黄土高原高塬沟壑区坡面表层土壤水分研究

张晶晶，王 力
（西北农林科技大学 资源环境学院，陕西 杨凌 712100）

摘 要：以长武王东沟小流域径流小区为试验点，研究了于黄土高原高塬沟壑区坡面表层土壤水分特征，分析了降雨量、植被覆盖度对地表土壤水分的影响，旨在为该区植被恢复和水土流失治理提供科学的理论依据。研究结果表明，0—30 cm 土层土壤含水量呈现中等变异。15°阳坡土壤含水量小于 35°半阳坡土壤含水量。土壤水分的变化趋势与降雨量的变化趋势基本一致，0—10 cm 土层土壤含水量与降雨量具有良好的同步性，而 10—20 cm 土层和 20—30 cm 土层土壤含水量的同步性较差。植被覆盖度越高，其土壤平均含水量就越高，植被覆盖度达到 40%时，中坡和下坡的剖面各层土壤含水量随深度增加而减少的趋势更加明显。土壤平均含水量从坡顶到坡底逐渐增加。0—30 cm 土层土壤含水量随深度增加而减少。

关键词：土壤水分；变异系数；降雨量；植被覆盖度
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2011)01-0093-05 **中图分类号**：S152.7

Surface Soil Moisture Conditions in Gully Region of the Loess Plateau

ZHANG Jing-jing, WANG Li
(*College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: In order to provide theoretical evidences for vegetation recovery and soil loss control in the gully region of the loess plateau, surface soil moisture characteristics were analyzed by addressing the influences of precipitation and vegetation cover on soil moisture. The experimental plots of Wangdonggou basin in Changwu County was selected as the study site. The results show that soil moisture contents in the 0—30 cm soil layers varied moderately. Soil moisture contents of sunny slope(15°) were lower than half sunny slopes (35°). The variations of soil moisture contents responded to the rainfall closely; the soil moisture contents in the 0—10 cm layers approximately synchronized with rainfall , but the agreement between soil moisture content and rainfall variations was poor in the 10—20 cm and 20—30 cm layers. It was observed that the higher the vegetation coverage, the higher the mean of moisture contents. When the vegetation coverage was over 40%, the trend that soil moisture content decreased with soil depth became more obviously in soil profiles of middle slope and down slope. The soil moisture means gradually increased from the summit to foot slope. Soil moisture contents decreased with depth in the 0—30 cm soil layers.

Keywords: **soil moisture; coefficient of variation; precipitation; vegetation coverage**

黄土高原地区水土流失严重，植被恢复与重建的关键性制约因子是水分，植被生长过程中的水分补给主要来自降水，土壤水分条件直接关系到植被建设的成效[1]。土壤水分是连接气候变化和植被覆盖动态的关键因子[2-3]，同时也是生态植被恢复的关键因素之一[4]。

黄土高原高塬沟壑区大部分地处半干旱半湿润地区，气候类型属于温带大陆性季风气候，地貌类型复杂多样，年降水总量较少且多集中在 7—9 月份。因此，合理有效地利用有限的降水资源，研究该区土壤水分状况是该地区进行植被建设的关键所在[5-7]。

地表土壤更是在大时间和空间尺度上对地球系统的相互作用具有广泛影响，其水分含量对于径流和入渗过程起着主要控制作用。土壤水分通过蒸发过程成为气候系统中降雨的重要水分来源，再经陆地库储存并随后释放的地表热量减缓了地表温度的日变

收稿日期：2010-07-03 **修回日期**：2010-07-30
资助项目：中国科学院知识创新工程项目“长武县水资源状况、降水集蓄模式与旱作农田生产力适度开发技术”(KSCX-YW-09-07)
作者简介：张晶晶(1984—)，女(汉族)，甘肃省定西市人，硕士研究生，主要从事水土保持与荒漠化防治的研究。E-mail: zhangjingjing2004@163.com。
通信作者：王力(1973—)，男(汉族)，山西省临县人，副研究员，硕士生导师，主要从事土壤生态和植被建设研究。E-mail: wangli5208@nwsuaf.edu.cn。

化和季节变化[8-9]，并且表层土壤水分可能通过这种陆地—地表大气的反馈机制来调控地表水分分布过程[10]。

土壤水分的研究一直是土壤—植被—大气系统领域的热点。胡伟等[11]在神木生态观测站研究土壤水分，提出各层土壤水分之间的变异系数值在31.0%～38.8%之间，为中等变异，但是随着深度的增加，变异系数并未表现出明显的规律。大气降水是土壤水变化的主导因素，降水量在很大程度上控制着土壤水分[12-14]。大气降水有季节性规律，以致土壤水分在时间上也有季节动态特征，土壤水分变化与降雨的季节性变化规律基本一致[15-17]。

植被覆盖度与土壤水分之间具有显著的相关关系[18]。莫治新等[19]对不同种类植物盖度与垂直方向土壤的水分特征进行了相关分析。张建兵等[20]认为不同植被覆盖下土壤平均含水量的垂直变化特征是覆盖度越高，其表层土壤(0—20 cm)的含水量越高；植被覆盖对剖面土壤水分的影响在浅层(0—40 cm)土壤中比较明显，随着土层深度的增加，由植被覆盖度高低而引起的对土壤水分的影响逐渐减小并最终消失。地形因子对于土壤含水量也有很大的影响，研究认为，土壤含水量随坡度增大呈减少趋势[21-25]，土壤水分沿坡顶向下变化逐渐增加[5]，阳坡土壤含水量低于阴坡土壤含水量[6-7]。综合以上研究发现，有关土壤水分与下垫面条件之间相互关系的研究很多，但在黄土高原高塬沟壑区，有关坡面表层土壤水分与下垫面影响因素之间关系的报导相对较少。针对这一问题，本文以长武王东沟小流域径流小区为研究对象，对于黄土高原高塬沟壑区坡面表层土壤水分特征进行研究，分析降雨量、植被覆盖度对地表土壤水分的影响，旨在为该区植被恢复和水土流失治理提供科学的理论依据。

1 研究区概况

王东沟小流域位于黄土高原高塬沟壑区的陕西省长武县洪家乡(35°12′16″—35°16′00″N，107°40′30″—107°42′30″E)，海拔946～1 226 m。属于有深沟切割的黄土塬地貌，以原状地形和沟壑为主，土壤侵蚀严重。在塬坡沟组成的地貌格局中，塬面积占33.6%，坡面积占53.3%，沟底占13.1%。该区是黄土高原沟壑区的典型代表，塬区黄土层厚度超过100 m，地貌属典型的高塬沟壑区，塬面和沟壑各占35%和65%。植被有纤毛鹅冠草(*Roegneria*)、蛇莓(*Herba Duchesneae indicae*)、野菊花(*Matricaria recutica*)、狗尾草(*Pennisetum glaucum*)以及冰草(*Agropyron cristaum*)。该地区属暖温带半湿润大陆性季风气候，年平均温度9.2 ℃，年平均降水量582.3 mm，并且分配不均，其中52.8%分布在7—9月，属典型的雨养农业。土壤属黑垆土，母质是中壤质马兰黄土，全剖面土质均匀疏松，通透性好，有利于植物生长。

2 研究方法

根据地形和地貌特征，试验地选在王东沟小流域中下部的自然均匀的坡面上，植被主要以自然植被为主。在坡面上布设9个坡度为15°的小区，编号1—9，面积为1.5 m×9 m，阳坡；3个坡度为35°的小区，编号10—12，面积为3 m×20 m，半阳坡。在试验期间，用除草剂喷洒8—10小区使之成为裸地，进行对比研究。在7—10月雨量较为集中的月份，降雨之后在径流小区中进行采集土样。每隔10 d采用针刺法测定植被覆盖度。降雨量由长武站气象观测系统监测。

分别取10，20，30 cm土层的原状土壤样品，装入铝盒。在室内将装有土样的铝盒称重，称量出铝盒加湿土的质量W_1。放入烘箱中，在105 ℃下烘至恒重，取出铝盒称量，即铝盒加烘干土的重量W_0。根据公式计算出土壤含水量。

$$\text{土壤含水量}=(W_1-W_0)/(W_0-W)\times 100\ \%$$

式中：W_1——土壤湿重；W_0——土壤干重；W——铝盒重。

3 结果分析

3.1 表层土壤水分的变异系数

表1—2显示了坡面表层土壤含水量均值、标准差及变异系数。可以看出，在取样时段内，15°坡面的土壤平均含水量介于7.93%～16.70%，35°坡面的土壤平均含水量介于9.07%～19.61%，35°坡面的土壤平均含水量高于15°坡面的土壤平均含水量，主要原因可能是35°坡面是半阳坡，植被覆盖状况优于15°阳坡的植被状况。这也说明与坡度相比，长武试区坡向是决定植被状况和土壤水分的更重要因素。从土壤水分的变异系数来看，在取样时段内均表现为中等变异($10\%\leqslant C_V\leqslant 100\%$)，这与以往研究中坡面表层土壤水分呈现中等变异的观点相符合[8, 26-27]。35°坡面土壤水分存在较大的变异性，变异系数明显大于15°坡面。此外，土壤含水量的不同水平对应不同的变异程度，含水量较低时呈中等变异，这说明土壤水分的变异系数与土壤平均含水量关系密切。

3.2 降雨量和土壤水分的关系

降水对土壤水分动态有着强烈的影响[28]，也是该地区土壤水分及作物生长需水的主要来源，土壤水

分的变化与降雨量的变化紧密相关。夏季降水丰富,土壤含水量变化较平稳。

表 1　15°坡面表层土壤含水量均值、标准差及变异系数

取样时间	均值/%	最小值/%	最大值/%	标准差/%	变异系数
0726	13.26	10.90	16.70	1.88	0.14
0801	10.38	8.94	11.61	1.05	0.10
0810	12.09	9.33	14.64	2.09	0.17
0816	11.31	9.03	12.84	1.27	0.11
0819	12.11	10.31	13.51	1.17	0.10
0823	11.58	8.32	14.70	2.21	0.19
0829	12.32	9.54	15.95	2.13	0.17
0906	12.28	9.53	14.10	1.60	0.13
0913	14.87	10.71	16.33	2.20	0.15
1013	11.77	7.93	12.88	1.87	0.16

由图 1 可知,草地的土壤平均含水量高于裸地的土壤含水量,15°坡面草地的土壤含水量介于 9.84%～16.7%之间,裸地的土壤含水量介于 7.93%～13.44%;35°坡面草地的土壤含水量 10.84%～19.61%,而裸地的土壤含水量介于 9.07%～14.93%。草地、裸地的土壤含水量和降雨量的变化趋势基本一致,与裸地相比,草地土壤含水量随降雨量的变化趋势更加明显,其原因是裸地无植被覆盖,7—9 月份温度较高,地面蒸发对裸地表层土壤水分有较大的影响[13]。

表 2　35°坡面表层土壤含水量均值、标准差及变异系数

取样时间	均值/%	最小值/%	最大值/%	标准差/%	变异系数
0726	15.24	12.47	18.99	2.47	0.16
0801	12.65	9.24	16.85	3.18	0.25
0810	12.60	9.36	16.63	2.49	0.20
0816	11.38	9.64	14.29	1.65	0.14
0819	13.75	10.11	16.03	2.22	0.16
0823	12.90	9.72	15.30	1.91	0.15
0829	13.38	11.60	15.59	1.61	0.12
0906	12.87	9.71	15.46	1.97	0.15
0913	15.61	9.87	19.61	3.32	0.21
1013	11.81	9.07	14.87	2.22	0.19

0—10 cm 土层土壤含水量与降雨量具有良好的同步性,而 10—20 cm 土层和 20—30 cm 土层土壤含水量与降雨量的同步性较差,这可能与植被吸水的根系主要分布在 10—30 cm 层位有关[19]。8 月 16 日的降雨量大于 8 月 19 日的降雨量,但是 8 月 19 日的土壤含水量高于 8 月 16 日的土壤含水量,其原因是这 2 次降水时间较接近,土壤水分在剖面内蓄积,使得表层土壤含水量短时间内比较高。7,8 月降水量最多时土壤水分并没有处于最高峰,原因是此时外界环境条件引起的土壤蒸发增大和植被生理活动引起的蒸腾耗水增强,导致降水的补给作用小于土壤水分的消耗。

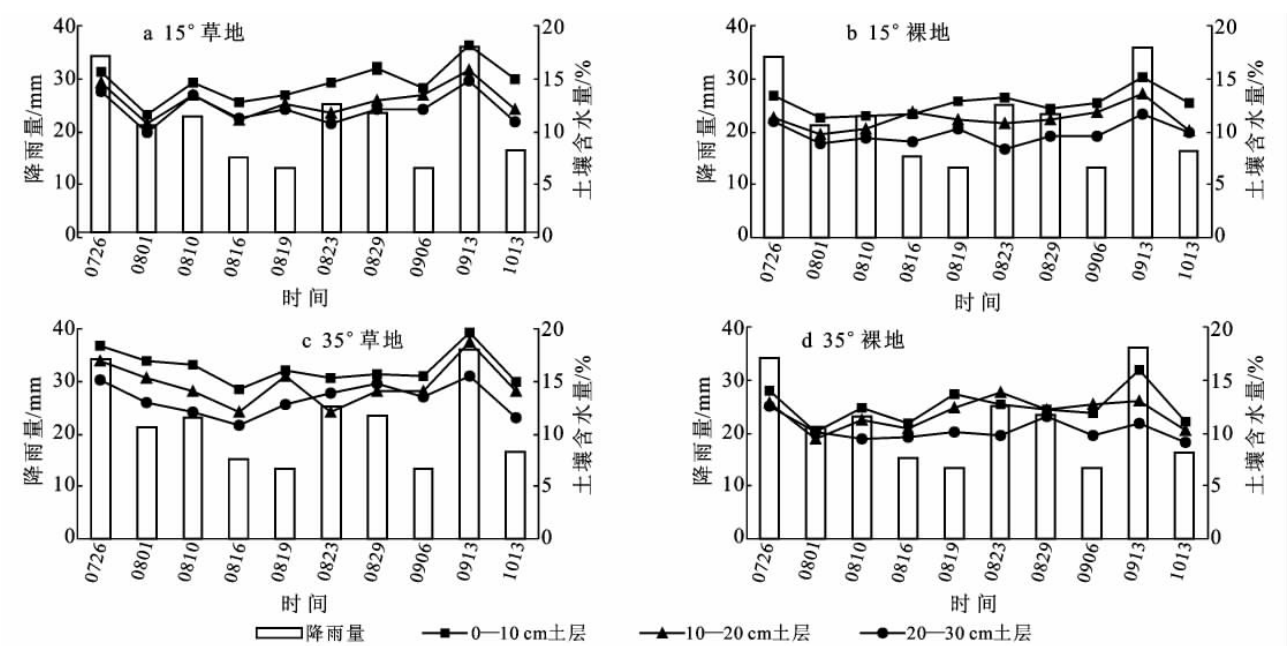


图 1　降雨量和土壤含水量的关系

一般认为 9—10 月为土壤水分补给期[6,29]。9 月的降水量使土壤水分得到了充分补充,土壤含水量较高;10 月气温降低,土壤水分消耗明显减少,降水对土壤水分的补偿作用得以体现,故土壤含水量相对

于降雨量具有较大的值，这是降水对土壤水分补偿滞后效应的明显表现。35°草地坡面的土壤含水量变化较平稳，这与其地处半阴坡和良好的植被覆盖有关，由此也说明草地具有较好的水文效应。

3.3 植被覆盖度与土壤水分的关系

图 2 表明，表层土壤平均含水量随植被覆盖度的增加而增加，这种变化趋势在坡中部和坡下部尤为明显，其原因可能与不同坡位的土壤含水量的变化有关。由图 3 得知，坡上部的土壤含水量最小，坡中部次之，坡下部最大，因此坡下部和坡中部的植被较之于坡上部比较密集，坡上部的含水量因覆盖度变化趋势不明显。

植被覆盖对土壤含水量垂直变化也有影响，0—30 cm 土层土壤含水量垂直变化趋势是随深度增加而减少（图 4），当植被覆盖度达到 40%时，坡中部和坡下部剖面各层土壤含水量随深度增加而减少的趋势更加明显，原因是坡中部和坡下部植被覆盖对土壤水分含量及地表蒸发影响较大，根系层分布的差异使得土壤剖面不同深度中的水分产生差异[30]。植被（包括相对低矮的草甸）的覆盖度增加将减少地面水分蒸发，而植被通过根系从土壤中吸取并用于蒸腾的水分，则主要集中于根系分布密度较大的 10—30 cm 层位[19]，这也是导致 0—30 cm 土层土壤含水量随深度增加而减少的原因。裸地表层土壤含水量明显低于草地，是因为无植被覆盖的样地不能有效保持降雨量较小时的雨水。雨过天晴后，在地表强烈蒸发作用下，表层土壤水分很快蒸发损失，导致土壤含水量降低。

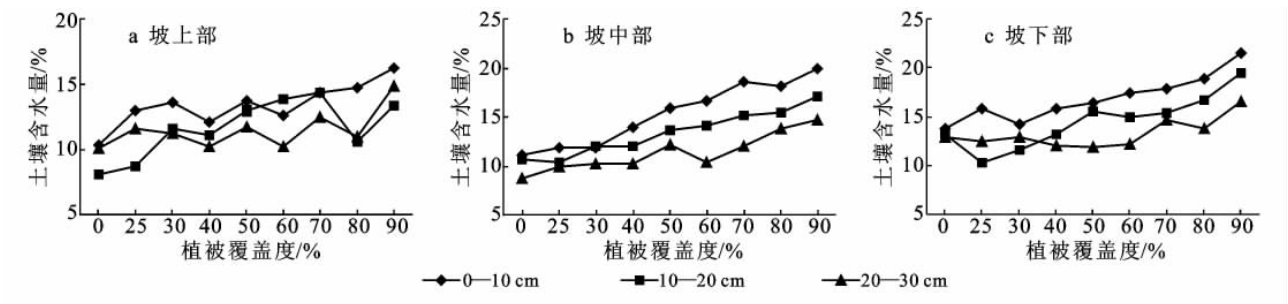


图 2 植被覆盖度和土壤含水量的关系

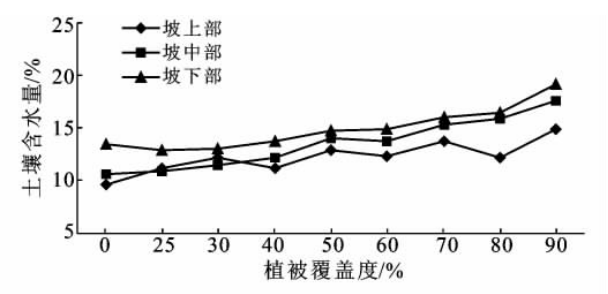


图 3 不同坡位的土壤含水量

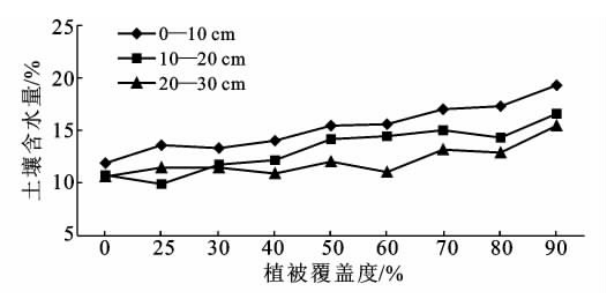


图 4 土壤含水量垂直变化

4 结论

（1）土壤含水量的不同水平对应不同的变异程度，含水量较低时一般呈中等变异。15°坡面、35°坡面土壤水分表现为中等变异，土壤含水量处于较低水平。35°坡面的土壤平均含水量高于 15°坡面的土壤平均含水量，这主要与坡向有关，半阳坡比阳坡接收的太阳照射少，所以土壤蒸发损失的水分较少，这也说明与坡度相比，长武试区坡向是决定植被状况和土壤水分的更重要因素。

（2）草地、裸地的土壤含水量和降雨量的变化趋势基本一致，草地土壤含水量随降雨量的变化趋势更加明显。0—10 cm 土层土壤含水量与降雨量具有良好的同步性，而 10—20 cm 土层和 20—30 cm 土层土壤含水量的同步性较差。

（3）植被覆盖度越高，土壤平均含水量就越高。当植被覆盖度达到 40%时，坡中部和坡下部剖面各层土壤含水量随深度增加而减少的趋势更加明显，这与植被根系吸水和地面水分蒸发有关。0—30 cm 土层土壤含水量随深度增加而减少。坡上部的土壤含水量最小、坡中部次之、坡下部最大。

[参 考 文 献]

[1] Rodriguez-Iturbe I. Econology: A hydrological perspective of climate-soil vegetation dynamics [J]. Water Resource Research, 2000, 36(1): 3-9.

[2] 穆兴民，陈霁伟. 黄土高原水土保持措施对土壤含水量

的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):39-44.

[3] 魏天兴,余新晓,朱金兆,等.陕西西部黄土区保护性森林主要树种水分供应与消耗关系研究[J].应用生态学报,2001,12(2):185-189.

[4] 张俊斌,黄雍杰,梁大庆.不同坡地土壤水分分布变化之研究[J].水土保持研究,2007,14(1):301-304.

[5] 马履一.国内外土壤水分研究现状与进展[J].世界林业研究,1997,27(5):26-32.

[6] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:科学出版社,2000:10-18.

[7] 雷志栋,胡和平,杨诗秀.土壤水研究进展与评述[J].水科学进展,1999,10(3):311-318.

[8] Famiglietti J S, Rudnick J W, Rod E M. Variability in soil surface moisture content along a hill slope transect: Rattlesnake Hill, Texas[J]. Journal of Hydrology, 1998,210(1/4):259-281.

[9] Famiglietti J S, Everex J A, Lemon C A, et al. Ground-based investigation of soil moisture variability within remote sensing footprints during the Southern Great Plains 1997(SGP97) hydrology experiment[J]. Water Resource Research, 1999,35(6):1839-1851.

[10] Kosher R D, Suarez M J, Haggis R W, et al. Observational evidence that soil moisture variations affect precipitation[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(5):451-454.

[11] 胡伟,邵明安,王全九.黄土高原退耕坡地土壤水分空间变异性研究[J].水科学进展,2006,17(1):74-81.

[12] 李洪建,王孟本,柴宝峰.黄土高原土壤水分变化的时空特征[J].应用生态学报,2003,14(4):515-519.

[13] 陈洪松,邵明安,王克林.黄土区荒草地和裸地土壤水分的循环特征[J].应用生态学报,2005,16(10):1853-1857.

[14] 李毅,邵明安.黄土坡地降雨强度对渗透和再分配的影响[J].应用生态学报,2006,17(12):2271-2276.

[15] 张学龙,车克钧,王金叶,等.祁连山寺大隆林区土壤水分动态研究[J].西北林学院学报,1998,13(1):1-9.

[16] 唐川. 金沙江流域(云南境内)山地灾害危险性评价[J].山地学报,2004,22(4):451-460.

[17] 王栓全,岳宏昌,王伟.黄土丘陵沟壑区不同土地类型的土壤水分特性[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):93-96.

[18] 蒙仲举,高永,虞毅,等.荒漠草原植被覆盖对土壤水分的影响[J].节水灌溉,2009(3):9-11.

[19] 莫治新,王冀萍.塔里木河上游地区不同植被土壤水分特性分析[J].湖北农业学报,2008,47(7):785-787.

[20] 张建兵,龙桃,熊黑钢,等.绿洲—荒漠过渡带不同植被覆盖度下土壤水分的变化规律研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(12):161-166.

[21] 赵晓光,吴发启,刘秉正,等.黄土高原坡耕地土壤水分主要受控因子研究[J].水土保持通报,1999,19(1):10-14.

[22] 胡振华,冯慧敏,王电龙,等.晋西黄土残塬沟壑区塬坡坡面土壤水分特征研究[J].山西农业大学学报:自然科学版,2009,29(3):257-260.

[23] 孙中峰,张学培.晋西黄土区坡面尺度土壤水分分布规律研究[J].水土保持通报,2006,26(2):27-30.

[24] 潘成忠,上官周平.黄土半干旱丘陵区陡坡地土壤水分空间变异性研究[J].农业工程学报,2003,19(6):5-9.

[25] 赵忠,李剑,袁志发,等.黄土沟坡刺槐林地土壤水分垂直变化的数学模型[J].林业科学,2009,45(10):9-13.

[26] 邱扬,傅伯杰,王军,等.黄土丘陵小流域土壤水分的空间异质性及其影响因子[J].应用生态学报,2001,12(5):715-720.

[27] Wern A W, Bloschl C, Grayson R B. Geostatistical characterization of soil moisture patterns in Trarrawarra catchments[J]. Journal of Hydrology, 1998,205(1/2):20-37.

[28] 李洪建,王孟本,柴宝峰.晋西北人工林土壤水分特点与降水关系研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):60-65.

[29] 杨文治,余存祖.黄土高原区域治理机制评价[M].北京:科学出版社,1992:27-35.

[30] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M].北京:科学出版社,1998:1-15.