

陇中黄土高原丘陵沟壑区土壤水分动态变化分析

邵晓梅^{1,2}, 严昌荣²

(1. 中国土地勘测规划院, 国土资源部土地利用重点实验室, 北京 100035;

2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘 要:土壤水分是土地评价及节水农业技术研究的基础, 土壤水分的动态变化已经成为前沿研究领域的热点之一。论文以陇中黄土高原丘陵沟壑区 3 个国家级农气站点资料为数据基础, 以 Sufer7.0 为技术手段, 分析了各站点多年平均和代表站点不同降水年型的土壤水分动态变化规律, 以期为区域节水高效农业的建设提供科学依据。

关键词:土壤水分; 动态变化; 丘陵沟壑区; 黄土高原

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409 (2006) 04-0243-03

Analysis on the Dynamic Change of Soil Water in the Loess Plateau Gully and Hill Region

SHAO Xiao-mei^{1,2}, YAN Chang-rong²

(1. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resources, China

Land Surveying & Planning Institute, Beijing 100035, China;

2. Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Soil moisture is important basis of land appraise and agricultural water saving technology research, and soil water has become one of the research hotspot in the world. According to the soil water data at 3 national county levels and based on Sufer7.0 technology, the seasonal and vertical variation of soil water contents in typical sites during the last 21 years and different precipitation years are analyzed. The analytical results and conclusions will provide scientific basis for developing high-efficiently water-saving agriculture in the Loess Plateau gully and hill region.

Key words: soil moisture; dynamic change; gully and hill region; Loess Plateau

土壤水分是土地持续利用、水资源规划与管理及节水农业技术研究的基础^[1,2]。在全球土壤湿度计划 (Global Soil Wetness Project, GSWP) 中, 土壤水已被作为专门的议题来进行探讨和研究^[3], 且已经成为全球变化研究的重要焦点之一^[4]。在侵蚀严重的半干旱黄土高原沟壑区, 土壤水分不仅是土壤侵蚀过程、植物生长和植被恢复的主要影响因素, 也是土地评价的重要指标^[5]。黄土高原丘陵沟壑区气候干旱, 造成水资源条件先天不足, 土壤水资源十分匮乏, 土壤水分状况成为影响农业生产的重要因素。因此, 深入分析土壤水分状况及其变化规律, 对于黄土高原沟壑区的节水农业生产、植被恢复和土地的合理利用等具有重要的指导意义。近年来, 有关黄土高原旱地农业、土壤水分的空间分布特征, 也作了不少的研究, 但大多集中在黄土高原小流域^[6~9]。本文选择陇中黄土高原中部丘陵沟壑半干旱农牧区的固原、定西、环县实验站作为典型站点, 在综合其分布一致性规律的基础上将分别加以分析, 以期为区域节水高效农业的建设提供科学依据。

1 研究区域概况

陇中黄土高原丘陵沟壑区位于甘肃省中部和宁夏南部,

境内丘陵起伏, 沟壑纵横, 山、原、川、河谷等交错, 海拔高度多在 1 200 ~ 1 900 m 之间。复杂多样的地形, 不仅影响着水分、热量的地表再分配, 而且也直接影响着农、林、牧的布局。区内多年平均降水量为 350 ~ 450 mm, 年平均气温多在 5 ~ 8 之间, 10 积温多在 2 200 ~ 3 200 之间。平均复种指数为 114%, 耕地灌溉率平均为 27%, 平均粮食单产为 2 942 kg/hm²。区内降水变率大是一主要不利因素, 尤其在作物生长季节易造成旱、涝灾害。因此, 干旱多灾、水土流失严重、经济落后成为该区农业生产发展的主要限制因素。位于陇中黄土高原丘陵沟壑区的固原、定西、环县等农气站点土壤类型均为黄绵土, 土质均一, 土层深厚疏松, 土壤水分运行强烈, 降水可全部入渗土壤, 年内水分状况属冬春干燥、夏秋偏湿型特征。因而上述实验站土壤水分的时空变化在某种程度上具有相似性, 但也有区域差异。

2 研究方法和资料来源

2.1 研究方法

本文采用 Sufer7.0 制图软件作为绘制等值线图的手

* 收稿日期: 2005-08-12

基金项目: 国家自然科学基金 (40271007); 科技部社会公益项目“北方旱区土壤水分测报评估系统研究”; “农业水资源利用与水环境监测重要技术研究”; “黄河流域农业水环境监测与安全利用技术研究 (2004DIB3J095)”; “Challenge Program on Water & Food Conservation agriculture for the dry-land areas of the Yellow River Basin”; 2002 年度国土资源部百名优秀科技人才计划等项目资助

作者简介: 邵晓梅 (1972 -), 女, 河北承德人, 博士, 副研究员, 主要从事土地资源利用及节水农业研究。

段,进行陇中黄土高原丘陵沟壑区土壤水分的时空变化规律分析。Surfer 系统是美国 Golden 软件公司开发的专门制作等值线的工具软件,主要功能有:插值功能、绘制图件功能、计算分析功能、变异函数建模等。该系统在地质、测绘、水利、气象、土地资源等领域都有较广泛的应用^[10~12]。在以上功能中,Surfer 系统的绘制图件功能尤其被广泛应用于气象要素、土壤湿度等空间分析领域^[13,14]。通过 Surfer 软件的强大绘图能力,能将离散数据经过插值生成规则的格网数据,简单、正确地转换成丰富多彩的等值线图、粘贴图、影像图、地貌晕渲图、矢量地图、线框图和表面图等。而且能很方便标注、修改绘制好的图件,GIS 软件数据格式可直接输入 Surfer 系统,可以充分利用 Surfer 插值功能和绘制图件能力,对地理信息进行可视化制图。本文采用的是 Surfer7.0 版本作为绘制等值线图的手段,实践证明,Surfer7.0 的三维图形输出功能对地理事物的特征及变化趋势反应能力较强,具有可推广性,在类似事物的图形输出上,Surfer7.0 具有广泛的应用空间。

2.2 资料来源与处理

本文所采用数据来源于国家气象局,土壤湿度的大小用土壤重量含水率来表示,可以用烘干称重法和中子仪两种方法进行测定。对土壤湿度的观测时间一般为 2~11 月份,每月的 8 日、18 日、28 日进行三次观测。土壤墒情台站建站时间是 1981 年,观测年限为 1981~2002 年,土壤湿度的测定深度为 0~5 cm、5~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm、50~60 cm、60~70 cm、70~80 cm、80~90 cm、90~100 cm 共 11 个层次。对上述数据进行处理,分别计算出各农气站点 0~5 cm、5~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm、50~60 cm、60~70 cm、70~80 cm、80~90 cm、90~100 cm 等不同深度的多年平均土壤含水量。

3 土壤水分变化规律分析

3.1 土壤水分的季节变化

黄绵土降水可全部入渗土壤,因而雨季土壤湿度迅速升高。但是,黄绵土在高湿度阶段有较高的导水率,而且黄土高原丘陵沟壑区空气干燥,风多且大,蒸发力强,雨后土壤又极易蒸发损失。因此,裸地土壤水分季节性动态变化基本与降水季节分布相一致。雨季时土壤湿度迅速升高,雨季过后土壤湿度骤然降低,到 11 月底,土壤湿度与雨季前的 5 月基本持平。若以当年土壤水分最低值到来年最低值为土壤水分循环周年,根据各站点资料绘制等值线图(见图 1、2、3、4),各站点土壤水分的季节变化既有其相似性,又存在着区域差异性。

(1)各站点土壤水分的季节变化大致可分为三个阶段:春夏快速失墒期,此期从 3 月上旬至 6 中、下旬。由于温度逐渐升高,降水量较小,空气干燥,导致土壤水分急剧下降;夏秋增墒期,从 7 月开始,降雨量明显增加,土壤水分增加显著,土壤水分中心自 0~20 cm 处逐渐下移;冬春相对稳墒期,11 月至翌年 3 月初,历时 4 个月,自然降水对中、下层土壤水分基本无补给作用,土壤水分随土壤的冻结从上到下先后冻结,呈固态储存于土壤之中,蒸发微弱,上、下层间水分的输送基本停止。总之,从总趋势上看,各站从 3 月上旬起土壤水分均开始下降,至 6~7 月都出现一个水分低值区,之后土壤水分开始回升。由此可以说明,土壤水分季节性变化受该地区降雨的强烈影响,与当地气候的季节性变化,尤其是降雨的季节性变化基本是一致的。

(2)各站由于降水、蒸散等的差异,其土壤水分变化又有各自的特点。如固原实验站 40 cm 以上土壤水分呈现 6~7

月小,两头大的分布型式,而 40 cm 以下土壤水分呈现 7~8 月小,两头大的分布状况;环县实验站总体上呈现 5~7 月份小,两头大的分布型式;定西实验站 60 cm 以上土壤水分呈现 7~8 月小,两头大的分布型式,而 60 cm 以下各层却呈现 5 月大,两头小的分布状况,这与已有研究结果是一致的^[15];

(3)各实验站土壤水分中心移动还呈现出一定规律性。在春季土壤消融阶段,固原、环县、定西的土壤水分高值中心自 50~70 cm 处逐渐上移到 0~20 cm 处,而夏秋季节定西、环县、固原的土壤水分中心又自表层逐渐下移。

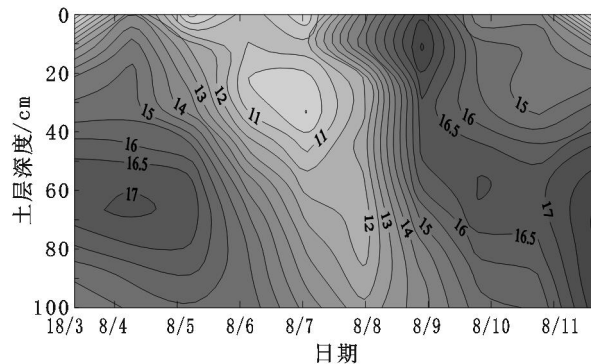


图 1 固原实验站土壤重量含水率等值线图

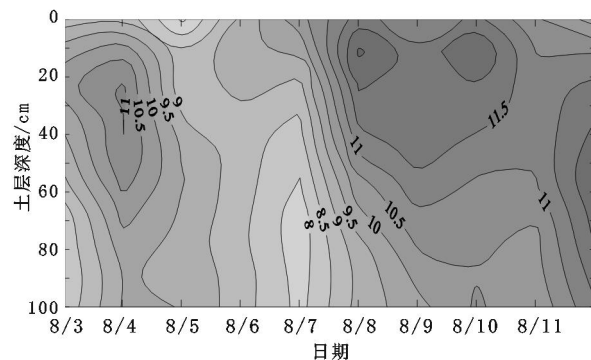


图 2 环县实验站土壤重量含水率等值线图

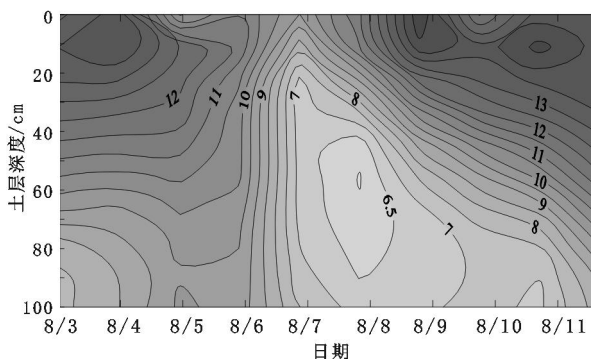


图 3 定西实验站土壤重量含水率等值线图

3.2 土壤水分的垂直变化

(1)由图 4 和图 5 可以看出,各站点土壤水分垂直变化在浅层 0~50 cm 处的变化幅度均较深层 50~100 cm 处的变化幅度大。几个站点相比较而言,环县自始至终变化较为平稳,定西 50~100 cm 变化较稳定,固原无论是 0~50 cm 还是 50~100 cm,都是变化较为剧烈的。

(2)由表 1 可以看出,固原县土壤水分的标准差和变异系数最大,且自上而下均较高,其次是定西县,但定西县 20~30 cm 处较大。而环县表层土壤水分的标准差和变异系数较大,而下层则较小。由此可以说明,固原县和定西县土

壤水分垂直变化较活跃, 活跃层可达 50 cm, 而环县的活跃层较浅, 0~10 cm 土层为速变层, 次活跃层仅涉及到 20 cm 深, 20 cm 以下为相对稳定层。在这样一些地区, 土壤水分

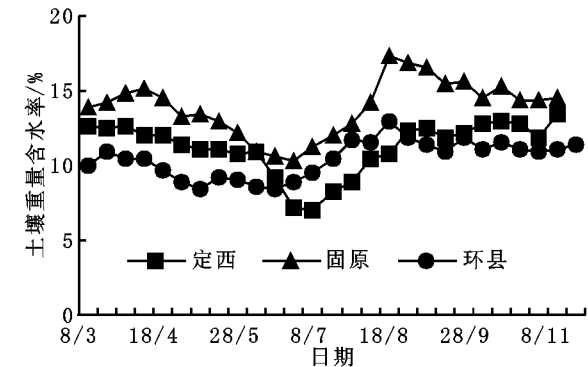


图 4 各站点 0~50 cm 土壤水分含量变化曲线

表 1 各站点不同土层深度土壤水分的标准差和变异系数

土层深度/cm	固原		定西		环县	
	S	CV	S	CV	S	CV
0~5	2.67	21.37	1.94	15.94	1.58	16.62
5~10	2.22	15.80	2.09	16.13	1.37	12.62
10~20	2.28	16.51	2.28	19.44	1.36	12.72
20~30	2.24	16.36	2.26	20.70	1.38	13.15
30~40	2.19	15.20	2.06	20.57	1.35	13.04
40~50	2.21	14.64	1.85	19.55	1.24	12.14
50~60	2.20	14.28	1.62	18.48	1.20	12.04
60~70	1.99	12.95	1.34	16.24	1.11	11.40
70~80	1.67	11.02	1.11	13.95	1.04	10.92
80~90	1.38	9.29	0.97	12.41	0.96	10.19
90~100	1.10	7.47	0.92	11.64	0.89	9.49

3.3 不同降水年型土壤水分变化特征

一个地区的气候条件虽然有一定的稳定性, 但每年并不完全相同, 多年平均值只是代表平均状况, 农业气候年型分析可以更好地掌握地区的气候变化规律, 并且为在不同年型条件下采用不同的农业措施提供气候依据^[16]。根据相关资料分析, 可按降水量距平百分率的大小进行降水年型的划分: $\pm 15\%$ 为正常年(平水年), $15\% \sim 19\%$ 为偏丰年, $-15\% \sim -19\%$ 为偏枯年,

20% 为丰水年, -20% 为枯水年。同一地区不同年份降水及降水期的长短都有差别, 从而造成年际间土壤水分动态变化的差异。本文以固原实验站为例, 对陇中黄土高原丘陵沟壑区不同降水年型的土壤水分分布加以分析。

位于陇中黄土高原中部丘陵沟壑半干旱农牧区的固原实验站多年平均降水量为 439.47 mm, 1992 年降水量为 591 mm, 降水量距平百分率为 34.48%, 是自 80 年代以来降水最多的一年, 为典型丰水年; 而 1991 年降水量为 313.9 mm, 降水量距平百分率为 -28.57%, 是历年降水最少的一年, 农业干旱严重, 故选择 1991 年为典型枯水年。由此得出固原实验站典型丰水年和典型枯水年土壤含水量的变化趋势如图 6、图 7, 可以得出以下结论:

(1) 固原实验站典型丰水年和典型枯水年土壤含水量的变化趋势表现出对称性。即上半年典型枯水年的土壤含水量高于典型丰水年的土壤含水量, 而下半年典型丰水年的土壤含水量高于典型枯水年的土壤含水量。但典型丰水年土壤含水量的变幅仍较典型枯水年的土壤含水量变幅大。说明典型丰水年虽然全年总降水量较多, 但其降水主要集中于下半年, 而上半年较为干旱。典型丰水年和典型枯水年 0~100 cm 的平均土壤含水量最为干旱时也均保持在 10% 左右。

一旦恢复到田间稳定湿度以上的水平, 土壤便会成为一个稳定的天然储水库, 应加强开发利用。

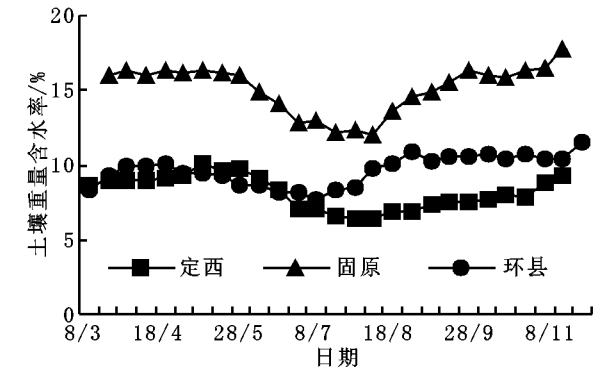


图 5 各站点 50~100 cm 土壤水分含量季节变化曲线

(2) 春季, 典型丰水年的土壤含水量始终处于较低水平, 但自上而下基本上呈增长型, 即随着深度的增加土壤含水量逐渐升高, 变化范围在 5%~10% 之间, 但并未形成高值中心; 而典型枯水年受春季土壤融冻的影响, 在 40~60 cm 处的 4 月中、上旬形成一个高值区, 土壤含水量高达 20% 左右。

(3) 典型丰水年在丰水季节(7~9 月) 自上而下始终保持湿润状态, 变化范围一般在 15%~20% 之间。而典型枯水年在枯水季节(9~10 月) 的表层(0~20 cm) 仍受降水影响而形成一个较深层高的小高值区, 达 15% 左右, 20 cm 以下土壤湿度差异不明显, 土壤湿度剖面比较均一, 几乎没有水分梯度, 基本保持在 8%~10% 之间。

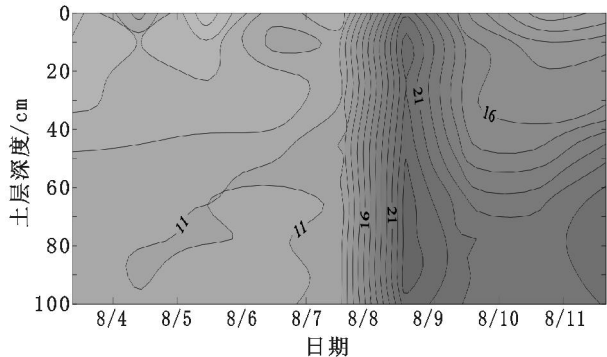


图 6 固原实验站典型丰水年土壤重量含水量等值线图

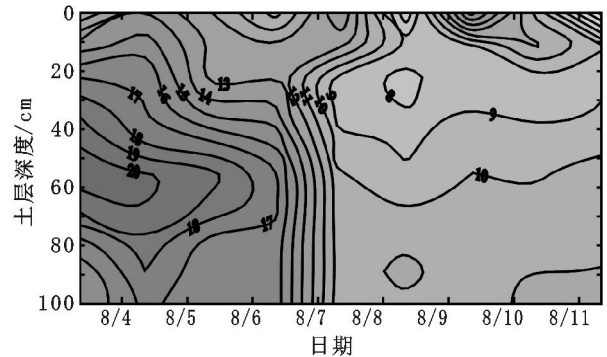


图 7 固原实验站典型枯水年土壤重量含水量等值线图

4 结 论

本文以陇中黄土高原丘陵沟壑区 3 个国家级农业站点资料为数据基础, 以 Sufer7.0 为技术手段, 分析了代表站点 (下转第 249 页)

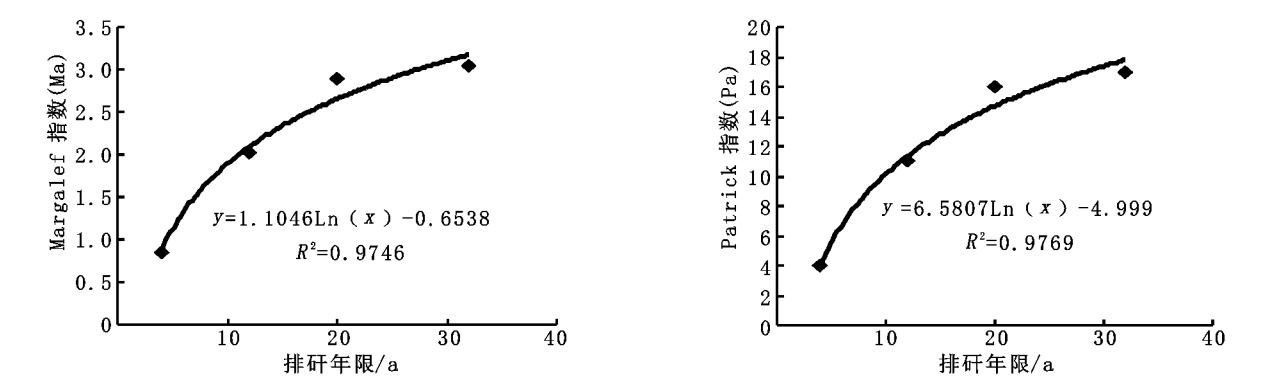


图 3 不同排矸年限地段物种丰富度的变化

4 小 结

(1)在孙家湾矸石山阳坡,随着排矸年限的增加,物种数由初期的 4 科 4 种增至后期的 6 科 19 种,均为耐旱性极强的物种。其中,菊科与禾本科物种居多,占总物种数的 68 %。群落演替序列为:鹅绒藤+猪毛菜群落 大籽蒿+狗尾草+阿尔泰狗娃花群落 狗尾草+茵陈蒿+多叶隐子草群落 榆树疏林。

(2)随着矸石的长期风化和立地条件的改善,草本的种类、盖度和高度相应增加。但对木本而言,由于阳坡高温低湿,水分条件极差,自然生长的榆树只能零星分布,而且盖度低、长势差,成为“小老树”。因此,即使是排矸 25 ~ 40 年的地段,也并不适合乔木树种的生长。建议在本地矸石山阳坡植被重建时,以耐旱草本为主,少量配置耐旱灌木。

(下转第 252 页)

(上接第 245 页)

多年平均和不同降水年型的土壤水分动态变化规律,得出以下结论:

(1)各站点土壤水分季节性变化受该地区降雨的强烈影响,与当地气候的季节性变化,尤其是降雨的季节性变化基本是一致的。土壤水分的季节变化大致可分为春夏快速失墒期、夏秋增墒期和冬春相对稳墒期三个阶段。即从 3 月上旬起土壤水分均开始下降,至 6 ~ 7 月都出现一个水分低值区,之后土壤水分开始回升。各站由于降水、蒸散等的差异,其土壤水分变化又有各自的特点。

(2)各站点土壤水分垂直变化在浅层 0 ~ 50 cm 处的变化

幅度均较深层 50 ~ 100 cm 处的变化幅度大。几个站点相比较而言,环县自始至终变化较为平稳,定西 50 ~ 100 cm 变化较稳定,固原无论是 0 ~ 50 cm 还是 50 ~ 100 cm,都是变化较为剧烈的。固原县和定西县土壤水分垂直变化较活跃,活跃层可达 50 cm,而环县的活跃层较浅,0 ~ 10 cm 土层为速变层,次活跃层仅涉及到 20 cm 深,20 cm 以下为相对稳定层。

(3)就不同降水年型而言,固原实验站典型丰水年和典型枯水年土壤含水量的变化趋势表现出对称性。但典型丰水年土壤含水量的变幅仍较典型枯水年的土壤含水量变幅大。

参考文献:

[1] 邵晓梅,严昌荣,徐振剑.土壤水分监测与模拟研究进展[J].地理科学进展,2004,23(3):58-66.
[2] 张超,王会肖.土壤水分研究进展及简要评述[J].干旱地区农业研究,2003,21(4):117-125.
[3] 李海滨,林忠辉,刘苏峡.Kriging 方法在区域土壤水分估值中的应用[J].地理研究,2001,20(4):446-452.
[4] A Henderson-Sellers. Soil moisture: A critical focus for global change studies[J]. Global and Planetary Change, 1996, 13:3-9.
[5] 何福红,黄明斌,党廷辉.黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征[J].水土保持通报,2002,22(4):6-9.
[6] 胡恒觉,等.黄土高原旱地农业-理论、技术、潜力[M].北京:中国农业出版社,2002.
[7] 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.
[8] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵小流域地形和土地利用对土壤水分时空格局的影响[J].第四纪研究,2003,23(3):334-342.
[9] 陈洪松,郝明德,宋孝玉.黄土高原沟壑区农田土壤水分动态变化分析[J].水土保持研究,2003,10(1):92-94.
[10] 白世彪,陈晔,王建.等值线绘图软件 SURFER 7.0 中九种插值法介绍[J].物探化探计算技术,2002,24(2):157-162.
[11] 熊文兵.用 Surfer7.0 绘制气象等值线图[J].广西气象,2003,24(3):43-45.
[12] 李新宁,王家林,吴健生等.借鉴 GIS 基本思想在 Sufer 中实现复杂地质图件的绘制[J].物探化探计算技术,2001,23(1):62-67.
[13] 邵明辉,李银芳.应用 SURFER 软件绘制土壤湿度时间等值线图的方法[J].干旱区研究,1996,13(2):63-68.
[14] 文雅,郭治兴.应用 Win-Surfer 软件绘制降水等值线图[J].土壤与环境,2002,11(4):360-362.
[15] 杨兴国,柯晓新,张旭东,等.甘肃河东雨养农业区水分变化规律的研究[J].应用气象学报,2000,11(2):205-213.
[16] 韩湘玲.农业气候学[M].太原:山西科学技术出版社,1999.
[17] 刘新平,张铜会,赵哈林,等.干旱半干旱区沙漠化土地水分动态研究进展[J].水土保持研究,2005,12(1):63-68.