毛乌素沙地农田土壤水分的时空变化格局

胡兵辉[1], 廖允成[2], 王克勤[1], 陈奇伯[1]
(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 水分因子是直接关系毛乌素沙地农田生态系统产出稳定及提升的关键因子。对沙地农田土壤水分时空变化格局进行了试验研究,结果表明,在地表有植被覆盖时,地表土壤水分的散失途径增加,尤其是后期植被的蒸腾散失对农田土壤水分的影响较大,但土壤水分含量散失较为平缓;裸露的地表则恰好相反,但随着地表干沙层的加厚,地表土壤水分散失防护的效应越来越明显,后期土壤深层水分得到了一定恢复;受干沙层的防护,有植被覆盖的土壤水分消耗量大于裸地,裸地的无效地表蒸发也不容忽视。在沙漠化地区土地上进行农业生产和植被恢复时,应加强地表覆盖,增加土壤水分储量,为沙漠化地区农业增产和植被恢复提供良好的水分供给。探明沙地农田土壤水分的运移规律,还可以为相似逆境地区农业生产高效用水和管水提供可靠的理论依据。

关键词: 农田土壤水分; 时空变化格局; 毛乌素沙地
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2011)05-0144-05 **中图分类号**: S151.9^{+1}

Spatiotemporal Patterns of Soil Water Variations in Farmlands of Mu Us Sandland

HU Bing-hui[1], LIAO Yun-cheng[2], WANG Ke-qin[1], CHEN Qi-bo[1]
(1. *Department of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan* 650224, *China*; 2. *College of Agriculture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: Water is the key factor for stable yield and improvement of the agricultural ecosystem in Mu Us sandland. This study investigated the spatiotemporal patterns of soil water variations. The results show that the ways by which soil water escapes increased when the ground was covered by vegetation, especially, the vegetation transpiration influenced soil water substantially through gradual loss. The bare ground showed opposite results. Along with the thickening of dry sand layer, its protection on soil water from loss became more and more visible, and the soil water in deep layers recovered considerably in the latter stage. Considering the protection by the dry sand layer, soil water consumption of vegetation covered land was higher than that of bare field. Clearly, the invalid evaporation on bare surface could not be neglected. Therefore, to recover the agricultural production and vegetation on land of desertificated regions, the ground surface should be covered for reserving soil water as potential water supply. In addition, the understanding of soil water movement in sand field can provide theory evidences for efficient water usage and management for agricultural production in similar fragile regions.

Keywords: soil water in field; spatiotemporal change pattern; Mu Us sandland

在干旱、半干旱及亚湿润干旱的荒漠化地区,水分是环境体系中最活跃的因素,植被对水分具有高度的依赖性,水分成为影响植物生存、生长发育的关键因素,对植被的稳定生长与恢复重建具有极大的限制性[1-3]。土壤水分条件的优劣是植被生产力的重要标志[4-6]。

位于我国北方农牧交错带的毛乌素沙地,是我国重要的生态屏障区,生态环境脆弱[7-8]。由于处在森林—草原—荒漠的"生态应力带"上,加上植被覆盖度低、土壤组成物质疏松以及易受人为干扰等因素影响,毛乌素沙地生态脆弱,系统的敏感性强稳定性差,人类不合理的生产经营活动极易造成该区生态环境的迅速退化[8-10]。然而,环境因子中的水分因子是直接关系毛乌素沙地农田生态系统稳定的关键因子,降

收稿日期:2010-12-23 修回日期:2011-02-24
资助项目:教育部高等学校科技创新工程重大项目"毛乌素沙地农业生态系统的调控机理与优化模式"(706054);西南林业大学重点学科建设项目"水土保持与荒漠化防治"
作者简介:胡兵辉(1979—),男(汉族),陕西省乾县人,博士,主要从事农业资源优化配置与生态系统调控方面的教学科研工作。E-mail: hubinghui1980@126.com。

水稀少及季节分配不均与植物生长发育阶段需水吻合程度差,再加上经常化的低温特征与沙尘等强烈风蚀气候,很容易使系统全年较长时间处于逆境环境中,最终导致系统结构稳定性差,功能弱化,生产力低下,持续发展难度大。本文选择毛乌素沙地东南缘农田景观尺度的土壤水分作为研究对象,探查区域沙地农田土壤水分结构特征及其动态变化规律,拟为该区种植业系统生产力持续提升、作物种植制度优化及植被恢复等提供理论参考。

1　试验设置与研究方法

1.1　试验设置

试验地位于毛乌素沙地东南缘的榆阳区的陕西省榆林市榆林学院试验农场,试验时间为 2007 年 4 月 20 日至 9 月 18 日。研究区属中温带半干旱大陆性季风气候区,雨少不均,气候干燥,年均蒸发量 1 891.58 mm,年均气温 8.32 ℃。试验期间降水量约为 317.70 mm,占全年降水量的 64.03%。试验地地势平坦,土壤为典型风沙土,且有田坎阻挡,基本没有地表径流输出。玉米(粮饲兼用型)是毛乌素沙地农牧系统耦合的关键作物,可为种植业提供农产品又为畜牧业提供饲草料供给;马铃薯是陕北的优势特色经济作物。以这 2 种主栽作物为供试作物,以空白地(即裸露沙地)作为对照,通过测定作物棵间蒸发、地表蒸发和不同深度农田土壤水分含量来研究和对比作物农田与裸地土壤水分结构的时空变化规律。

1.2　研究方法

以农田作物棵间蒸发(即作物田的地表蒸发)及不同深度土壤水分含量变化为切入点,按照作物生长发育规律,沿作物周年时间序列(本试验所指的周年为作物生长发育的一个完整时间段,在毛乌素沙地从 4 月下旬至 9 月下旬),每日早晨 8 时用微型蒸发仪(Micro－Lysimeter)在作物行间取原状土柱,称重后再放回行间,次日早晨 8 时取出称重,两日重量之差即为前一日的农田作物棵间蒸发量,每块试验田测 3 点,取平均值。逐月每旬初日分别用 CNC503B 新型智能中子土壤水分仪(标定方程为:$Y=0.082X-1.287\ 7$,$R^2=0.90$)测定土壤水分含量,且 0—200 cm 土层每 10 cm 测 1 个数值,每块试验田同样测 3 点取均值。地下水对作物几乎没有补给,农田土壤水分平衡结构根据月初和月末 2 次测定的土壤含水量,结合月降水量情况,用农田水分平衡法确定。选定具有代表性的 2007 年 8 月 2 日,采用专用温度计测定田间地表温度和气温。试验期间,严格按照仪器操作规程进行科学观测。

2　结果与分析

2.1　沙地农田土壤水分的时间格局

2.1.1　沙地农田土壤水分的日变化格局　2007 年 8 月 2 日,天气晴朗,昼夜温、湿差明显,农田蒸散发、土壤水分含量等指标日变化较显著,能直观反映沙地农田土壤水分的日变化格局。该日 6:00—00:00 对试验地作物棵间蒸发、裸地地表蒸发、作物田地表温度、裸地地表温度、田间气温进行了全程监测,每个测定项目均 3 个重复(图 1)。由图 1 可知,随着试验地地表温度及田间气温的升降变化,作物棵间蒸发及裸地地表蒸发也表现出一定的规律性。裸地地表蒸发量增加最快,也减少最快,相对而言,玉米地与马铃薯地变化较为平缓,尤其是表现在随着地表温度的降低棵间蒸发量的减少上。地表蒸发量最大值均出现在 14:00—16:00 之间,裸地是玉米地与马铃薯地的 2.77和 3.57 倍,足见裸露的地表促使了农田土壤水分的无效蒸发。14:00—22:00 是作物地的主要蒸发时段;8:00—18:00 是裸地的主要日蒸发时间。从 6:00—22:00,裸地累计蒸发量为 5.91 mm,是玉米地与马铃薯地的 2.33 和 3.81 倍,累计地表蒸发量大小次序为:裸地>玉米地>马铃薯地。

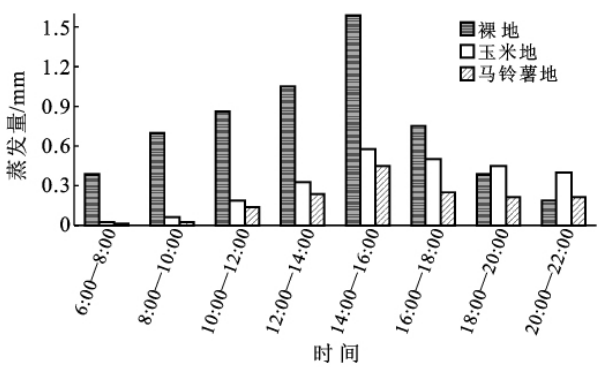


图 1　试验地作物棵间蒸发与裸地地表蒸发的日变化比较

此外,地表温度与地表蒸发量的相关性大小表现为:裸地($y=0.237\ 8x-2.848\ 2$,$R^2=0.768\ 5$)>马铃薯地($y=0.181\ 2x-2.989\ 1$,$R^2=0.624\ 0$)>玉米地($y=0.323\ 1x-5.460\ 1$,$R^2=0.590\ 1$),这主要与影响地表蒸发量的因素增加有关。如裸地基本上只受地表温度的影响,而作物地还受到作物郁闭度、地面碎屑物等影响。总体上,在研究时段内地表蒸发量与地表温度成正比关系,即地表温度越高,蒸发量越大,反之则小,同时两者之间的相关性受影响因素的增多而减小。

2.1.2　沙地农田水分结构的周年变化格局

(1) 沙地农田地表蒸发的周年变化格局。通过

对作物地、裸地地表蒸发量进行逐日累加(表1),得知在作物周年内,裸地地表蒸发量最大,马铃薯地最小。玉米地地表累计蒸发量稍大于马铃薯地的主要原因是相对马铃薯而言,玉米植株高,空隙度大,对地面的郁闭度小。整个过程中,作物地地表蒸发量变化趋势基本相同,地表蒸发的逐月累计量呈现双峰曲线,而裸地则为单峰曲线。各月累计蒸发量的大小次序基本上表现为:裸地>玉米地>马铃薯地。裸地地表蒸发量在第2个月出现最大值,然后逐月下降至最小值,这主要是因为随着春季增温、光照加强、气候干燥及土壤解冻,含水量增大的同时,蒸发量也逐渐增大至第2个月。由于地表蒸发量的增加使得裸地地表的干沙层加厚(干沙层是保护土壤水分外溢的有效交换层,其厚度越大,蒸发量越慢),地表蒸发的阻力加大,裸地地表蒸发量就开始平缓下降直至最小值。作物地地表蒸发量在第1个月与裸地相同,逐渐增大,这是由于该时段内作物处在生育初期,其植株及根系对地表蒸发的影响较小,尤其是播种后一段时间内,地表结构基本与裸地相同,故地表蒸发量逐渐增大,在播种后的第2个月出现最大值。随后,作物生长均进入旺盛期,需水量增大,根系吸水力增强,土壤表层水分供给不足初现,加上作物植株及叶片的郁闭度增大与地表干沙层的形成,地表蒸发量开始减少直至低谷。7月末毛乌素沙地开始进入雨季,降水量逐渐增加,土壤含水量也随之恢复与增加,作物地的地表蒸发量又开始回升至新的峰值。此时,作物植株、叶片的郁闭度基本达到最大值,对地表蒸发的阻力也增至最大,加上雨季空气湿度较大,作物地地表蒸发量又开始下降,直至最低谷。

表1 不同时段作物地与裸地地表累计蒸发量比较 mm

时间段(日期)	裸 地	玉米地	马铃薯地
0420—0520	41.31	31.79	32.55
0520—0620	59.68	40.93	36.39
0620—0720	45.68	18.34	16.43
0720—0820	31.01	25.46	20.63
0820—0920	19.27	14.66	13.38
作物全生育期累计	196.95	131.18	119.38

(2) 沙地农田土壤含水量的周年变化格局。从图2可以看出,在作物整个生育期内,裸地与作物地10 cm初土壤含水量波动最大,且沿时间序列的减少主要发生在6月9日之前,之后10 cm土壤含水量基本恒定,这主要是土壤干沙层形成的影响造成的。50—200 cm处土壤含水量基本上均呈不同程度的增加,土层越深增加越大,但增加幅度较小,波动中的增幅集中在6月19日(雨季开始时)之后。与裸地相比,随着土层深度的增加,作物地土壤含水量出现依次滞后波动性,原因主要是作物地受其茎叶、根系及地表枯落物的影响。裸地与作物地土壤水分含量的波动沿土壤深度增加波幅逐渐减弱,说明沿生育期土壤水分含量变化剧烈层应该在50 cm以上的土壤层内。进一步研究发现,0—20 cm土层,尤其是0—10 cm土层是试验地土壤水分含量变化较剧烈的区域,发生的时间主要集中在6月9日之前,剧烈变化的程度可能主要与植物自身的截留量及其地被物有关系。6月9日以后,试验地20—50 cm土层土壤水分含量的变化受降水量、农田灌溉、植物截留及其根系分布等的影响,其中降水量与农田灌溉影响最大。

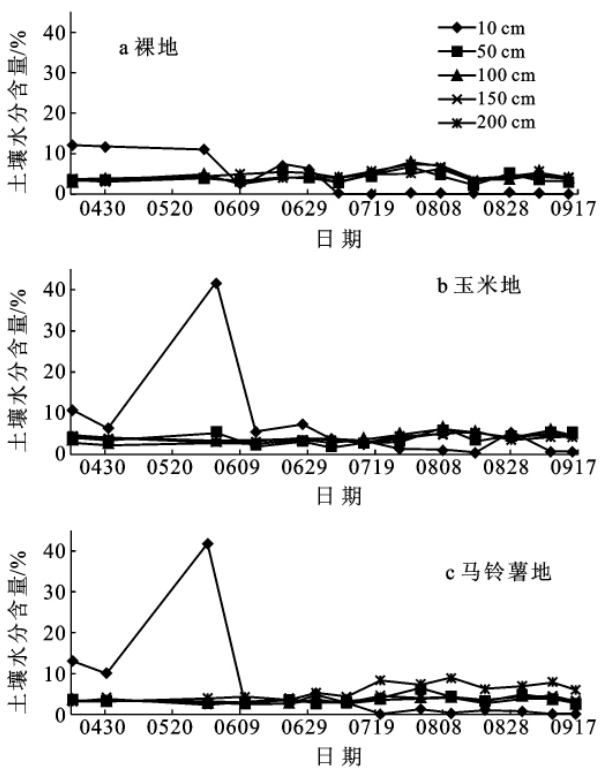


图2 裸地与作物地不同深度土壤水分含量的周年比较

2.2 沙地农田土壤水分的空间格局

2.2.1 沙地农田土壤水分结构的垂直变化格局 由图3也可清楚看出,0—20 cm土层土壤水分含量变化剧烈,30 cm以下土层变化相对平缓的事实。以下分析以变化较为平缓的30 cm以下土层为主。4月20日是播种的时间,试验地地表结构基本相同,前期所处环境条件也基本相同,故土壤水分含量随土层深度的变化基本相似。5月23日是作物苗期,作物地60 cm以下土层含水量较低,而裸地180 cm以下土层含水量较低,从含水量的平均值来看,裸地>马铃薯地>玉米地,充分体现出裸地水分下渗较快与地表

无作物耗水的事实,且由于该期强烈的地表蒸发使土壤含水量为最低。6 月 23 日玉米处在拔节期,马铃薯处在块茎形成期,其耗水量均较大,土壤含水量的平均状况也表现为裸地>马铃薯地>玉米地。7 月 20 日玉米处在大喇叭口期,马铃薯处在块茎增长期,耗水量也很大,但由于同期降水量的影响,水分含量基本为最高,平均值同样为裸地>马铃薯地>玉米地。8 月 20 日正值玉米抽穗吐丝、马铃薯淀粉积累期,均是需水关键期,2 m 土层土壤水分含量平均值玉米地>马铃薯地>裸地。9 月 18 日是玉米、马铃薯的成熟期,作物基本上停止需水,土壤水分得到一定的补给,土壤含水量平均值裸地>玉米地>马铃薯地。总体来看,裸地虽然地表蒸发较大,但由于没有地表植被耗水,在作物生育期末,裸地土壤含水量有所提高,土壤水分得到了一定恢复。马铃薯地 160 cm 以下土层土壤水分也有一定恢复与提高,但作物地平均土壤含水量还是有不同程度的下降,下降幅度不是很大,下降大小次序为玉米地>马铃薯地。

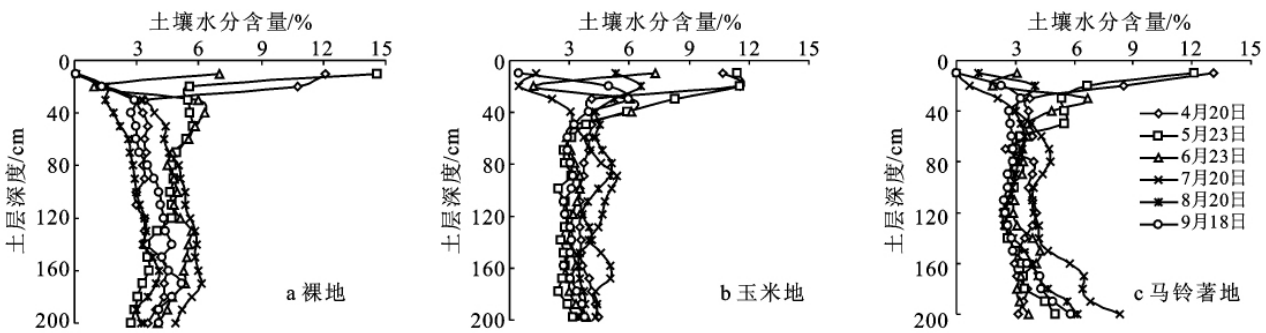


图 3　试验地土壤水分的周年垂直变化格局

2.2.2　沙地农田土壤储水量的变化格局　从图 4 知,在作物生育期末 0—50 cm 土层内土壤剩余储水量基本上表现为:玉米地>马铃薯地>裸地;50—150 cm 土层表现为:裸地>玉米地>马铃薯地;150—200 cm 土层表现为:马铃薯地>裸地>玉米地。故可把 0—50,50—150 及 150—200 cm 土层划分为土壤储水量剧烈变化层。逐渐恢复层与平衡稳定层,剧烈变化层受地表形态、作物及气候等因素影响较大故多变,逐渐恢复层主要受上层来水影响得以逐渐恢复,平衡稳定层主要受地下水补给及上层来水影响,基本保持了水分输入输出的平衡与稳定。

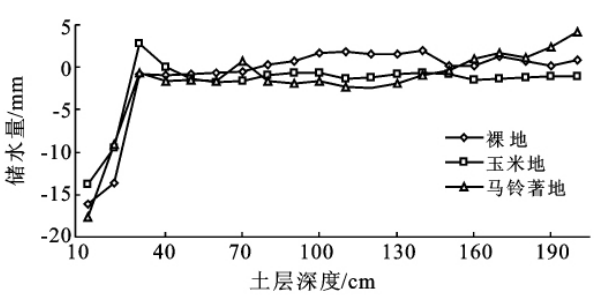


图 4　收获时试验地不同深度土壤剩余储水量

由图 5 知,沿作物生育期,在 6 月 9 日之前,裸地与马铃薯地 2 m 土层土壤储水量基本稳定,而玉米地波动较大,原因是在该时段内马铃薯的叶片还很小、根系还很稀疏,对土壤储水影响较小,基本和裸地差不多。6 月 9 日—8 月 18 日之间,裸地 2 m 土层土壤储水量均大于作物地,作物地储水量变化基本相同。在 8 月 18 日至 9 月 17 日,2 m 土层土壤储水量大小表现为:玉米地>马铃薯地>裸地,而在 9 月 7 日以后则表现为:裸地>玉米地>裸地。且裸地、玉米地、马铃薯地 2 m 土层土壤储水量在作物生育期前后分别减少了 20.51,38.53,34.35 mm。可见,减少量的大小次序为:玉米地>马铃薯>裸地,说明裸地水分保有量较作物地为好,但水分的无效蒸发却很大。

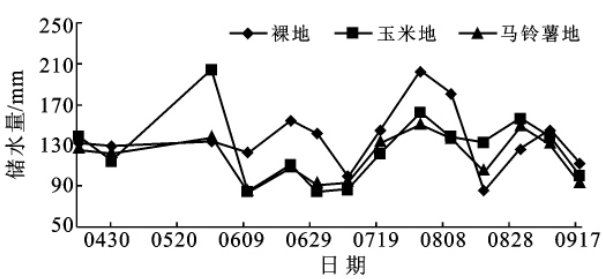


图 5　试验地 2 m 土层储水量的周年变化格局

2.2.3　沙地农田土壤水分的平衡格局　试验期间降水量为 317.70 mm,通过沙地农田水分试验,得知裸地土壤水分储量变化为 −20.51 mm,蒸发量为 196.95 mm,水分渗漏量为 141.25 mm,在没有外界干扰下,这个渗漏量可以作为农田土壤水分的渗漏通用量来运用。作物地浇水 90.50 mm,每次浇水尽量避免大水漫灌,减少水分下渗,可以认为浇水没有增

加土壤水分的下渗量，则可计算得知作物地的农田水分平衡基本参数(表 2)。

表 2 试验地农田水分平衡的相关量值 mm

地 类	作 物 蒸腾量	土 壤 蒸发量	土壤储水 变化量	农田实际 蒸散量
玉米地	175.30	131.18	−38.53	306.48
马铃薯地	183.91	119.38	−34.34	303.29

3 结 论

(1) 从沙地农田土壤水分的时间变化格局看。作物地、裸地地表日蒸发量的最大值均出现在正午后，裸地地表蒸发量的增加(减少)明显较作物地快，日蒸发量裸地大，作物地小。整个生育期内，裸地地表蒸发量最大，马铃薯地最小。作物地表蒸发量变化情况基本相同，且地表蒸发的逐月累计量呈双峰曲线变化，而裸地则为单峰曲线。在作物生育期末，裸地土壤含水量有所提高，土壤水分得到了一定恢复，作物地平均土壤含水量不同程度小幅下降。可以看出，在地表有植被覆盖时，地表土壤水分的散失途径增加，尤其是后期植被的蒸腾散失对土壤水分的影响较大，但水分含量散失较为平缓。裸露的地表则恰好相反，但随着地表干沙层的加厚，地表土壤水分散失防护层效应越来越明显，后期土壤深层土壤水分得到了一定恢复。所以，在毛乌素沙地农业生产过程中，农田不仅要有农业植被覆盖，同时应加强农田地表物质的覆盖，减少土壤水分的无效散失。因此，当前各地应大力推广沙地农田保护性耕作技术措施。实践也表明，保护性耕作具有较明显的生态、社会和经济效益，能够减少扬尘，保护环境；减少侵蚀，保护耕地；蓄水保墒，培肥地力；节本增效，增加农民收入。

(2) 从沙地农田土壤水分的空间变化格局看。试验地土壤水分含量的周年波动沿土壤深度增加波幅逐渐减弱。土壤表层是土壤水分含量变化较剧烈的区域，受地表干沙层厚度增加的影响剧烈变化层下移，且变化幅度变缓。作物地上层土壤受作物蒸腾影响较大，土壤储水量小，随着土层深度的增加裸地土壤储水量逐渐提高。试验地周年内土壤储水减少量作物地大，说明裸地水分保有量较作物地为好，其水分散失主要是地表无效蒸发。可以看出，受干沙层的防护，在毛乌素沙地有植被覆盖的土地水分消耗量大于裸地，裸地的地表蒸发更不容忽视。所以在裸露严重的沙漠化土地上进行植被恢复时，应加强地表覆盖，增加土壤水分储量，为沙漠化地区植被恢复奠定良好的水分基础。目前可以应用的主要有植物茎杆、柴草、砾石、沥青乳液等生物、工程和化学材料及技术措施。另外，沙地农田土壤水分平衡相关参数量值的获得，可以从更深层次上了解毛乌素沙地农田土壤水分的来龙去脉及其农田水分的运移规律，可为农业生产高效用水提供可靠理论依据与技术支撑。

[参 考 文 献]

[1] 赵学勇，左小安，赵哈林，等. 科尔沁不同类型沙地土壤水分在降雨后的空间变异特征[J]. 干旱区地理，2006，29(2)：275-281.

[2] 陈伏生，曾德慧，陈广生，等. 不同土地利用方式下沙地土壤水分空间变异规律[J]. 生态学杂志，2003，22(6)：43-48.

[3] 孙栋元，王辉，马仲武，等. 干旱荒漠区封育沙地土壤水分变化研究[J]. 西北林学院学报，2007，22(2)：49-53.

[4] 李衍青，张铜会，刘新平，等. 科尔沁地区不同类型沙地土壤水分变化分析[J]. 水土保持通报，2010，30(3)：31-35.

[5] 李和平，牛海，赵萌莉，等. 毛乌素沙地土壤水分日动态变化分析[J]. 灌溉排水学报，2008，27(4)：102-105.

[6] 王翔宇，张进虎，丁国栋，等. 沙地土壤水分特征及水分时空动态分析[J]. 水土保持学报，2008，22(6)：222-227.

[7] 朱震达，刘恕，吴正，等. 中国沙漠概论[M]. 北京：科学出版社，1980：63-66.

[8] 徐小玲，延军平. 毛乌素沙地的脆弱性与可持续发展研究[J]. 干旱区研究，2004，21(3)：286-289.

[9] 刘燕华，李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展[M]. 北京：商务印书馆，2001：21-31.

[10] 亢福仁，王鹏科，王立祥. 毛乌素沙地农业生态系统分析及评价[J]. 干旱地区农业研究，2006，24(4)：160-163.