

基于 GIS 的黄丘区土壤水分制图及其定量化分析

焦 峰^{1,2,3}, 温仲明^{1,3}, 陈云明^{1,2}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 以空间图形和数据库为基础, 利用 GIS 把特定区域内的土壤水分样点数据与地理数据结合起来, 建立不同利用类型——土地类型——坡度分级的浮点型土壤含水率字段, 对流域尺度土壤水分制图及其定量化方法进行了研究和探讨, 对不同土层土壤水分状态和分布进行了定量分析。研究表明: 从土壤水分结构看, 安塞县土壤水分总体上处于较低水平, 黄土丘陵区土壤水分环境非常恶劣, “土壤水库”的调节作用对于林木生长极其有限, 大面积植树造林超越了“土壤水库”的供水和调水能力, 是不适宜的, 因此, 在以适地适树原则适应土壤水分环境的同时, 应加强土壤水分环境的改善和改良。
关键词: GIS; 土壤水分; “土壤水库”; 数量评价
中图分类号: S 152.7; T P79 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)03-0129-03

Mapping and Quantitative Analysis of Soil Moisture Using GIS Techniques

JIAO Feng^{1,2,3}, WEN Zhong-ming^{1,2}, CHEN Yun-ming^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Academy of Sciences and Ministry of Water Resources;
2. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Soil water is crucial to plant growth and plays a vital role in re-vegetation. Based on spatial databases and sampled soil moisture data, a method was developed to relate the sampled soil water data to different combinations of land type- land use- slope grade thus using GIS techniques, and maps were made indicating the spatial variation of soil water in different soil layers. Using these maps, the authors calculated the amount and distribution of average soil water content in different soil layers in watershed scale. The results showed that the “soil water reservoir” had limited capability to adjust forest growth, and trees’ planting on a large-scale was not feasible because its water consumption exceeded the supply of water from “soil water reservoir”. Quantitative analysis of the soil moisture structure demonstrated that soil water content in Ansai County was at a very low level as a whole. These findings showed that soil water environment was quite worse in Ansai County, and could not provide much water for vegetation restoration. Therefore, more efforts should be laid on the improvement of soil water environment while following the principle of selecting suitable tree species for sites in trees planting.
Key words: GIS; soil moisture; “Soil water reservoir capacity”; Quantitative evaluation

在侵蚀严重的干旱半干旱黄土丘陵沟壑区, 土壤水分是土壤侵蚀过程^[1]、植物生长^[2,3]和植被恢复^[4]的主要影响因素, 也是重要的农业水资源。在干旱半干旱黄土区, 深厚的黄土层(一般厚度达 50~200 m)蓄积大量的水分形成了“土壤水库”, “库”中的水对区域第一性生产力的形成具有重要作用, 从而成为土地资源质量评价的主导因素之一^[5]。因此, 研究土壤水分空间分布对黄土丘陵区农业生产、植被恢复和土

地资源的合理利用及配置具有重要的指导意义^[6]。
长期以来, 对黄土丘陵区土壤水分的研究主要集中在两种尺度上: 在小尺度上研究了影响土壤水分状况的重要因素(质地、容重)与土壤水分常数(田间持水量、凋萎湿度、饱和持水量和土壤入渗等)的关系、局地植物(林草及农作物)生长与土壤水分的关系^[7]、小流域土壤水分的时空变异特征和土地利用对土壤水分时空分布的影响等^[8]; 在大尺度上研究

¹ 收稿日期: 2005-01-17
基金项目: 国家自然科学基金项目(40301029); 中科院“西部之光”人才培养计划项目(B22012900); 中科院水保所领域前沿项目(SW04101); 西北农林科技大学重点基金项目(C148)
作者简介: 焦峰(1965-), 男, 汉族, 陕西省三原县人, 副研究员, 在职博士, 主要从事 GIS 应用、水土保持与环境效应监测评价研究。

了黄土高原土壤水分循环对陆地水循环的影响^[9]、黄土高原环境旱化与土壤水分的关系^[10,11]及黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性分布^[12]等。由于受到各种因素的制约,在生产中,虽然人们已经认识到土壤水资源的地带性与非地带性分异特征,但缺乏系统的特别是定量化的分析与计算。

国外研究者利用遥感和野外实测的土壤水分资料,从不同尺度上分析了土壤水分的地理统计特性^[13,14],也多集中在表层土壤水分的特征分析,国内尤其在黄土丘陵区多是利用经典统计或描述方法进行土壤水分研究,对中尺度土壤水分制图和定量分析计算的研究鲜有报道。本文利用 GIS 把特定区域内的土壤水分样点数据与地理数据结合起来,进行了黄土丘陵区土壤水分制图及量化分析研究,对土壤水分的有效利用与管理具有重要实用价值。

1 研究区概况

研究区位于陕西省安塞县县南沟/纸坊沟流域(北纬 36° 51'30",东经 109°19'30"),面积约 52 km²,属典型梁峁状丘陵沟壑区。研究区地形破碎,沟壑纵横,沟壑密度 4.2~8.0 km/km²,海拔 1 010~1 431 m。气候属暖温带半干旱气候,多年平均降雨量为 497.0 mm,干燥度 1.48;年平均气温 8.8℃。土壤类型为黄土母质上发育而成的黄绵土,以粉粒为主。植被地带属森林草原带,天然森林已全遭破坏,灌木呈零星分布,形成以中旱生草本占绝对优势的植被群落。土地利用类型主要有坡耕地、梯田农地、果园、乔木林地、灌木林地、天然草地和荒坡地等类型^[15]。

2 研究方法

2.1 基本地理数据库的建立

依据 1978 年版 1:10 000 地形图和 2001 年拍摄 1:10 000 彩红外航片为判读主要资料,结合野外调查,编绘县南沟/纸坊沟流域土地利用图、土地类型图和坡度分级图,并在 ARC/INFO 系统支持下数字化,进行专题图的编辑和处理,建立专题图形库,并进行属性数据的采集、编码和输入的一体化处理,建立空间数据库。

2.2 土壤水分采样与计算方法

在县南沟/纸坊沟流域的上、中、下游选择三条样带。根据不同土地利用类型、坡度分级和土地类型特征分别进行土壤水分取样,共选取 69 个样点。

土壤水分采用土钻取样,烘干法(105℃)测定,测深 5 cm,取样深度间隔 20 cm。2003 年 6 月雨季进行了一次土壤水分采样。土壤容重采用环刀法取样测定。

土壤贮水量按 $W_c = 0.1R \cdot V \cdot H$ 计算,式中, W_c ——土壤贮水量(mm); R ——土壤含水量(%); V ——土壤容重(g/cm³); H ——土层深度(cm)。

“土壤水库”库容量按 $Q_c = 0.001W_c \cdot S$ 计算, W_c ——土壤贮水量(mm); S ——土壤表面积(m²)。

平均土壤贮水量按 $Q_{cm} = \frac{1}{n} \sum P_i \cdot R$ 计算,式中 P_i ——面积加权平均值; R ——土壤含水量(%)。

3 土壤水分制图与量化分析

3.1 土壤水分分级与制图

土壤水分受质地、结构、容重和有机质等的影响较大。根据所处研究区域的土壤条件和土壤水分有效性与土壤持水力、水分形态以及水分常数(主要是凋萎系数和田间持水量)的关系,划分出土壤有效水分区间^[16]。一般来说,有效水被植物的利用有难易区别,愈靠近凋萎系数的水愈难被植物吸收。参考有关人员对土壤水分的研究结果^[17],我们将安塞县土壤水分划分为 6 个等级(表 1),鉴于城镇居民地和水库水域的特殊性,在划分土壤水分等级和进行土壤水分制图时,对其做特殊用地处理,不计入土壤水分的计算范围。以县南沟/纸坊沟流域土地利用图、土地类型图和坡度分级图为基础,以 ARCVIEW 为平台,建立不同利用类型—土地类型—坡度分级的浮点型字段^[19],根据野外实点采集的数据和土壤水分分级标准,建立野外观测数据与图形数据库的对应关系,编制县南沟/纸坊沟流域不同土层土壤水分图(图 1)。

表 1 县南沟/纸坊沟流域土壤水分分级标准

分级	1	2	3	4	5	6
水分状况	极低	低	较低	一般	较高	高
水分含量/%	< 6.4	6.4~8.6	8.6~10.8	10.8~13	13~15.2	15.2~17.4

3.2 土壤水分定量分析

根据县南沟流域不同土壤含水量分布图,进行县南沟流域土壤水分剖面结构计算和分析(表 2)。在 0~60 cm 土层,土壤含水量低于 8.6% 的土地面积占到总土地面积的 82.79%,其中土壤含水量低于凋萎湿度的土地面积占到总土地面积的 36.94%;该土层土壤水分虽然容易得到降雨的补偿,但因蒸发损失或林草植被的蒸散而消耗量要远大于其补偿量,土壤含水量基本处于低水平。在 60~120 cm 土层,土壤含水量低于 8.6% 的土地面积占到总土地面积的 72.92%,其中土壤含水量低于凋萎湿度的土地面积占到总土地面积的 32.31%;该土层的土壤水分会得到降雨的补偿的同时,但林草植被的耗水在本土层也较大,土壤含水量低于凋萎湿度的土地面积相对上层变化不大,土壤含水量仍处于较低水平;120~200 cm 土层土壤含水量分布范围较上层广,土壤含水量在 10.8%~13% 范围内的土地面积占总土地面积的比例增加到 37.33%,该层土壤含水量一般情况下不能得到降雨径流的补偿,而该层土壤水分又是植被供水的调节土层,一般来说,该层土壤含水量变化较上层弱,土壤含水量低于凋萎湿度的土地面积大幅度减少,降低到 25.84%,土壤含水量处于一般水平;200~300 cm 土层,土壤含水量在 8.6%~13% 的土地面积占总土地面积的比例达到 64.47%;该层土壤水分也很少得到降雨补偿,但相对上层来说,植被的耗水作用在降低,土壤含水量低于凋萎湿度的土地面积减少 19.40%,土壤水分处于一般水平;300~400 cm 和 400~500 cm 土层土壤水分分布相似,土壤很少受到其它因素干扰,土壤水分分布状况基本与 200~300 cm 土层趋于一致,土壤含水量一般。

表 2 县南沟/ 纸坊沟流域不同土层土壤水分面积分布

土层/cm	分布	不同土层土壤水分面积分布						
		< 6.4	6.4~8.6	8.6~10.8	10.8~13	13~15.2	15.2~17.4	> 17.4
0~60	面积/hm ²	1886.52	2341.42	878.58	0.00	0.00	0.00	0.00
	比例/%	36.94	45.85	17.21	0.00	0.00	0.00	0.00
60~120	面积/hm ²	1649.98	2124.75	1016.56	210.64	104.58	0.00	0.00
	比例/%	32.31	41.61	19.91	4.12	2.05	0.00	0.00
120~200	面积/hm ²	1319.42	1647.65	900.30	1006.16	0.64	104.58	127.77
	比例/%	25.84	32.27	17.63	19.70	0.01	2.05	2.50
200~300	面积/hm ²	990.87	820.87	1958.48	633.06	700.42	2.82	0.00
	比例/%	19.40	16.07	38.35	12.40	13.72	0.06	0.00
300~400	面积/hm ²	796.67	1999.45	1196.13	254.09	253.25	163.33	443.60
	比例/%	15.60	39.15	23.42	4.98	4.96	3.20	8.69
400~500	面积/hm ²	950.26	1055.34	2053.15	333.65	267.69	2.82	443.60
	比例/%	18.61	20.67	40.21	6.53	5.24	0.06	8.69

3.3 土壤水分数量评价

由县南沟/ 纸坊沟流域不同土层土壤水分的蓄水量 状况可知(表 3), 县南沟/ 纸坊沟流域 0~500 cm 土层“土壤水库”总蓄积量为 3 038.91 万 m³, 从不同土层“土壤水库”蓄积量现状看, 0~500 cm 土层“土壤水库”蓄积量随土层深度增大而增加, 平均以 8.93 万 m³/10 cm 土层厚度的速度增加,

蓄积量从 0~60 cm 土层占 0~500 cm 土层总蓄积量的 9.48% 增长到 400~500 cm 土层占总蓄积量的 22.20%; 其中 60~120 cm、120~200 cm 和 200~300 cm 土层增长幅度最大, 平均增长率为 13.27 万 m³/10 cm, 说明在 0~60 cm 土层, 土壤含水量受外界因素干扰的程度较大, 在 300 cm 土层以下基本达到平衡状态。从“土壤水库”单位面积(m²) 的蓄积量, 可以看出, 实际上县南沟/ 纸坊沟流域单位面积“土壤水库”蓄积量在 0~120 cm 土层仅有 0.06 m³/m², 而其它土层单位面积“土壤水库”蓄积量也都在 0.13 m³/m² 以下, 0~500 cm 土层单位面积“土壤水库”总蓄积量也仅有 0.60 m³/m²。当然, “土壤水库”也有“死库容”(即土壤含水量低于凋萎系数难以被利用而成为无效水), 减去这一部分“死库容”, 各土层单位面积“土壤水库”蓄积量均减少了约 0.02~0.03 m³/m²。大量调查资料表明, 人工林草地进入生长旺盛阶段后, 平均年总蒸散大于年均降水量, 据测定, 25 年生刺槐林平均年耗水量较同期年降水量高约 25 mm, 相当于每年要消耗掉 0.25 m³ 土壤水; 生长较好的 5~20 年的人工草地和林地, 均会不同程度地形成土壤干层, “土壤水库”的调节作用对于林木生长极其有限, 遇到干旱年份, 林木将发生大面积死亡^[18]。

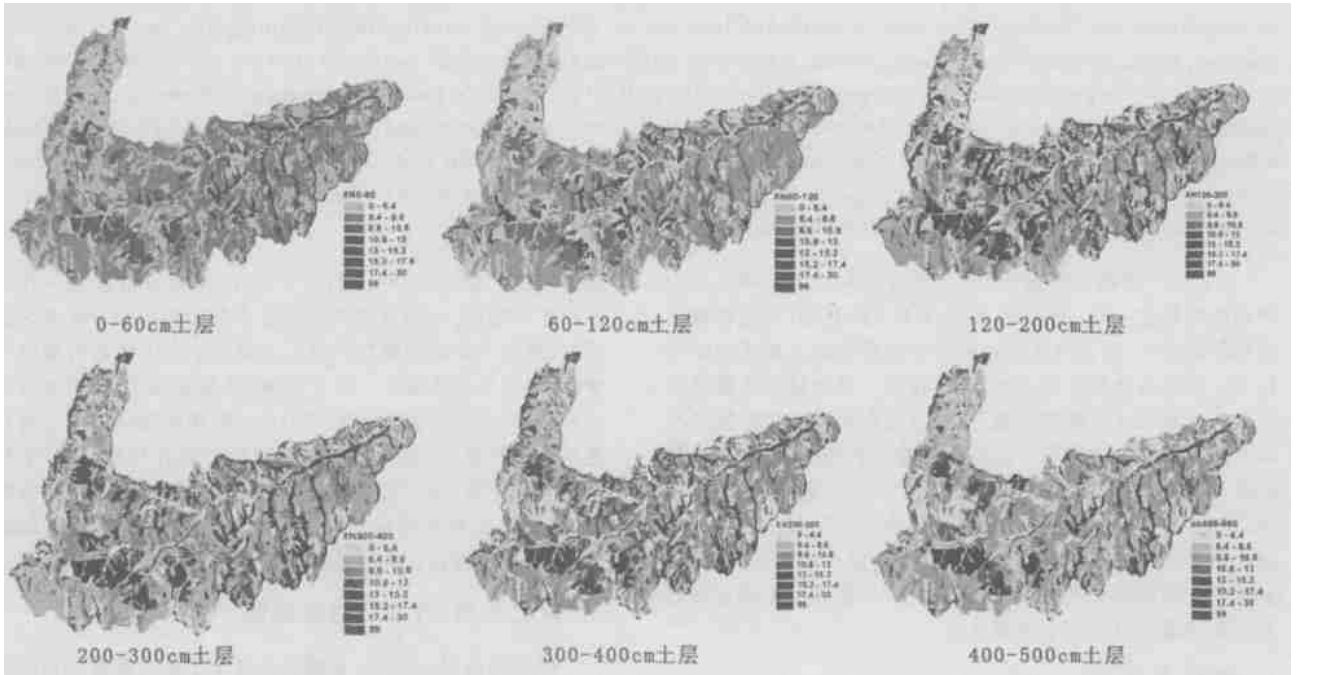


图 1 县南沟/ 纸坊沟流域不同土层土壤水分含量图

总体来看, 县南沟/ 纸坊沟流域土壤水分含量主要处于较低水平, 土壤水分在低水平状态运转, 说明县南沟流域土壤水分环境比较恶劣, 用于植被恢复和重建的水分伸缩空间不是很大, 大面积植树造林显然超越了“土壤水库”的供水和调水能力, 是不适宜的。因此, 在植被恢复和重建过程中, 一方面要因地制宜, 适地适树, 适应土壤水分环境; 另一方面要发挥整地效用, 截流入渗, 提高土壤含水率, 改善土壤水分环境; 同时, 应该充分发挥地表水的作用, 引流补灌, 及时补充土壤水分。

表 3 县南沟/ 纸坊沟流域“土壤水库”蓄水量状况								
土层/cm	0~60	60~120	120~200	200~300	300~400	400~500	合计	
库容量/10 ⁴ m ³	288.24	314.38	482.40	633.94	645.39	674.56	3038.91	
比例/%	9.48	10.35	15.87	20.86	21.24	22.20	100	
库容量/(m ³ ·m ⁻²)	0.06	0.06	0.09	0.12	0.13	0.13	0.60	
有效库容量/10 ⁴ m ³	210.64	227.62	361.63	481.03	476.34	506.83	2264.09	
比例/%	9.30	10.05	15.97	21.25	21.04	22.39	100	
有效库容量/(m ³ ·m ⁻²)	0.04	0.04	0.07	0.09	0.09	0.10	0.44	

42.

[2] Schumm S A. Geomorphic thresholds and the complex response of drainage systems[A]. In: Maric Morisawa(ed). Fluvial Geomorphology[M]. Publications of Geomorphology, Binghamton: State University of New York, 1973.

[3] 陆中臣, 等. 流域地貌系统[M]. 大连: 大连出版社, 1991.

[4] Grossman, G M, Krueger, A B. Environmental impact of a North American Free Trade Agreement[Z]. CEPR Discussion Paper No. 644, Center for Economic Policy Research, 1992.

[5] Panayotou T. Environmental Degradation at different stages of economic development [A]. Beyond Rio. The Environmental Crisis and Sustainable Livelihoods in the Third World[M]. London: Macm, llan, 1995.

[6] James, A N. Agricultural land use and economic growth: environmental implications of the kuznets curve[J]. Int, J. Sustainable Development, 1999, 2(4) : 530– 553.

[7] 陈劭锋, 等. 可持续发展的多维临界[J]. 中国人口、资源与环境, 2001, 11(1) : 26– 29.

[8] 齐矗华. 黄土高原侵蚀地貌与水土流失关系研究[M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 1991.

[9] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区自然环境及其演变[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

[10] 许炯心. 黄河中游多少粗沙区高含沙水流的粒度组成及其地貌学意义[J]. 泥沙研究, 1999, (5) : 13– 17.

[11] 史念海. 河山集(二集) [M]. 北京: 生活、读书、新知三联书店, 1981.

[12] 唐克丽, 等. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及治理途径[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.

[13] 洪业汤. 不应把黄河看成是生态破坏的象征[N]. 科学报, 1988– 11.

[14] 汪岗, 范昭. 水利部黄河水沙变化研究基金会项目: 黄河水沙变化研究(第二卷)[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.

(上接第 131 页)

4 结论与讨论

土壤水分研究是传统土壤学研究的一个重要分支, 有着极其长久的历史。长期以来, 人们对黄土高原土壤水资源条件及其对生产力的影响, 从点到面进行了大量的定量测定和定性分析, 也取得了一些成果, 其与生产力的正相关关系已被许多研究证实^[5, 13, 20]。利用 GIS 把土壤水分样点数据与地理数据结合起来, 根据野外实点采集的数据和土壤水分分级标准, 建立野外观测数据与图形数据库的对应关系, 编制不同剖面土壤水分图, 是一种可行的土壤水分定量化研究方法。

参考文献:

[1] 贾志军, 蔡强国, Luk S H. 晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 32– 39.

[2] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 190– 297.

[3] 卢宗凡, 梁一民, 刘国彬. 中国黄土高原生态农业[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997. 56– 67.

[4] 朱志诚. 陕北黄土高原植被群落研究[J]. 西北林学院学报, 1993, 8(1) : 87– 94.

[5] 张雷明, 上官周平. 黄土高原土壤水分与植被生产力的关系[J]. 干旱区研究, 2002, 19(4) : 59– 63.

[6] 吴钦孝, 杨文治. 黄土高原植被建设[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 42– 68.

[7] 庄季屏. 四十年来的中国土壤水分研究[J]. 土壤学报, 1989, 26(3) : 241– 248.

[8] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征[J]. 地理学报, 2000, 55(4) : 428– 428.

[9] 李玉山. 黄土区土壤水资源循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学, 1983, 3(2) : 91– 101.

[10] 韩仕峰, 李玉山, 张孝中, 等. 黄土高原地区土壤水分区域动态特征[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1989, 10: 161– 167.

[11] 杨文治, 邵明安, 彭新德, 等. 黄土高原环境的旱化与黄土水分关系[J]. 中国科学(D), 1998, 28(4) : 357– 365.

[12] 穆兴民. 试论黄土区旱地土壤水资源的地带性与非地带性[J]. 土壤学报, 1999, 36(2) : 237– 243.

[13] Munoz– Pardo J, Ruelle P, Vaudin M. Spatail variability of an agricultural field: goestatistical analysis of soil texture. Soil moisture and yield components of two rained crops[J]. Catena, 1990, 17: 359– 381.

[14] Andrew W W, Giinter B, Roder B G. Geoststtical characterization of soil moisture patterns in the Tarrawarra catchment[J]. Journal of Hydrology, 1998, 205: 20– 37.

[15] 中国科学院西北水土保持研究所, 陕西省安塞县人民政府. 安塞县水土保持实验区农业自然资源综合考察与规划报告集[R]. 1981.

[16] 胡定宇. 土壤学[M]. 陕西杨凌: 天则出版社, 1992. 88– 102.

[17] 宋桂琴. 黄土高原土地资源研究的理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996. 64– 65.

[18] 王国良, 刘国彬, 常欣, 等. 黄土丘陵区小流域植被建设的土壤水文效应[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3) : 339– 344.