

沙棘植物“柔性坝”沟道土壤水分时空动态变化研究

杨方社^{1,2}, 李怀恩¹, 杨联安², 毕慈芬³, 张亚丽¹

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 西安 710048;

2. 西北大学 环境科学系, 西安 710069; 3. 黄河上中游管理局, 西安 710043)

摘要: 沙棘植物柔性坝是一种防止沟道土壤侵蚀、拦沙保水的新型生物工程, 特别适合于生态环境恶劣的砒砂岩地区。在内蒙古准格尔旗砒砂岩地区东一支沟开展了沙棘植物柔性坝野外拦沙保水实验, 结果表明, 沙棘植物柔性坝各部位的土壤剖面含水量年内、年际时空动态变化有着明显的差异, 沙棘植物柔性坝对沟道土壤水分具有显著的调节作用, 降雨、地表植被种类、植被生长状况、土壤理化性质、地形和当地水文气象条件等是影响土壤水分时空变异的重要因子, 而其中降雨和地表植被是主要影响因素。

关键词: 沙棘植物“柔性坝”; 土壤水分; 动态变化

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2007)01-0107-04

Spatio-Temporal Dynamic Change of Soil Water in Gully with Seabuckthorn Plant “Flexible Dam”

YANG Fang-she^{1,2}, LI Huai-en¹, YANG Lian-an², BI Ci-fen³, ZHANG Ya-li¹

(1. Institute of Water Resources and Hydroelectricity, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048; 2. Department of Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710069; 3. Bureau of Upper and Middle Reaches of Yellow River, Xi'an 710043)

Abstract: Seabuckthorn plant flexible dam is a new biology project used in preventing soil erosion and sediment retention and conservation of water in gully, especially in soft rock region with serious environment. An experimental research in field on sediment retention and water conservation of seabuckthorn plant flexible dam is carried on in the small east-one-branch gully of the representative soft rock region in Zhun-Ge-er county in inner Mongolia. It is showed by the results that the flexible dam can strikingly regulate soil water in the gully channel, and the spatio-temporal dynamic change is obviously different in distribution of soil water in soil profile in different positions of seabuckthorn plant flexible dam in a year and several years, and the important factors affecting spatio-temporal change of soil water are rainfall, categories of vegetation, growth status of vegetation, physical and chemical characteristics of soil, terrain and hydrology whether condition of local region etc., while rainfall and condition of vegetation in gully channel are mainly affecting factors among those.

Key words: seabuckthorn plant “flexible dam”; soil water; dynamic change

黄河是世界上著名的多泥沙河流, 年平均输沙量多达 16 亿 t, 堪称世界之最。每年约有 4 亿 t 的泥沙淤积在黄河中下游, 钱宁^[1]经过考察后指出, 这些泥沙主要来自黄河中上游干旱、半干旱地区严重的水土流失, 其中大于 0.05 mm 粗沙是造成淤积的根本原因, 而这些粗沙主要集中在陕、蒙交界处的砒砂岩地区及十大孔兑地区。因此, 治黄的根本在于治沙。1985 年钱正英^[2]院士对黄土高原考察后, 结合黄河中上游的干旱、半干旱地区实际情况, 率先提出“把沙棘作为治理黄土高原的突破口”这一治理思路, 引起了更多专家学者对沙棘的研究。

沙棘^[3~4]具有耐旱、耐瘠薄, 能萌蘖自生繁殖的生物特性, 是极能在恶劣生态环境地区生长的灌木之一, 具有良好的抑制土壤侵蚀和水土保持作用。沙棘植物柔性坝是一种新型防止沟道土壤侵蚀、拦沙保水的生物工程措施。它利用沙棘的生物特性, 模拟拦沙蓄水的水库大坝, 在小流域沟道中按一定的行距、株距和种植方式, 在垂直于水流方向种植的一排排能够透水的沙棘植物体, 称之为沙棘植物柔性坝, 它是由我国水保专家毕慈芬等^[5]于 90 年代末提出的, 是“把沙棘作为治理黄土高原的突破口”这一治理思路的具体实践。

新疆农业大学在室内进行的植物柔性坝水槽试验表明^[6], 砒砂岩地区沟道中的植物柔性坝, 能够有效地拦

收稿日期: 2006-02-01

基金项目: 国家自然科学基金项目“黄河粗沙区沙棘柔性坝水保效应原型试验与数学模拟”(50479067), 霍英东教育基金会第九届高等院校青年教师基金优选课题“抑制土壤风蚀对防治沙尘暴的作用”(944005)

作者简介: 杨方社, 男, 生于 1975 年, 硕士, 在读博士生。主要从事河流泥沙、水土保持与环境保护方面的研究。E-mail: yangfangshe978@163.com 或 yangfangshe978@126.com

截泥沙,促进当地生态环境的恢复。西安理工大学近年来在内蒙古鄂尔多斯(原伊克昭盟)境内的准格尔旗西石沟左岸东一支沟小流域开展了沙棘植物柔性坝野外拦沙及水文效应原型实验,主要研究沙棘植物柔性坝的拦沙机理及水文效应^[7~8]。Berndtsson 的研究^[9]表明,水是半干旱沙区影响环境变异的重要因子,因此,研究沙棘植物柔性坝沟道土壤水分的时空动态变化规律^[10~11],对于研究沙棘植物柔性坝对沟道径流调控、水资源的再分配、三水转化机理及抑制土壤侵蚀等作用具有重要理论和实际意义。

1 研究地区与方法

1.1 研究地区概况

试验是在内蒙古自治区鄂尔多斯(原伊克昭盟)境内的准格尔旗进行。准格尔旗属典型的砒砂岩地区,位于鄂尔多斯高原东南部,是较严重的沙尘暴多发区之一,生态环境十分脆弱。准格尔旗年平均降水量为 389 mm 左右,7~8 月降雨量占全年降水量的 70%,但年蒸发量可达 2 000~2 300 mm,年平均温度为 5.3~8.7℃,气候属半干旱大陆性气候,属典型丘陵沟壑山区,素有七山二沙一分田之称^[12~13]。这里十年九旱,水土流失、耕地沙化严重,土地生产力下降,严重限制了流域经济的发展和人民生活水平的提高。试验研究小流域选在伊盟准格尔旗西石沟左岸东一支沟进行,该沟控制流域面积为 1.67 km²,沟长 1 628 m,共有支、毛沟 36 条。沟道基本特征见表 1。

表 1 东一支沟沟道基本特征

测定项目	沟道长度 (m)	沟底比降 (%)	沟道宽度 (m)	沟谷坡度 (°)
主沟	平均	4.4	4.68	36.4
	最大	7.71(主沟掌)	17.2	87.1
	最小	1.56	1.5	11
左支沟	平均	6.8	2.66	39.7
	最大	7.38(主沟掌)	4.4	49.9
	最小	4.04	1.1	17.1
右支沟	平均	5.84	1.24	49.3
	最大	7.21(主沟掌)	1.6	56.2
	最小	4.2	0.5	38.9

这里十年九旱,水土流失、耕地沙化严重,土地生产力下降,严重限制了流域经济的发展和人民生活水平的提高。试验研究小流域选在伊盟准格尔旗西石沟左岸东一支沟进行,该沟控制流域面积为 1.67 km²,沟长 1 628 m,共有支、毛沟 36 条。沟道基本特征见表 1。

1.2 沙棘植物柔性坝平面布置

1996 年开始在东一支沟小流域从上游至下游在不同位置布设沙棘植物柔性坝若干座,采用 2~4 年生沙棘苗,按行距 2 m,株距 0.3 m,埋深 0.4 m 进行栽植。植物柔性坝平面布置见图 1。

1.3 测定方法

沙棘柔性坝共测 3 个断面,沙棘柔性坝坝前淤积体的监测断面为柔性坝上游断面,标记为 C₁;坝体中间为柔性坝中断面,标记为 C₂;坝体末尾为下游断面,标记为 C₃。每个断面在沟槽位置沿 1.0 m 深度的土壤剖面取 8 个土层(0~40 cm 间隔 10 cm 采样,40~100 cm 间隔 20 cm 采样),每个土层的土壤含水量重复测 3 次,采用烘干法测定。

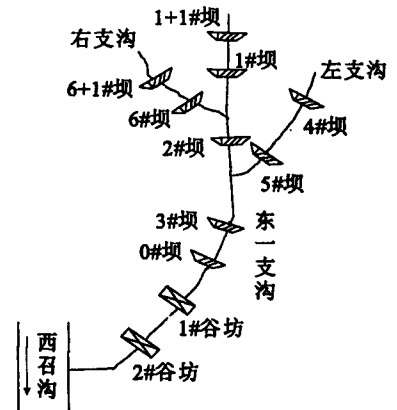


图 1 植物柔性坝平面布置图

2 结果与分析

2.1 柔性坝沟道土壤水分动态变化规律

2.1.1 年内动态变化 图 2 是柔性坝沟道中游典型 2# 坝沙质壤土 2000 年 4~10 月的土壤水分年内动态变化图。从图 2 可知,比较 8 个土层土壤水分变化动态,以表层土壤水分变化最为剧烈,10,30,100 cm 土层在 4~5 月变化较为剧烈外,其它土层在年内变化均相对平缓;无论在哪个土层中,土壤水分动态变化都有相似的趋势,即在雨季(5~9 月)土壤水分含量明显高于旱季(10~次年 4 月)。其中表层土壤水分含量在 5 月以及 10 cm 土层土壤水分在 8 月份都突然增大,是由于该月份在同期测定时间前降了一场大雨所致。

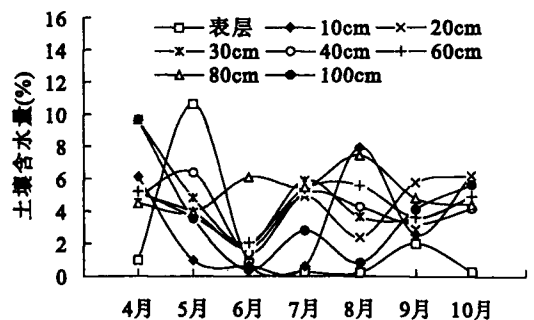


图 2 2000 年各土层 4~10 月动态变化

从图中还可明显看出,第二季度是土壤水分消耗期,因为该期一般降雨少,且植物开始苏醒生长,加之该区强烈蒸发,土壤水分迅速消耗;第三季度由于多降雨和强蒸发,土壤水分处于补偿与消耗的动态平衡变动区;第四季度和第一季度是土壤水分稳定积蓄上升期,由于该期温度梯度较大,区域气温持续降低,植物草木活动减弱,蒸散量急剧下降,土壤水分活跃性减弱,另外,冬春季有融雪雨水补给,因此导致土壤水分处于积蓄增长期,以备来年草木植物生长所用^[14]。

2.1.2 年际动态变化 图 3 是柔性坝沟道中游 2# 坝沙质壤土的月平均含水量年际动态变化。从图 3 中可看出,沿土壤剖面土壤年平均含水量 2000 年最低,1998 年最高,1999 年居中,造成这种变化的原因是 1998 年全

国普遍降雨量较丰,该区汛期降雨偏丰,1999 年和 2000 年降雨量锐减,而且有逐年减少的趋势,这是由于气候变化的因素;另一原因是 1998 年沙棘植物柔性坝坝龄才刚 2 年(1996 年开始栽植),沙棘植物坝消耗水分较少,而随着时间的延长,沙棘坝树龄的增长,沙棘生长量迅速,导致沙棘及地表伴生植物对土壤水分的消耗量增大,之后年降雨量锐减,天气干旱,这些因素综合导致土壤年平均含水量呈逐年减少的趋势。年内土壤月平均含水量在年际间的变化是时间跨度越大,则土壤各月平均含水量逐年降低,表现在图 3 上是 2000 年的月平均土壤水分大大低于 1998 年,1999 年月平均土壤水分在汛期低于 1998 年,在非汛期高于 1998 年,这主要还是受降雨和地表植被以及土壤理化性质的影响。

图 4 是土壤层含水量年际动态变化图,由图 4 可看出,土壤表层水分除 2005 年外在各年中均为最低,主要是因为表层土壤水分蒸发剧烈所致。在土壤剖面上各年的分布规律类似,在 0~20,60~100 cm 土层中,土壤水分随着深度的增加呈现增大的趋势,20~60 cm 土层中土壤水分处于活跃层,该层的变化规律是随着深度的增加先减小后增大,原因是沙棘植物柔性坝根系的 80%(主、毛、须根)集中于该层,根系与水分的相互作用导致该层的土壤水较活跃;另外该层土壤水分除 1999 年最小外,其余 1998 年、2000 年及 2005 年的都大致差不多,只不过 2005 年的整个土壤剖面土壤水分分布更加趋向于均匀化。这主要是受当地水文气象、土壤理化性质的变化以及某些突发性因素所致。

2.2 柔性坝沟道土壤水分垂直分布规律

土壤剖面水分垂直分布规律可从图 4 及图 5 中明显地看出,图 5 是 2005 年 8 月和 10 月测定的 2# 沙棘植物柔性坝沟道土壤水分垂直分布图。从图 4 和图 5 可见,0~20 cm 土层土壤含水量变化较剧烈,变异较大,由于该层土壤受降雨及地表蒸发的影响,随着深度的增加,蒸发量随之减小,蒸发作用减弱,大体趋势是随着深度的增加,土壤含水量逐渐增大。20~60 cm 土层土壤水分处于动态平衡,表现出相对稳定的态势,该层土壤水分受蒸发作用减弱,主要受降雨入渗、地下水补给以及与沙棘根系利用水分的相互作用影响,导致该层土壤水分变化活跃,但又处于一个弱的动态平衡区,表现出相对稳定性。该层是沙棘根系与水分相互作用的土壤层,因为据现场调查沙棘根系主要在该层土壤内水平发展,沙棘的侧向横根特别发达,沙棘被淤埋一层,便在该层土壤内生出新的横根^[5]。60~100 cm 土层是土壤水分跃升层,在该层随着深度的增加,土壤水分逐渐增大,据现场钻孔土样资料表明,该层土壤孔隙率较大的砂岩,透水性很强,但 100 cm 以下是水吸力强的细颗粒砂层,透水性弱,再加上地下水的补给,使得该层成为天然的弱渗漏壤中水库,该水库成为沙棘植物根系可供利用的地下最近补给层。从垂向也可显示,剖面最大含水量处于底层 80~100 cm。

2.3 柔性坝沟道土壤水分空间分布规律

研究区地处黄土高原丘陵沟壑砂岩区,沟壑纵横,坡陡沟深,坡位、坡度、坡向等立地因素是该区降水和蒸发热量等再分配的重要影响因子,研究该区土壤水分在流域内植物柔性坝不同空间位置的分布规律具有重要意义。图 6 显示了 2005 年 8 月中旬观测的东一支沟流域沟道内沙棘植物柔性坝不同部位的土壤水分随土层深度的分布状况。沟道内柔性坝上游淤积段、中游段和尾部段的土壤剖面含水量即对应图上的沟上、沟中和沟下各部位的土壤剖面含水量。由图 6 可以看出,随土层深度的增加,沟下部的土壤含水量变化最为平缓,其次是沟中部,波动最大的是沟上部。另外,沟上部和沟下部在 0~60 cm 土层内变化趋势是一致的,即先增加(0~40

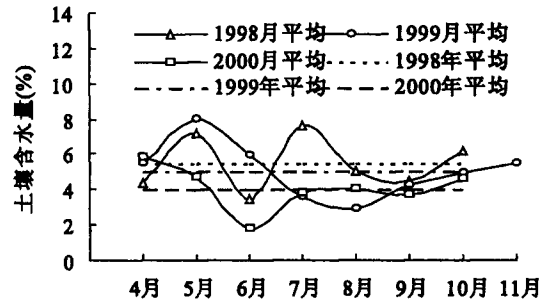


图 3 土壤平均含水量的年际动态变化

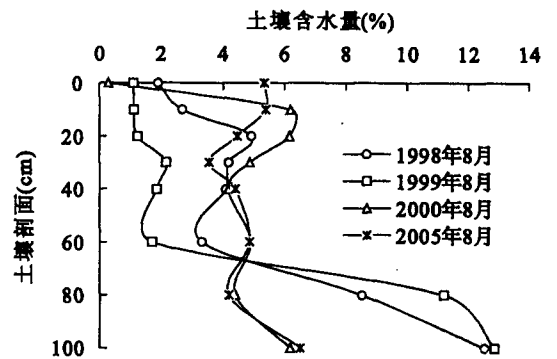


图 4 土壤剖面含水量年际动态变化

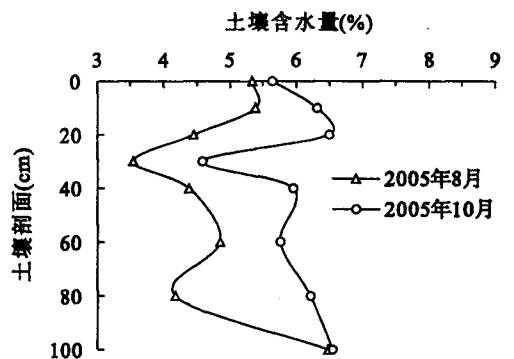


图 5 2005 年 8 月和 10 月的土壤水分垂直分布

cm)后平缓(40~60 cm),而在 60~100 cm 土层中,沟上部是先减小(60~80 cm)后突然增大(80~100 cm),沟下部正好相反,是先增大(60~80 cm)后突然减小(80~100 cm)。沟中部曲线的变化趋势除了 0~10 cm 土层外几乎刚好介于二者之间,显著的是沟中部即柔性坝中游位置地表表层的土壤含水量异常大。这些说明流域沟道植物柔性坝不同位置土壤水分垂向分布的不同。另外,整个土壤层平均土壤含水量是沟上部 > 沟中部 > 沟下部,这从图上反映得非常明显,造成这些变化的原因主要是沙棘植物柔性坝的影响,因为每当降雨沟道产流后,柔性坝往往对水流造成雍水,引起水位升高,水流速度放慢,致使水流在此停滞时间延长,从而增大了入渗;当水位雍至一定程度时,穿过柔性坝中游的水流速度有所加快,在中部的人渗速度放慢,从而沟中部的平均土壤含水量比上游段要小一些;当水流穿过柔性坝尾部段时,这时尾部以后无植物阻碍,进入原始沟道,加之比降变大(由于柔性坝的拦沙淤积可以减缓沟道比降),水流速度加快,这时的人渗速度决定于土壤颗粒组成,假定沟上、中、下部的土壤颗粒组成一致,则此时沟下部的平均土壤含水量应该最小,这从图 6 显示的很清楚。另外一个原因是在沟道产流后,壤中流在重力的作用下,自沟道上游向下游汇流,也加速了这种空间分布。

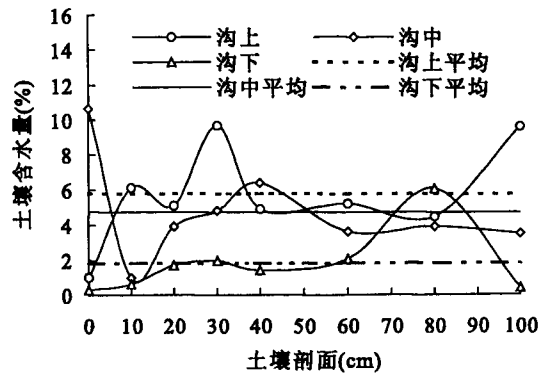


图 6 沟道植物柔性坝不同位置土壤水分垂向分布

图 7 是流域坡面不同位置土壤水分垂向分布,由图 7 可见,随坡位的降低,土壤含水量坡上部波动较大,坡中和坡下部表现的相对平缓。还可看出,土壤平均含水量变化是坡上 > 坡下 > 坡中,引起这种差异的外因是流域内不同地段地形特征、坡面地表组成、破碎程度、海拔高度和降雨的时空分布,内因是地温、土壤质地组成、气温等作用综合造成的,内因中主要是土壤土层的机械组成造成的。现场钻孔资料分析表明,坡上部土壤剖面的土壤平均颗粒较细(0.04 cm > d > 0.02 cm),多是沙壤土,因而土壤水势较小,水吸力较强,因而造成坡上部土壤水分暂时较大;而坡中部土壤剖面土壤平均颗粒组成较粗(d > 0.05 cm),多是砒砂岩,土壤孔隙较大,水吸力较小,水势大,易造成土壤水分的大量泄漏,形成较快的壤中流,流向坡下部;坡下部土壤平均颗粒组成稍细(0.05 cm > d > 0.035 cm),介于坡上和坡中部之间,流向坡下部的土壤水分在重力和毛细管力共同作用下,一部分滞留在坡下部土层,另一部分继续向沟道汇流,加上上面所述其它因素就造成图 7 所示结果。这一过程也符合一般规律,即沟道内平均土壤水分值要高于坡面,这一点可从图 6 和图 7 的对比明显看出。

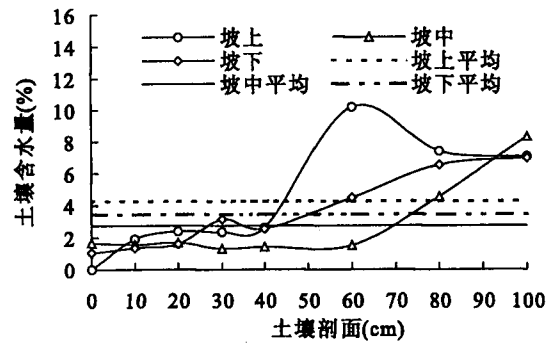


图 7 流域坡面不同位置土壤水分垂向分布

3 结 论

(1) 8 个土层土壤水分的年内变化动态,以表层土壤水分的变化最为剧烈,10 cm 土层、30 cm 土层和 100 cm 土层在 4~5 月份变化次之,其它土层在年内变化均相对平缓;无论在哪个土层中,土壤水分动态变化都有相似的趋势,即在雨季(5~9 月)土壤水分含量明显高于旱季(10~次年 4 月)。

(2) 各土层含水量年际动态变化主要受年际、年内降雨的时空分布影响。年内月平均土壤含水量在年际间的变化是时间跨度越大,随着沙棘坝树龄的增长,天气干旱,年降雨量持续减少,土壤年平均含水量呈逐年减少的趋势,各月平均土壤含水量逐年降低。

(3) 土壤剖面含水量分布年际变化规律类似,在 0~20 cm,60~100 cm 土层中,土壤水分随着深度的增加呈现增大的趋势,20~60 cm 土层中土壤水分处于活跃层,该层的变化规律是随着深度的增加先减小后增大。

(4) 柔性坝不同部位土壤剖面平均含水量变化是沟上部 > 沟中部 > 沟下部,随土层深度的增加,沟下部的土壤剖面含水量变化最为平缓,其次是沟中部,沟上部波动最大;流域坡面不同位置土壤水分垂向分布,随坡位的降低,土壤含水量坡上部波动较大,坡中和坡下部相对平缓,土壤平均含水量变化是坡上 > 坡下 > 坡中。

降雨、地表植被种类、植被生长状况、土壤理化性质、地形和当地水文气象条件等是影响土壤水分时空变异的重要因子,而其中降雨和地表植被是主要因素。上述结果分析表明,柔性坝各部位的土壤剖面含水量年内、年际时空动态变化有着明显的差异,沙棘植物柔性坝对沟道土壤水分具有显著的调节作用。 下转第 127 页

上接第110页

参考文献:

- [1] 钱宁,王可钦,等. 黄河中游粗泥沙来源区对黄河下游冲淤的影响[A]. 《人民黄河》编辑部编. 黄河研究与实践[M]. 北京: 水利电力出版社,1986. 27-34.
- [2] 钱正英. 以开发沙棘资源作为加速黄土高原治理的一个突破口[J]. 水土保持科技情报,1986(4):1.
- [3] 李宗孝,李伯文. 沙棘研究及其生态建设思考[J]. 中国基础科学·研究论坛,2004(6):40-44.
- [4] 杨芳. 沙棘的研究进展[J]. 第一军医大学分校学报,2004,27(1):79-81.
- [5] 毕慈芬,李贵芬. 砒砂岩地区沟道沙棘植物“柔性坝”原型拦沙研究[J]. 国际沙棘研究与开发,2003,1(1):6-12.
- [6] 程艳,李森,等. 河渠种树水流特性试验研究[J]. 新疆农业大学学报,2003,26(2):59-64.
- [7] 杨方社,李怀恩,等. 小流域沙棘植物柔性坝系累积水保效应原型试验[J]. 泥沙研究,2006(4):1-6.
- [8] 李怀恩,同新奇,等. 沙棘“柔性坝”对土壤水分调控作用的试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(11):69-73.
- [9] Berndtsson R, Chen H. Variability of soil water content along a transect in a desert area[J]. Journal of Arid Environments, 1994,27:127-139.
- [10] 赵成义,王玉朝. 荒漠绿洲边缘区土壤水分时空动态研究[J]. 水土保持学报,2005,19(1):124-127.
- [11] 王晓燕,陈洪松,等. 不同利用方式下红壤坡地土壤水分时空动态变化规律研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):110-114.
- [12] 余海龙. 内蒙古准格尔旗雨水利用的环境效应分析[J]. 人民黄河,2004,126(5):28-32.
- [13] 李忠锋. 准格尔旗土地利用变化与影响因素分析[J]. 水土保持通报,2003,23(3):42-44.
- [14] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 386: 253-260.