

# 晋西黄土区苹果—农作物间作土壤水分研究

田阳<sup>1</sup>, 周玉喜<sup>2</sup>, 云雷<sup>1</sup>, 毕华兴<sup>1</sup>, 高路博<sup>1</sup>, 李璐<sup>1</sup>, 申明<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,

山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站, 北京 100083; 2. 水利部 水土保持监测中心, 北京 100055)

**摘要:**以晋西黄土区具有代表性的苹果(*Malus pumila*)—花生、苹果—大豆两种果农间作模式为研究对象,对苹果—农作物间作系统中土壤水分的时空分布特征和水分效应( $E_M$ )情况进行分析,旨在为该地区间作系统水分分布模型的建立,水分生态特征的分析等提供一定的基础资料。研究表明:(1) 苹果—农作物间作系统土壤含水量在不同物候期变化显著。(2) 苹果—农作物间作系统中果树对作物产生的影响程度与二者之间的距离有关,离树体越近,土壤含水量越小。二维分布等值线图直观性强,对于描述间作系统土壤水分分布情况具有良好效果。(3) 土壤水分效应表明果树对作物存在竞争。当土壤层次取 0—40 cm 时,苹果—花生和苹果—大豆间作的土壤水分效应分别为 -10.54% 和 -12.81%;当土壤层次取 0—100 cm 时,其土壤水分效应分别为 -11.20% 和 -16.83%。研究结果可为该地区土地资源合理利用和农林复合经营的可持续发展提供科学依据。

**关键词:**苹果—农作物间作; 土壤水分; 分布特征; 晋西黄土区

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)02-0029-04

## Research on Soil Moisture of Apple-Crop Intercropping System in the Loess Region of West Shanxi Province

TIAN Yang<sup>1</sup>, ZHOU Yu-xi<sup>2</sup>, YUN Lei<sup>1</sup>, BI Hua-xing<sup>1</sup>, GAO Lu-bo<sup>1</sup>, LI Lu<sup>1</sup>, SHEN Ming<sup>1</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, National Field Research Station of Forest Ecosystem of Jixian, Shanxi, Beijing 100083, China; 2. Monitoring Center for Soil and Water Conservation, MWR, Beijing 100055, China)

**Abstract:** Targeting two typical fruit-crop intercropping models, i. e. apple(*Malus pumila*)-peanut and apple-soybean in the Loess Plateau of western Shanxi Province as test sites, the spatiotemporal distribution and effect( $E_M$ ) of soil moisture in apple-crop were studied in order to provide the basic references for constructing the model of soil moisture distribution and analyzing the water ecological characteristics of fruit-crop intercropping in this region. The results showed that: (1) the soil moisture variation of apple-crop intercropping was very significant in different phenological stages; (2) the influence degree of apple trees on crops related to the distance between apple trees and crops in apple-crop intercropping system, and the soil moisture decreased with the decreasing distance from apple tree rows, two dimensional distribution of contour map presents a very strong visual impression, it obtained good results in terms of expressing the spatial structural characters; (3) the values of soil moisture effect showed that it existed moisture competition between crops and trees in apple-crop intercropping system, the values of  $E_M$  in apple-peanut and apple-soybean intercropping system were -10.54% and -12.81% in layer of 0—40 cm, respectively, while those were -11.20% and -16.83% in layer of 0—100 cm, respectively. This study could provide a scientific basis for land resource rational utilization and agroforestry management for sustainable development in this region.

**Key words:** apple-crop intercropping; soil moisture; distribution; the loess region of west Shanxi Province

收稿日期: 2012-02-03

修回日期: 2012-10-19

资助项目: 国家“十二五”科技支撑项目“晋西黄土区抗旱节水农林复合系统种间关系及调控技术”(2011BAD38B02); 北京林业大学科技创新计划项目(HJ2010-24)

作者简介: 田阳(1975—), 男, 四川乐山人, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 林业生态工程、生态文明理论。E-mail: tianyang975@bjfu.edu.cn

通信作者: 毕华兴(1969—), 男, 陕西米脂人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 林业生态工程。E-mail: bhx@bjfu.edu.cn

土壤水分不仅是土壤、植物、大气连续体的关键因子,还是土壤系统养分循环和流动的重要载体,对土壤的特性、植物的生长、分布以及生态系统小气候的变化具有重要影响<sup>[1]</sup>。果农间作是晋西黄土区开发的主要模式之一,特别是国家实行退耕还林政策以来,大量坡耕地改种为具有较高经济价值的果树,使得果农间作模式不断推广。但在干旱半干旱的晋西黄土区,果农间作不得不面对一个重要难题——水分竞争,虽然关于黄土区不同植被土壤水分动态变化的研究起步较早,并得到了很多结论<sup>[2-16]</sup>,但多针对如林地、草地、农地等单一系统,针对间作系统土壤水分的研究仍不多见<sup>[17]</sup>。本文以晋西黄土区具有代表性的苹果(*Malus pumila*)—花生、苹果—大豆两种果农间作模式为研究对象,通过对间作系统水分时空分布特征进行研究,旨在为该地区间作系统水分分布模型的建立,水分生态特征分析等提供一定的基础资料,也为该地区土地资源合理利用和农林复合经营的可持续发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于山西省吉县东城乡雷家庄(110°41'E, 36°06'N),地处吕梁山南端,属于典型的黄土残源沟壑区。年平均降雨量在580 mm左右,降水量季节分配不均,降雨集中在7—9月,占全年降水量的70%左右(2008年降水总量为396.1 mm,属于偏旱年。2009年降水总量为521.8 mm,属于正常年,具体见图1)。该地区春季干旱多风,气候回升快,昼夜温差大,年均气温10℃,年均日照时数2 740 h,无霜期175 d左右。土壤属黄土母质,土层深厚,土质均匀。东城乡雷家庄是全国优质果品生产基地、农业部无公害农产品生产地,该地区果树主要为苹果、核桃。

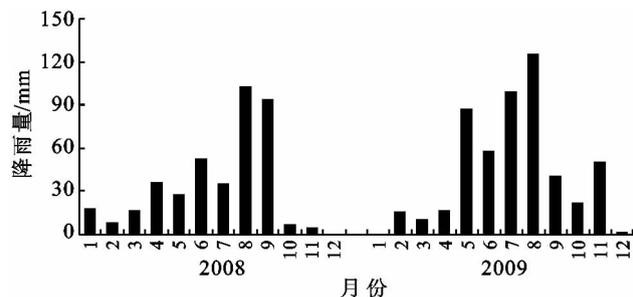


图1 2008—2009年降水量分布

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

试验选取当地主要果树类型——苹果以及典型作物花生、大豆为研究对象。苹果始栽植于2000年,苹果树行间内种植花生、大豆(同一树行南北两侧种植相同作物),苹果树行向与花生、大豆行向一致,皆

为东西走向,苹果树株行距为3.0 m×4.0 m,平均树高4.0 m,冠幅半径2.1 m;间作模式中的花生、大豆的株行距均为0.45 m×0.50 m,并设置单作花生和单作大豆作为对照,间作和单作作物的株行距及管理方式一致。苹果树行与二者的距离均为2 m(图2)。

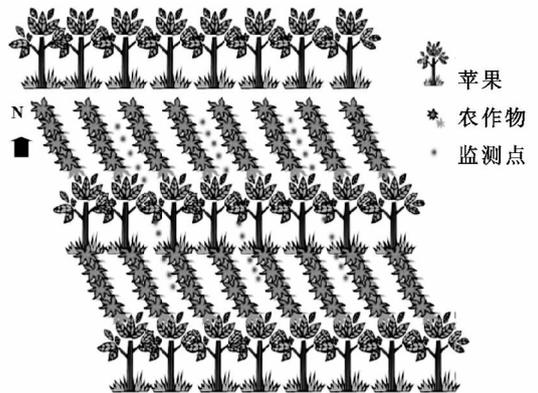


图2 苹果—农作物间作土壤水分监测试验布设

### 2.2 土壤水分

土壤水分样点布设与测定:在苹果—农作物间作中,以选择的苹果树行为中心,在苹果树行南北两侧布设样线,分别以距苹果树行0 m(林下),0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 m作为土壤水分取样点,每种间作模式3条样线(相邻样线距离相等),共33个取样点(图2);单作对照花生、大豆样地按照“S”形各选取5个样点;每个取样点设3个重复。

利用土钻对布设的水分监测点进行取土,采用烘干法测定,取土深度为0—100 cm,每20 cm为一层,分层测定土壤的质量含水量。

取样时间:在2008年5月、7月、9月和2009年6月、8月、9月分别进行取样,在花生和大豆的典型物候期测定土壤水分。

### 2.3 数据处理

为了更好地研究间作模式树木对农作物产生的影响<sup>[18-19]</sup>,本文规定苹果树林行南侧为负方向、北侧为正方向;定义从距苹果树行2.0 m到2.5 m的范围为间作系统的农作物区(苹果树行与作物之间的距离为2 m),记为[2.0 m, 2.5 m];引入间作系统的水分效应 $E_M$ <sup>[20]</sup>(即树木对农作物土壤水分影响的程度,这种影响既包括树木根系对土壤水分的竞争,又包括树木通过遮荫降低土壤蒸发,树木根系的提水作用对土壤水分的增益),其计算公式分别为:

$$E_M = (M - M_{CK}) / M_{CK} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $M$ ——间作模式农作物范围([2.0 m, 2.5 m])土层深度土壤含水量; $M_{CK}$ ——对照农作物土层深度土壤含水量; $E_M$ ——土壤水分效应(%)。数据处理采用Excel 2003, SPSS 15.0, Surfer 8.0等。

### 3 结果与分析

#### 3.1 间作系统土壤水分时间变化

从苹果—花生、苹果—大豆两种间作模式土壤含水量的时间变化可以看出,间作作物在不同物候期,土壤含水量的变化与土层深度有关,与 60—100 cm 的深层土壤相比,0—20 cm 表层土壤含水量随时间变化更明显(图 3)。

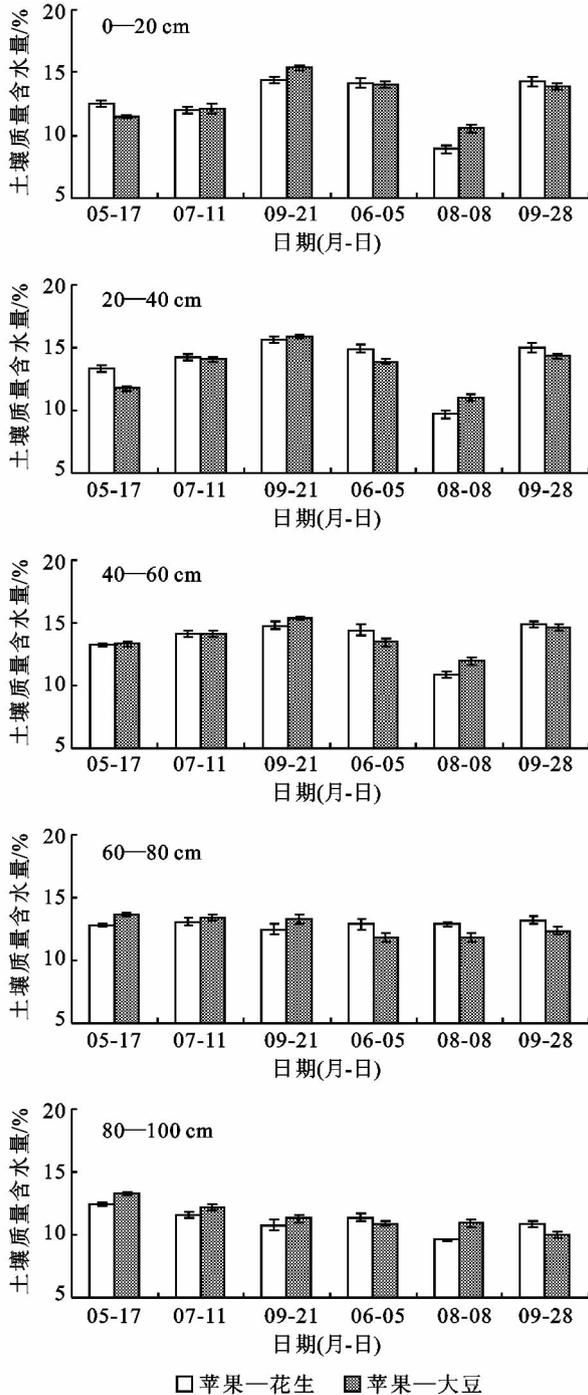


图 3 苹果—农作物间作土壤含水量时间变化

注:每种间作模式不同物候期土壤含水量的数值,均是该模式所有测点含水量的统计值(平均值±标准误差)。

以对花生、大豆两种作物的观测时间作为影响因素,对苹果—花生、苹果—大豆两种间作模式 0—100 cm 土层的土壤含水量进行方差分析,结果表明,两种间作模式土壤含水量物候期变化显著( $F_{\text{苹果—花生}} = 85.919, p < 0.01$ ;  $F_{\text{苹果—大豆}} = 41.193, p < 0.01$ ),说明间作系统并没有改变土壤水分季节差异显著的特征。

#### 3.2 间作系统土壤水分空间分布

苹果—农作物间作土壤含水量测定结果统计特征(表 1)表明,在垂直方向上,苹果—花生、苹果—大豆两种间作模式土壤含水量层次变化非常显著( $F_{\text{苹果—花生}} = 49.108, p < 0.01$ ;  $F_{\text{苹果—大豆}} = 42.308, p < 0.01$ )。各土层土壤含水量的变异系数随土层深度的增加而减小,再次证明相对于深层土壤,浅层土壤的变化更为强烈,土壤含水量各层变异系数均大于 0.1 且小于 1.0 属于中等变异性,即处于中等变异程度。

表 1 苹果—农作物间作土壤含水量测定结果统计特征

间作模式	土层深度/cm	平均值/%	标准差	变异系数	最小值/%	最大值/%
苹果—花生	0—20	12.70	2.58	0.203	5.39	18.36
	20—40	13.81	2.46	0.178	7.47	18.15
	40—60	13.72	2.25	0.164	8.10	18.07
	60—80	12.46	1.99	0.160	8.76	17.40
苹果—大豆	0—20	12.89	2.29	0.178	7.50	18.46
	20—40	13.48	2.07	0.153	8.07	16.96
	40—60	13.82	2.00	0.145	8.81	17.72
	60—80	12.73	1.81	0.142	9.09	16.92
	80—100	11.45	1.57	0.137	8.16	15.34

注:每种间作模式每一层次土壤含水量的数值,为该间作模式在全部观测期内全部测点相应层次的土壤含水量的统计值。

在水平方向上,两种间作模式土壤水分分布具有一定的梯度特征,总体趋势均为距苹果树行越近,土壤含水量越少,但随着树行距离的增加,土壤含水量呈现先增加后减少的趋势(图 4)。

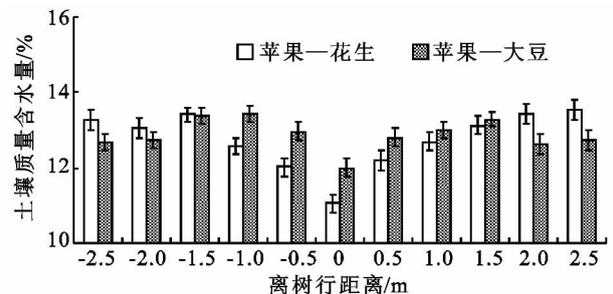


图 4 苹果—农作物间作土壤含水量水平分布

注:各个测点土壤含水量的柱状数值,为该测点全部观测期内全部层次土壤含水量的统计值(平均值±标准误差)。

土壤含水量先增加,主要是由随着离果树行距离的增大,苹果根系网络逐渐稀疏,对土壤水分的影响逐渐变小造成的;而土壤含水量有减小的趋势可能是

由于进入间作模式的作物区域,苹果根系网络吸水和作物根系群体生长需水共同影响的结果,相对而言,苹果—大豆间作模式表现更为明显,这主要是作物种类、光照以及苹果树根系分布造成的。

二维分布等值线图可以较好地显示间作系统土壤水分的空间分布格局,对苹果—花生、苹果—大豆两种间作模式 0—100 cm 土层土壤含水量绘制二维

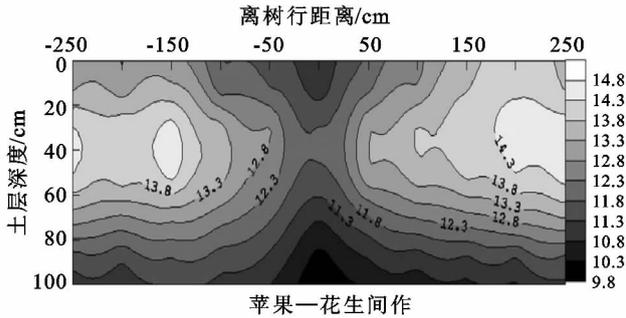


图5 土壤含水量二维分布等值线图

对苹果—花生和苹果—大豆两种间作模式 0—250 cm 带距范围各测点 0—100 cm 土层内土壤水分  $W_s(\%)$  与离果树距离  $D(\text{cm})$ 、土层深度  $Z(\text{cm})$  的关系进行多元非线性回归分析,结果显示,回归方程拟合较好,具有显著的统计意义 ( $p < 0.01$ )。

(1) 苹果—花生:  $W_s = -4.8 \times 10^{-5} D^2 + 0.021 D - 5.6 \times 10^{-8} Z^4 + 0.022 Z + 11.114$ , 复相关系数  $r = 0.948$ , 决定系数为 0.899。

(2) 苹果—大豆:  $W_s = -5.1 \times 10^{-8} Z^4 + 0.022 Z + 12.697$ , 复相关系数  $r = 0.894$ , 决定系数为 0.696。

### 3.3 间作系统土壤水分效应

以 2009 年降水量正常年数据为例,方差分析结果表明,在 2009 年整个生长季,土层深度为 0—40 cm 和 0—100 cm 时,间作花生与对照单作花生、间作大豆与对照单作大豆土壤水分差异均呈极显著 ( $F_{\text{花生}0-40\text{cm}} = 9.35, p < 0.01$ ;  $F_{\text{花生}0-100\text{cm}} = 36.53, p < 0.01$ ;  $F_{\text{大豆}0-40\text{cm}} = 17.42, p < 0.01$ ;  $F_{\text{大豆}0-100\text{cm}} = 94.43, p < 0.01$ )。根据公式(1)计算苹果—花生和苹果—大豆两种间作模式的水分效应,得出当土层深度取农作物根系主要分布区(0—40 cm)时,土壤水分效应值分别为 -10.54% 和 -12.81%;当土层深度取整个土壤库(0—100 cm)时,土壤水分效应值分别为 -11.20% 和 -16.83%。即两种间作模式均为负效应,说明果树对农作物存在土壤水分竞争。针对同一种作物,比较而言,土壤水分效应值苹果—花生 > 苹果—大豆,说明苹果对花生土壤水分的影响要小于苹果对大豆土壤水分的影响。

## 4 结论

(1) 时间上,间作系统并没有改变土壤水分季节

分布等值线图(图 5),可以看出,这两种间作模式土壤水分二维分布特征具有一定的相似性。在垂直方向上,土壤水分随着土层深度的增加有减小的趋势;在水平方向上,随着离苹果树行距离的增加土壤含水量有先增加后减少的趋势。两种间作模式土壤含水量的二维分布,是降雨、果树和作物生长吸水、间作模式配置等因素共同作用的结果。

差异显著的特征,苹果—花生和苹果—大豆这两种间作模式土壤含水量的季节变化特征显著。

(2) 空间上,垂直方向上,苹果间作土壤水分的变异系数随着土层深度的增加而减小,且变异系数处于(0.1, 1.0)之间属于中等变异程度;水平方向上,间作模式土壤含水量出现不同程度的降低,降低的程度与果树和农作物的距离有关,离果树越近,土壤含水量越少。二维分布等值线图将土壤水分的点数据转化为面数据,可以直观描述土壤水分空间分布特征,较好地体现间作系统土壤水分空间分布规律。

(3) 引入土壤水分效应量化苹果树对花生、大豆的影响程度,苹果—花生和苹果—大豆作两种间作模式当土壤层次取 0—40 cm 时,其土壤水分效应依次为 -10.54% 和 -12.81%;当土壤层次取 0—100 cm 时,其土壤水分效应依次为 -11.20% 和 -16.83%,负效应表明果树对作物存在土壤水分竞争,相对而言,苹果对花生土壤水分的影响要小于对大豆的影响。

### 参考文献:

- [1] 黄志刚,李瑞峰,曹云,等.南方红壤丘陵区杜仲人工林土壤水分动态[J].应用生态学报,2007,18(9):1937-1944.
- [2] 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].水土保持学报,1998,4(4):60-65.
- [3] 王孟本,李洪建.晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J].生态学报,1995,5(2):178-184.
- [4] 邱扬,傅伯杰,王军,等.黄土丘陵小流域土壤水分时空分异与环境关系的数量分析[J].生态学报,2000,20(5):741-747.

## 参考文献:

- [1] 蔡丽君,王国栋. 风矢量对坡面降雨动能分布的影响[J]. 中国农业大学学报,2003,8(6):15-17.
- [2] Wischmeier W H, Smith D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Transactions of the American Geophysical Union, 1958,39:285-291.
- [3] Renard G R, Foster G R, Weesies G A, et al. RUSLE revised universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1991,46(1):30-33.
- [4] Wischmeier W H, Smith D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning[M]. Agriculture Handbank. US Department of Agriculture, Washington D C,1978. NO. 537.
- [5] 许建金,黄和炎. 论降雨与土壤侵蚀[J]. 福建水土保持,1991,4(15):48-52.
- [6] 耿晓东,郑粉莉,刘力. 降雨强度和坡度双因子对紫色坡面侵蚀产沙的影响[J]. 泥沙研究,2010,12(6):48-53.
- [7] 周佩芳,斗葆璋,孙清芳,等. 降雨能量的试验研究初报[J]. 水土保持通报,1981(1):51-60.
- [8] 章文波. 北方农牧交错带降雨侵蚀力的时空分布[J]. 自然科学进展,2003,13(6):651-654.
- [9] 王万忠. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1996(3):29-39.
- [10] 刘文耀. 云南昭通盆地降雨侵蚀性与土壤可蚀性的初步研究[J]. 云南地理环境研究,1999,11(2):76-82.
- [11] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标的初步探讨[J]. 福建水土保持,1989(2):58-60.
- [12] 黄炎和,卢程隆,郑添发,等. 闽东南降雨侵蚀力指标 R 值的研究[J]. 水土保持学报,1992,6(4):1-5.
- [13] 章文波,谢云,刘元宝. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学,2002,22(6):705-711.
- [14] 谢云,章文波,刘元宝. 用日雨量和雨强计算降雨侵蚀力[J]. 水土保持通报,2001,21(6):53-57.
- [15] 赵文武,朱婧,郭雯雯. 基于降雨量和降雨时间的月降雨侵蚀力简易算法:以陕北黄土丘陵沟壑区为例[J]. 中国水土保持科学,2007,5(6):8-14.
- [16] 吴秋菊,吴发启,翟艳斌,等. 陕北黄土高原降雨侵蚀力简易计算模型的比较研究[J]. 灌溉排水学报,2011,30(6):138-140.
- [17] 黄炎和,朱鹤健,郑贤达. 闽南地区的土壤侵蚀与治理[M]. 北京:中国农业出版社,2002.
- [18] 于东升,史学正. 红壤生态试验站的降雨侵蚀力及其特征[C]//何圆球,杨艳生. 红壤生态系统研究(第五集). 北京:中国农业出版社,1998:57-62.
- [19] 王德利. 关于生态场的几点评述[J]. 应用生态学报,2000,11(3):472-476.
- [20] 孟平,张劲松. 梨麦间作系统水分效应与土地利用效应的研究[J]. 林业科学研究,2004,17(2):167-171.
- [5] Wang J, Fu B J, Qiu Y, et al. Geostatistical analysis of soil moisture variability on Danangou catchment of the Loess Plateau, China[J]. Environment Geology,2001,41(1/2):113-120.
- [6] 李洪建,王孟本,柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. 应用生态学报,2003,14(4):515-519.
- [7] 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土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.
- [8] 张思祖,李凯荣,易亮,等. 黄土高原沟壑区杏树林地土壤水分时空动态变化及适宜性研究[J]. 水土保持研究,2010,17(5):21-25.
- [9] 贾志清. 晋西北黄土丘陵沟壑区典型灌草植被土壤水分动态变化规律研究[J]. 水土保持通报,2006,26(1):10-15.
- [10] 赵传燕,冯兆东,南忠仁. 黄土高原西部土壤水分时空变化模拟研究:以安家坡流域为例[J]. 冰川冻土,2007,29(5):785-794.
- [11] 张建军,张岩,张波. 晋西黄土区水土保持林地的土壤水分[J]. 林业科学,2009,45(11):63-69.
- [12] 梁超,郝文芳,袁丁. 黄土丘陵区不同植被群落土壤水分研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):103-111.
- [13] 刘志鹏,邵明安. 黄土高原小流域土壤水分及全氮的垂直变异[J]. 农业工程学报,2010,26(5):71-77.
- [14] 贺康宁,张光灿,田阳,等. 黄土半干旱区集水造林条件下林木生长适宜的土壤水分环境[J]. 林业科学,2003,39(1):10-16.
- [15] 王晶,朱清科,刘中奇,等. 黄土丘陵区不同林地土壤水分动态变化[J]. 水土保持研究,2011,18(1):220-223.
- [16] 朱乐天,焦峰,刘源鑫,等. 黄土丘陵区不同土地利用类型土壤水分时空变异特征[J]. 水土保持研究,2011,18(6):115-118.
- [17] 马雯静,毕华兴,云雷,等. 晋西黄土区林草复合界面土壤水分、养分分布规律研究[J]. 水土保持研究,2009,16(5):78-82.
- [18] 王德利. 关于生态场的几点评述[J]. 应用生态学报,2000,11(3):472-476.
- [19] 王德利. 植物生态场导论[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1994.
- [20] 孟平,张劲松. 梨麦间作系统水分效应与土地利用效应的研究[J]. 林业科学研究,2004,17(2):167-171.

(上接第32页)