation between the soil moisture content and the intensity of soil drifting is significant exponential negative correlation. The soil crust can protect the surface soil moisture available, and can restrain the soil drifting.

Key words: soil moisture; soil drifting; vegetation coverage; intensity of soil drifting; soil crust; the lower reach of Tarim River