

黄土高原沟壑区小流域综合治理的生态水文效应

何福红^{1,2}, 黄明斌^{1,2}, 党廷辉^{1,2}

(1. 中国科学院水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)
水 利 部

摘 要: 选择黄土高原沟壑区的长武王东沟小流域为研究对象, 从流域土地利用变化的减流减沙效应、土壤水分状况、流域的蒸散发和生物利用型土壤干层等几个方面定量地评价了黄土高原沟壑区小流域综合治理对流域水分环境的影响。结果表明: 2001 年比 1985 年耕地面积减少了 24.8%, 草地面积减少了 76.5%, 林地面积增加了 75.7%, 果园面积增加了 10 倍, 森林覆盖率提高了 27.8%, 小流域年径流深和侵蚀模数分别减少了 21.9% 和 26.6%。同一土地利用类型的 0~2 m 土壤剖面储水量变化不大, 2~3 m 土壤剖面储水量大幅度减少, 土地利用类型改变后, 土壤剖面平均含水量和土壤储水量均呈现出下降的趋势, 但苹果地和刺槐林的下降趋势远大于农地和荒草地。与此同时, 流域总蒸散量比治理前有所增加, 土壤干层已成为一个普遍存在的水分现象。

关键词: 黄土高原沟壑区; 小流域; 综合治理; 水文效应

中图分类号: S157; S271

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)02-0033-05

Effect of Moisture Environment of Integrative Controls in Wangdonggou Watershed in Gully Region of the Loess Plateau

HE Fu-hong^{1,2}, HUANG Ming-bin^{1,2}, DANG Ting-hui^{1,2}

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

Abstract Taken Wangdonggou watershed in gully region of the Loess Plateau of China as a study case, from the effects of land use change on sediment and runoff reduction, the soil water condition, and hydro-ecological effect of the soil dry layer, the effect of small watershed integrative controls on the moisture environment was evaluated. The result shows that the area of farmland and grassland decreased by 24% and 76.5% respectively and forest increased by 75.7%, and the area of orchard has been increased 10 times, forest coverage ratio increased 27.8% from 1985 to 2001. At the same time, the total annual runoff decreased from 11.02mm before starting integrative controls to 5.08mm at present time results in a decrease of runoff by 53.9%, and the soil erosion modulus decreased from 1689 t/km² before starting integrative controls to 504 t/km² at present time results in a decrease of sediment by 70.2%; from 1985 to 2001, the soil water storage of profile of the same land use types have a small quantity reduction, but the reduction current are less than that of the whole watershed; the soil water average content and storage of all land use types have reduction current after the land use change, but the reduction current of forest and orchard was far great than that of farmland and grassland decreased; the dried soil layer is a general soil water phenomenon in the whole watershed.

Key words: gully region of Loess Plateau; small watershed; integrative controls; moisture effect

黄土高原沟壑区范围包括晋陕黄河峡谷高原沟壑区、渭北旱塬黄土高原沟壑区和陇东黄土高原沟壑区, 面积 6.945 3 万 km², 人口约 900 万, 地形破碎, 沟壑纵横, 是我国水土流失最严重的区域之一, 在“七五”和“八五”期间, 建立四个综合治理实验区, 积累了丰富的经验, 取得了很大的效益^[1~5]。

然而也产生了一系列的水文生态环境问题。对小流域尺度而言, 在水土保持治理度、植被盖度和农田生产力日益提高的情况下, 水分小循环将大幅度增强, 可能导致水分循环和转化路径的改变, 从而引起黄河中游径流量减少^[6,7]。与此同时, 在黄土高原地区出现了生物利用型土壤干层, 表现为高

收稿日期: 2002-11-25

基金项目: 国家自然科学基金(50079023); 国家自然科学基金重大项目(49890330); 国家科技攻关项目(200BA508B18)和黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金资助项目。

作者简介: 何福红(1978-), 男, 硕士生, 主要从事土壤水分、水资源环境等研究工作。

产农田和果树产量出现较大的波动性,林草植被枯萎甚至退化,影响整个小流域的植被恢复和重建^[8-12]。基于此,近年来,不少专家和学者对小流域综合治理的水分环境效应作了大量的研究^[13,14],但大多集中在黄土高原丘陵沟壑区,很少涉及黄土高原沟壑区。本文选择黄土高原沟壑区典型的小流域——王东沟小流域作为研究对象,从流域土地利用变化的减流减沙效应、土壤水分状况、全流域的蒸散发以及生物利用型土壤干层等几个方面定量地评价了黄土高原沟壑区小流域综合治理对流域的水文环境的影响,以期对黄土高原沟壑区土地的合理利用和区域生态环境的良性循环提供理论指导。

1 研究流域概况

1.1 小流域自然概况

王东沟小流域位于黄土高原沟壑区陕甘交界处的长武县境内,流域面积 6.3 km^2 ,是典型的高原沟壑区类型。试验区所在地属暖温带半湿润大陆性季风气候,降雨年际变异大,多年平均降雨量为 581.4 mm ,最大年降雨量为 813.2 mm ,最小年降雨量为 369.5 mm ,降水主要集中在 7~9 月,约占全年降水量的 55% 以上。流域内主要土壤类型为黑垆土和黄土,母质为深厚的中壤质马兰黄土,全剖面土质均匀疏松,非饱和层深厚。地下水埋深 50~80 m,农业生产完全依赖于天然降水,实行旱作农业,主要种植小麦、玉米、糜子等,复种指数随降水年份而异,一般年份复种指数为 115%。自然植被多被人工林(草)所取代,主要有刺槐、胡枝子、紫穗槐等。

1.2 小流域综合治理情况

王东沟小流域从 1972 年开始水土保持综合治理,主要措施是塬面平整、修道路和缓坡修梯田、28° 以下的梁坡或塬坡修窄捻、方田林网化、沟谷种树造林,水土流失得到明显控制。“七五”期间,中国科学院、水利部水土保持研究所在此建立流域综合治理试验示范区,在原有基础上完善水土保持规划,并在流域出口建立把口测站,监测泥沙径流量。后续水土保持工程措施主要是完善塬边、塬畔水平梯田和地边埂、建立村庄道路防护体系、沟坡道路防蚀工程。水土保持生物措施是完善塬边和坡地防护林网、造林种草、调整种植结构和营造经济林等,治理结果是农、林、牧用地比例由 1985 年的 55:42:3 调整为 90 年的 45:49:6,“八五”和“九五”期间水土保持工程措施基本结束,流域综合治理以生物措施为主,全流域植被覆盖度进一步扩大,经济林果的种植得到发展。截止 1999 年底,农、林、牧用地比例调整为 35:59:6,其中塬坡、梁坡、沟坡乔灌、草地盖度都在 70% 以上。

2 材料与方法

通过野外实际调查,将流域内的土地利用分为农耕地、人工草地、荒草地、撂荒地、果树地、林地、幼林地、道路、居民用地和难用地 10 个类型,分别统计各种土地利用类型的面积。为了定量地描述小流域综合治理对流域减流减沙以及流域蒸散发的影响,采用流域网格分割法,根据土地类型、植

被、坡度、种植方式、土壤类型等众多指标,将 6.3 km^2 的流域分割为 706 个面积不等小方格,视每一方格为一子单元;其次利用长期监测的径流小区降雨产流、产沙资料,建立包括植被盖度、坡度、坡长、降雨量和土地利用方式在内的子单元降雨产流模型和径流泥沙模型^[15];然后,利用上述模型计算流域下垫面保持“六五”末的状态的自然降雨条件下汛期 5~10 月逐次降雨产流、产沙量,从而得出逐次降雨流域总的径流和侵蚀泥沙量。再通过对比分析把口站实测流域总的径流、泥沙量,我们就可在扣除降雨影响的情况下计算出王东沟小流域水土保持综合治理的减流减沙效益以及对流域蒸散发的影响。

与此同时,工作底图选用了比例尺为 1:7 500 的王东沟流域土地利用图,在王东沟小流域内,选取了不同的坡度(0°~30°)、坡向(阴坡、阳坡)、植被类型(农地、草地、林地、果树地)、植物生物量(高、中、低)的取样点共 101 个,样点分布图见图 1,于 2002 年 6 月利用土钻取土,农地、草地、林地和果园地取样深度均为 6 m,1 m 以内每 10 cm 取一个样,1 m 以下每 20 cm 取一个样,烘干法及时测定其土壤剖面含水量。

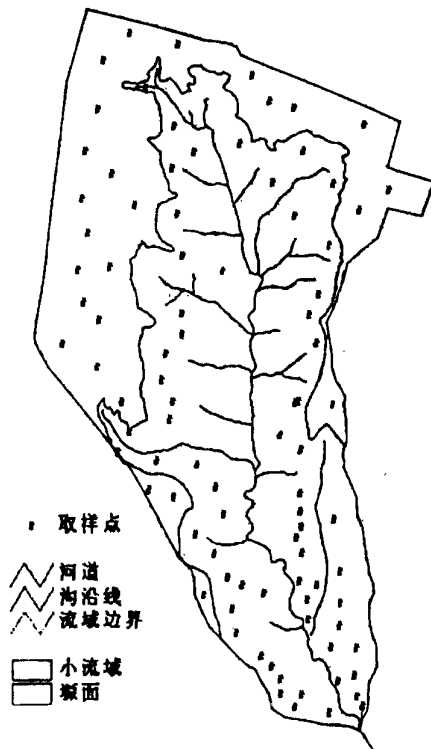


图 1 王东沟小流域样点分布图

3 结果与分析

3.1 小流域土地利用变化与减流减沙效应

1985~2002 年王东沟小流域各类土地利用面积和比例的变化,见表 1。该流域 1985~2002 年土地利用变化具有以下特点:(1)农耕地和难用地面积小量减少,人工草地、荒草地、撂荒地面积大幅度减少;(2)道路和居民用地面积小量增加,果树地、林地和幼林地面积大幅度增加;(3)流域内的森林覆盖率大幅度增加,由 1985 年的 18.2% 增加到 2002 年的

46%。居民用地面积的增加主要与人口增加、扩大居住面积有关。果园面积的大幅度增加主要是由于近年来该区域果业得到了很大的发展,已确定为我国苹果商品化生产基地,相当一部分梯田、农地、坡耕地、荒草地和撂荒地转变为果园。与此同时,由于退耕还林和植被重建,小流域内林地和幼林地面积得到了大幅度的增加。这就相应地减少了流域内农耕地、人工草地、荒草地、撂荒地和难用地面积,提高了流域内的森林覆盖率。统计分析表明,王东沟小流域在 1985~2002 年间耕地面积减少了 24.8%,草地面积减少了 76.5%,林地面积增加了 75.7%,果园面积增加了 10 倍。森林覆盖率提高了 27.8%。

小流域土地利用变化之后,下垫面的变化势必会影响小流域内的径流泥沙量。流域年总侵蚀泥沙量和径流深从“六

五”至“九五”的演变过程如图 2 所示。假设流域下垫面保持“六五”末的状态,计算自然降雨条件下汛期 5~10 月逐次降雨产流、产沙量,计算出“七五”、“八五”和“九五”年侵蚀模数分别为 1 241.1 t/km²、597.4 t/km² 和 709.7 t/km²,径流量分别为 11.03、6.67、7.77 mm。“六五”末,流域实测年侵蚀模数是 1 869 t/km²、“七五”降到 1 050 t/km²、“八五”和“九五”受降雨和治理的双重影响,年侵蚀模数分别为 383 t/km² 和 504 t/km²。相对于“六五”末的状态,其减沙效应分别为 15.4%、35.9%、29%,14 年平均减沙 26.6%。“六五”末,实测流域径流深为 11.02 mm,“七五”、“八五”、“九五”分别为 9.35、5.45、5.08 mm,相对于“六五”末的状态,其减流效率分别达到 15.2%、18.3% 和 34.6%,14 年平均减流 21.9%。

表 1 王东沟小流域 1985~2002 年各种土地利用类型面积的变化

土地利 用类型	1985 年		2002 年		土地利 用类型	1985 年		2002 年	
	面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%		面积 /hm ²	比例 /%	面积 /hm ²	比例 /%
农耕地	339.9	39.7	255.8	30	林地	121.0	14.1	182.2	21.3
人工草地	13.2	1.5	7.1	0.8	幼林地	23.7	2.8	71.4	8.4
自然草地	99.8	11.7	19.7	2.3	道路	27.3	3.2	43.8	5.1
撂荒地	82.7	9.7	22.3	2.6	居民用地	41.0	4.8	62.1	7.3
果树地	12.3	1.4	139.3	16.3	难用地	95.4	11.1	50.8	5.9

注:长灵飞地已计入撂荒地

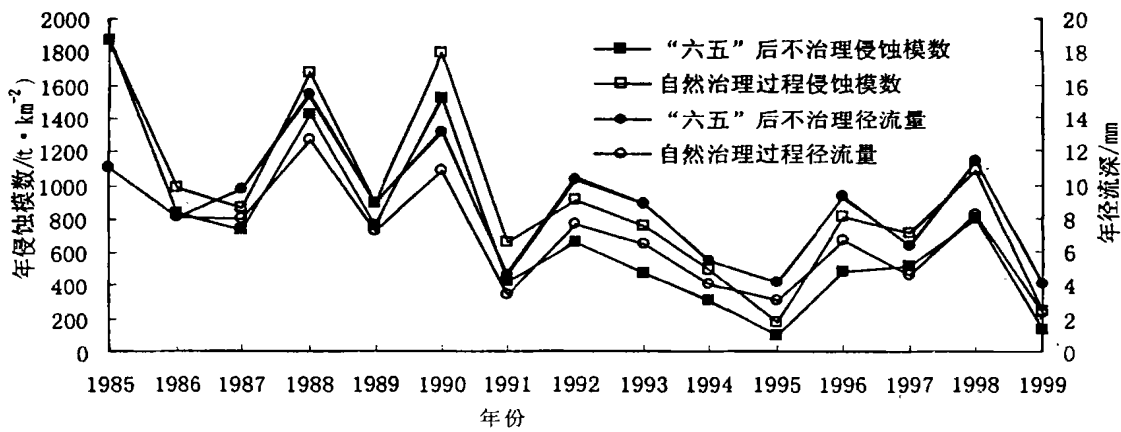


图 2 小流域综合治理的减流减沙效益

3.2 土地利用类型与土壤水分

表 2 是王东沟小流域 1986~2002 年 0~3 m 土壤剖面贮水量的变化情况。从表中可以看出,从 1986~2002 年,在 0~2 m 土层,农地土壤剖面平均贮水量大幅度减少,草地、果园和林地变化不大。这主要是因为王东沟小流域内,主要农作物为小麦,取样前农地刚经过一个生育期,高产作物消耗土壤中的大量水分,导致土壤剖面贮水量大幅度减少,但经过一个雨季之后可以得到部分的恢复。与此同时,2002 年上半年降水量比往年同期大,而且多阴雨天气,植物的蒸

散量有所下降,导致草地、果园和林地土壤剖面贮水量变化不大,有的甚至大于 1986 年的土壤剖面贮水量。但从整个流域来看,0~2 m 土壤剖面平均贮水量呈下降趋势,在 1986 年的基础上减少了 10.8%。在 2~3 m 土层,各种土地利用类型土壤剖面贮水量都大幅度减少,比 1986 年减少了 45.7%。这主要是因为 2~3 m 土层处于降雨入渗深度以下^[12],没有水分补给,而且由于植物根系不断的吸水作用,土壤不断失水,导致了土壤剖面贮水量的大幅度减少。

表 2 王东沟小流域 1986~ 2002 年 0~ 3 m 土壤剖面贮水量变化

土地 类型	样品数/个		0~ 2 m 土壤剖面平均贮水量/mm			2~ 3 m 土壤剖面平均贮水量/mm		
	1986 年	2002 年	1986 年	2002 年	变化率/%	1986 年	2002 年	变化率/%
农地	21	29	426	334.2	- 21.5	235.5	144.6	- 38.6
草地	13	19	409.4	400.9	- 2.1	228.1	138.8	- 39.1
果园	3	22	366.1	369.8	+ 1.0	217.5	108.0	- 50.3
林地	3	31	350.5	374.8	+ 2.9	188.3	102.1	- 45.8
平均	40	101	404.5	360.7	- 10.8	223.2	121.1	- 45.7

在同一土地利用类型上, 改变其土地利用方式, 土壤含水量也有很大的差异。图 3 是土地利用类型变化后的土壤

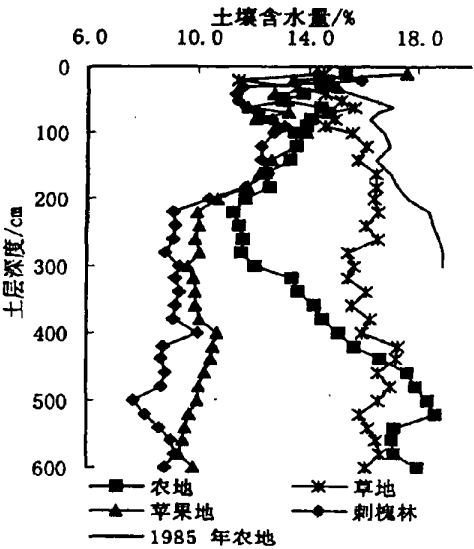


图 3 土地利用类型变化后的土壤剖面水分

剖面水分分布图。测定地点为杜家坪, 1985 年其土地利用类型为农地, 3 m 土壤剖面的平均含水量为 17.3%, 储水量为 703.7 mm。16 年后, 其土地利用类型变化为荒草地、高产农田、苹果地和刺槐林。3 m 土壤剖面的平均含水量分别为 15.6%、12.9%、11.9% 和 11.3%, 土壤剖面的储水量分别为 637.5、525.8、486.4 和 459.4 mm, 其土壤平均含水量和土壤储水量比 1985 年农地分别减少了 10%、26%、31% 和 35%。随着土层深度的增加, 其 3~ 6 m 土壤剖面的平均含水量为 16.4%、16.4%、10.0% 和 8.9%, 其土壤储水量分别为 668.3、667.8、408.2 和 362.5 mm。从图中可以得出, 土地利

用类型改变后, 土壤剖面平均含水量和土壤储水量均呈现出下降的趋势。但苹果地和刺槐林的下降趋势远大于农地和荒草地。这就要求在以后的退耕还林还草等生态环境建设当中, 应充分考虑土地利用类型变化对土壤水分的影响, 合理调整小流域内的土地利用结构, 从而为黄土高原沟壑区的农业生产、植被恢复和土地的合理利用等作出正确的规划。

3.3 综合治理与流域的总蒸散量

流域内各种土地利用类型的面积发生变化, 改变了其下垫面性质, 对整个流域总的蒸散量也会产生一定的影响。为了定量地描述小流域综合治理整个流域总的蒸散量影响, 以“六五”末和自然治理过程的流域下垫面条件为基础, 分“六五”后不治理和自然治理过程两种情况计算整个流域总的蒸散量的演变过程。表 3 是 1985~ 1999 年小流域降水量和总蒸散量的变化情况。从表中可以看出, 流域的蒸散量与降水量密切相关, 占流域降水量的 98.3%~ 99.6%。在不考虑土壤中储水量变化的情况下, 假设小流域下垫面保持“六五”末的状态, 根据自然降雨条件下汛期 5~ 10 月径流量, 计算出“六五”末, 流域的蒸散量为 525 mm, “七五”的蒸散量达到 588.37 mm, “八五”和“九五”受降雨影响, 其蒸散量分别为 458.37 mm 和 498.06 mm; 而在自然治理条件下, “七五”、“八五”和“九五”的蒸散量分别为 590 mm、460.2 mm 和 510.1 mm, 在“六五”的基础上, 分别增加了 1.7 mm、1.8 mm 和 2.2 mm, 其增长率分别为 0.3%、0.4% 和 0.5%。由于植被盖度的增加和生产力水平的提高, 3 m 土层平均土壤含水量有所减少, 如果考虑土壤水分贮水量变化的情况下, 在小流域下垫面保持“六五”末的状态条件下, 3 m 土层的平均含水量为 0.209 cm³/cm³, 流域年平均总蒸散量为 519.4 mm。而在自然治理条件下, 3 m 土层的平均含水量为 0.161 cm³/cm³, 治理后流域的年平均蒸散量为 530.9 mm, 在“六五”的基础上增加了 2.22%。

表 3 王东沟小流域降水量和总蒸散发变化情况

年份	降水量	蒸散量		年份	降水量	蒸散量	
		“六五”后不治理	自然治理			“六五”后不治理	自然治理
1985	536	524.98	524.98	1993	579.1	570.24	572.6
1986	462.1	454.06	454.06	1994	492.2	486.78	488.2
1987	548.1	538.38	540.13	1995	291.1	286.91	288.08
1988	810.3	794.88	797.58	1996	595.6	586.32	588.91
1989	548.3	539.47	541.05	1997	365.5	359.16	360.9
1990	628.2	615.06	617.42	1998	596.7	585.32	588.45
1991	404.9	400.32	401.54	1999	505.2	501.11	502.91
1992	557.9	547.61	550.3				

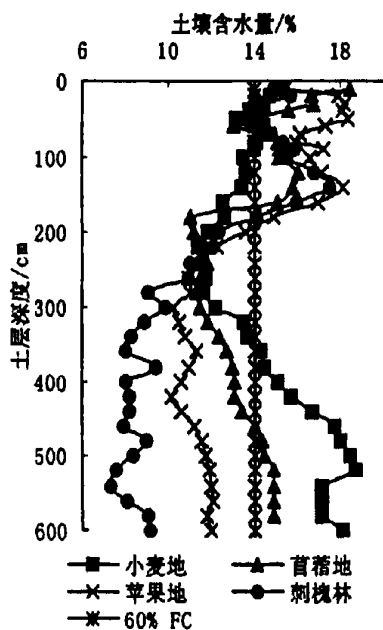


图4 不同植被类型的土壤水分剖面

3.4 生物利用型土壤干层

生物利用型土壤干层是我国北方地区特别是黄土高原半干旱半湿润的环境下存在的一种特殊的土壤水文现象^[2]。在黄土高原地区,由于黄土层深厚,地下水埋藏很深,其土壤水分循环过程是比较单一的降水入渗和水分蒸散发过程。表层土壤经过一个雨季之后土壤水分得到了部分的恢复,而在降雨入渗深度以下土层由于没有水分补给,而且由于植物根系不断的吸水作用,土壤有一个明显的干燥化过程,经过较长时间,在土体中形成一层厚度不等的低含水量层,最终形成了生物利用型土壤干层。其土壤水分一般变化于萎蔫湿度和田间稳定持水量之间。在王东沟小流域内,土壤的田间最大持水量为23%左右,田间稳定持水量为14%(占土壤田间持水量的60%)左右,萎蔫湿度为8%~9%,正常年份土壤最大入渗深度为2m^[15],因此在2m以下水分含量低于14%的土层可以全部看作为土壤干层。

从测定的98个6m土壤剖面含水量来看,85个测点存

致谢: 本文承蒙李玉山研究员提供有关资料,特此致谢。

参考文献

- [1] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 106- 122
- [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] 傅伯杰. 陕北黄土高原土地评价研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(1): 1- 7.
- [4] 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. 42- 68
- [5] 黄明斌, 郑世清, 李玉山. 流域尺度不同水土保持措施减水效益分割[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 4- 7.
- [6] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91- 101.
- [7] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 427- 432
- [8] 杨文治, 邵明安, 彭新德, 等. 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(4): 357- 365
- [9] 李玉山. 旱作高产田产量波动性和土壤干燥化[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 353- 356
- [10] 黄明斌, 杨新民, 李玉山. 黄土区渭北旱塬苹果基地对区域水循环的影响[J]. 地理学报, 2001, 56(1): 7- 13
- [11] 侯庆春, 韩蕊莲, 韩仕峰. 黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探[J]. 中国水土保持, 1999(5): 11- 14
- [12] 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, 24(4): 6- 9
- [13] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区小流域水分环境演变研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(4): 411- 414
- [14] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241- 246

在不同程度的土壤干层, 不同程度地影响了植物的生长。图4是小麦地、苜蓿地、苹果地和刺槐林等4种不同植被类型的土壤水分剖面图, 从图4中可以看出, 土壤干层的分布随植被类型的不同而不同。从土壤干层的干燥化程度来看, 小麦地、苜蓿地、苹果地和刺槐林的土壤干层平均含水量分别为12.5%、12.1%、11.3%和9.1%, 小麦地、苜蓿地的干燥化程度较轻, 苹果地中等干燥化, 刺槐林的干燥化程度最严重。从土壤干层的分布厚度来看, 小麦地、苜蓿地的干层厚度分别为2.5m和2.8m, 而苹果地和刺槐林的干层厚度均大于5m。其它测点的变化趋势基本相同。因此可以得出, 在正常情况下, 其干燥化程度和干层厚度都表现为林地大于果园, 果园大于草地, 农地最小。总之, 在王东沟小流域内, 土壤干层已成为一个普遍存在的水分现象。土壤干层的存在已经影响整个小流域的植被恢复和重建, 表现为高产农田和果树产量出现较大的波动性, 林草植被枯萎甚至退化。这就要求在以后的退耕还林还草等生态环境建设当中, 应考虑土壤干层的空间分布特征, 从而为黄土高原沟壑区的农业生产、植被恢复和土地的合理利用等作出正确的规划。

4 结论

通过分析, 发现王东沟小流域的水文环境在近20年发生了较大的变化: (1) 经过十几年的综合治理, 小流域的土地利用发生了较大的变化, 2001年比1985年耕地面积减少了24.8%, 草地面积减少了76.5%, 林地面积增加了75.7%, 果园面积增加了10倍, 森林覆盖率提高了27.8%; (2) 小流域年径流深由治理前的11.02mm逐步减少为9.35mm到现在的5.08mm, 其侵蚀模数由治理前的1689 t/km²逐步减少为1050 t/km²到现在的504 t/km², 其减流减沙效应分别为21.9%和26.6%; (3) 同一土地利用类型的0~2m土壤剖面储水量变化不大, 2~3m土壤剖面储水量大幅度减少; (4) 土地利用类型改变后, 土壤剖面平均含水量和土壤储水量均呈现出下降的趋势, 但果园和林地的下降趋势远大于农地和草地; (5) 在王东沟小流域内, 流域总蒸散量比治理前有所增加, 土壤干层已成为一个普遍存在的水分现象。