

内蒙古黄土丘陵区坡面径流及其影响因素研究

金雁海^{1,2}, 柴建华², 朱智红², 菅汀夫²

(1. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 2. 内蒙古水利科学研究院, 呼和浩特 010020)

摘要: 为了进一步探讨坡面径流和各影响因子间的关系, 以内蒙古的宁城、和林和东胜三地区的 64 个径流小区为研究对象, 通过三年的定位观测, 分析比较了各因子对坡面径流的影响, 研究结果表明: 在黄土丘陵区, 坡面径流主要受降雨、植被以及人为等因素的影响。降雨量和降雨强度与径流量成正相关关系; 林分密度、林冠的冠幅与径流量为负相关关系; 人为因素主要表现在农业措施方面, 不同的措施引发不同的径流状况, 良好的措施可减小径流, 破坏行为加深径流, 造成水土流失。

关键词: 黄土丘陵区; 坡面径流; 影响因素

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-0292-04

Researches of the Effects of Influence Factors on Surface Flow in Hilly and Gully Region of the Loess Plateau

JIN Yan-hai^{1,2}, CHAI Jian-hua², ZHU Zhi-hong², JIAN Ting-fu²

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Hydraulic Research Institute of Inner Mongolia, Huhhot 010020, China)

Abstract: In order to probe into the relationship between runoff and influencing factors, according to fixed-position observation data of three years from 64 runoff plots in three areas of Ningcheng, Helin and Dongsheng in Inner Mongolia, the impact of rainfall, vegetation cover and agricultural measure on runoff is studied. The result can offer the guidance and support of the theory for hilly region of the Loess Plateau in Inner Mongolia. Meanwhile the results indicate that the relationship between runoff and rainfall and rainfall intensity is positive correlation. But runoff decreases with the increase of vegetation cover and canopy. The agricultural measure plays an important rule in the impacts on runoff. Planting with high quality can reduce the runoff. Destruction of planting strengthens the runoff and increases soil erosion and water loss.

Key words: hilly and gully region of the Loess Plateau; surface flow; influencing factor

内蒙古黄土丘陵区面积为 49 072 km², 为内蒙古农业开发最早的地区, 坡耕地比例占 65% 以上, 年降水量在 400 mm 左右, 土质疏松, 抗蚀力低, 水土流失严重。这不仅使本来就降水不足, 土壤肥力差的土地更加干旱贫瘠, 而且成为阻碍当地经济发展的重要因素。因此通过研究坡面径流与各影响因素的关系, 可为今后小流域水土流失防治及内蒙古黄土丘陵区生态建设和水土保持综合治理的措施布局提供科学依据。

1 研究地区概况

根据内蒙古黄土丘陵区的分布, 选择宁城县的朝阳山、和林格尔县的石嘴山、东胜市的忽鸡兔三个试验点, 沟壑密度 5~7 km/km², 建立径流试验小区。三个试验点均为大陆性半干旱气候, 年降水量 400 mm 左右, 其中 6~9 月降雨量占全年降水量的 70%, 无霜期 135 d 左右, 试验区属典型草原分布区, 以旱生禾本科牧草和半灌木为主, 主要草种有本氏针茅、隐子草、冰草、铁杆蒿和百里香等。

2 研究方法与内容

2.1 径流小区布设方法

在三个试验站共布设 13 组 64 个径流小区, 按坡度分级和不同土地利用进行设置, 见表 1。径流小区水平投影面积均为 100 m², 小区围埂采用砖或水泥预制块, 埋深 10 cm, 外露 14 cm, 顶端斜面用水泥抹成。量水设施由分流桶和集流桶两部分组成, 分流桶直径 62 cm, 集流桶直径 90 cm, 分流孔为 11 孔, 按 20 年一遇洪水设计。

2.2 观测内容

10 标准小区观测整个产流过程, 从引水槽出口取样, 其余小区均为观测产流泥沙径流总量。

2.2.1 气象观测

观测内容为降雨、空气湿度、日照时间、蒸发量、地面温度、气温、5, 10, 15, 40 cm 地温。观察时间为每天的 8 时、14 时和 20 时, 日照时间和蒸发量每天观察一次, 日照计在晚上换低, 蒸发量每天 8 时观察。同时, 在每组径流小区设有一

* 收稿日期: 2005-09-05

基金项目: 内蒙古水利厅“内蒙古黄土丘陵区水土流失规律研究”项目资助

作者简介: 金雁海(1963-), 男, 北京林业大学在读博士生, 高级工程师, 主要研究方向: 林业生态工程、水土流失规律。

台自记雨量记观测降雨过程。

表 1 径流小区不同措施布设表														备注
项目	宁 城				和 林					东 胜				
	5°	10°	15°	20°	5°	10°	15°	20°	28°	5°	10°	15°	20°	
标准小区	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	油松小区植有72株品字形分布的油松
自然荒坡	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
农业顺垄	1	1			1	1				1	1			
农业梯田	1	1			1	1				1	1			
农业横垄	1	1			1	1				1	1			
人工牧草			2	2			2	2				2	2	
油松		1	1			1	1				1	1		

2.2.2 植被覆盖度

每年雨期按植被不同生长期采用覆盖度观测,观测小区有:天然荒坡、农业小区、人工牧草小区和林业小区。时间是 6 月 15 日、7 月 15 日、和 9 月 15 日。牧草和农作物采用针刺法;油松小区采用线段法。

牧草和农作物采用针刺法:选择样方 1 m²,借助钢卷尺和样方绳上每隔 10 cm 的标记,用粗约 2 mm 的细针,顺序在样方内上下左右间隔 10 cm 的点上(共 100 点),从植物上方垂直插下,针与植物相接触,即算一次“有”,如不接触则算“无”,在表上登记,最后计算有的次数,算出覆盖度(%)。

要求每个观察小区选择代表性的几个样方,然后计算平均覆盖度。

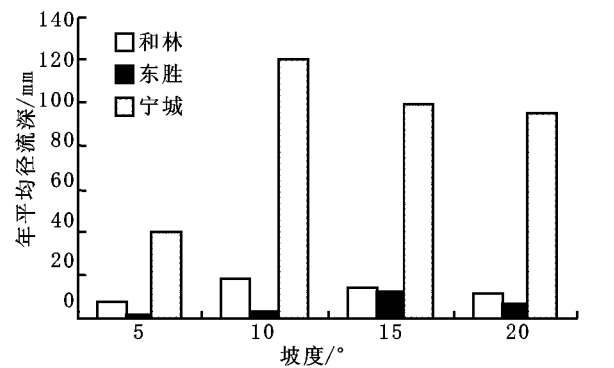


图 1 坡度与径流深的关系

3.1.2 坡度与次降雨累计径流深的关系

次降雨对坡度径流量影响和年统计情况一样,但是在暴雨情况下,该规律不明显或不出现坡度临界值,如图 2。值得注意的是,暴雨时在 15° 径流小区径流深明显下滑到一个低点,即小于 10° 和 20° 小区的径流,这与降雨量小时的情况相反。其可能的原因:在坡度为 10~20° 之间时,起先与年径流规律相同,径流深随坡度的增加而增加,因而逐渐发生侵蚀,产生泥沙,而携带的泥沙又使动能减小,流速减慢,入渗量加大,径流深减小。这种动能的作用对 15° 小区的径流影响最大,当坡度再增大时,入渗面积增大,此作用不再对径流有明显的影 响,径流量重新随坡度增大而增加。此问题今后还需更深入的研究。见图 2。

3.2 降 雨

降雨是产生径流的必要条件,它主要从降雨量、降雨强度、降雨时空分布特征和雨型等方面决定径流的产生及大小。以下只讨论降雨量和雨强与径流的关系。

3.2.1 降雨量

一般来说,年降雨量多的地方,年平均径流量大,水土流失严重。但是次降雨量与径流的相关关系不明显,因为其受到雨强、土壤、植被和人为等因素的制约。

从表 3 中可得出,年降雨量和年径流量相关方程为:

油松小区采用线段法:用测绳在树木下方与地面平行拉过,垂直观察株丛在测绳垂直投影的长度,并用卷尺测量,计算林木总投影长度和测绳长度之比即郁闭度。用此方法应在不同方向取 3 条线段求其平均值。

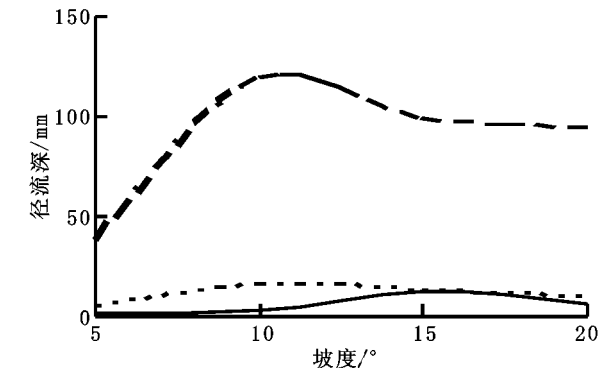
3 结果与分析

3.1 坡 度

3.1.1 坡度与年平均径流深的关系

坡度是地形因素中的重要因子,也是决定坡面径流的关键因子。不同坡度径流试验小区影响面积均为 100 m²,从理论上讲,水平投影面积不变,受雨面积相等,而实际坡度面积增加了,即入渗面积增大。另一方面,坡度增加,径流速度加大,径流在坡面滞留时间相应减少,入渗时间在减少,因此坡面径流减少还是增加,要看哪一种趋势占优。实测结果表明,在受雨面积相等,天然降雨情况下,积累径流深开始随着坡度增加而增加,坡度达一具体值后,积累径流深又有减少趋势,坡度临界值为 10~20° 之间。如表 2。

表 2 坡度与年平均径流深关系					mm
	5°	10°	15°	20°	
和林	6.94	17.46	13.96	11	
东胜	0.79	3.32	12.25	6.71	
宁城	39.3	120.3	99.67	95.3	



$$y = 58.79x - 64.907 \quad r = 0.963$$

式中:y——径流量,mm;x——降雨量,mm。

表 3 次降雨累计径流深与坡度关系

地点	时间	降雨量	R_{30}	mm, MJ · cm/hm ² · h · a			
				径流量			
				5°	10°	15°	20°
宁城	1991-08-18	31.8	43.14	7.1	21	18	16
宁城	1991-07-11	17.6	6.9	0.5	7.7	8.5	6.9
宁城	1992-07-26	43.4	53.14	15.5	35.1	23.2	33
宁城	1992-08-03	49	60.26	20.2	38.7	36.2	40.1
宁城	1993-09-21	11.1	4.3	1.5	5.1	7.4	1.2
和林	1991-07-18	44.7	63.5	4.6	22.4	19.2	21
和林	1991-07-28	48.7	3.52	0	3.5	3.5	1.3
和林	1993-06-10	28.7	14.02	1.4	5.5	7.1	3.9
和林	1993-08-10	21.5	5.49	1.5	3.6	1.5	1.8
和林	1993-09-10	13.2	4.49	2.8	5	4.3	2.5
东胜	1993-07-04	15.9	13.89	4.3	6.3	1.5	1.3
东胜	1993-07-22	14.2	2.35	0.2	0.3	0.3	0.1
东胜	1993-08-03	22.8	2.28	0.2	0.4	0.4	0.3

3.2.2 雨 强

降雨是产生径流的先决条件,但并非所有的降雨都会产生地表径流,只有雨强大于入渗强度时,才可产生。选择宁城和和林的两组典型数据分析雨强与坡面径流的相关关系。从表中可明显得出:四场降雨的 10 min 最大雨强均大于入渗强度,产生地表径流,且径流深与雨强成正相关关系。只有在坡度为 5 时,这种关系不明显。可能的原因,5°坡面的径流基本不受坡度因素影响,流速极小,雨水有足够的入渗时间,因而决定雨水入渗量和径流深的主要因素为土壤和植被覆盖度等其他因素。土壤入渗性能强,植被覆盖度大,则径流量小;反则大。

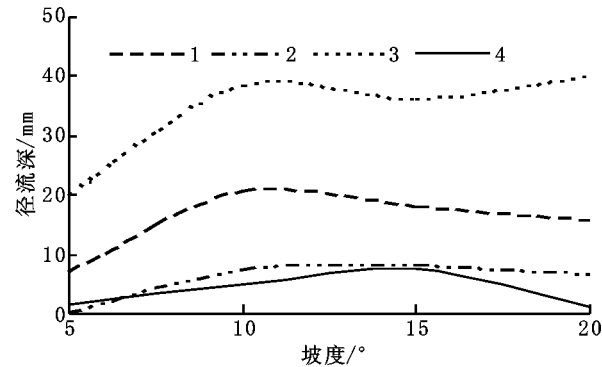


图 2 次降雨累计径流深与坡度

表 4 年降雨量与径流量的关系 mm						
年份	宁城		和林		东胜	
	降雨量	径流深	降雨量	径流深	降雨量	径流深
1991	278.9	56.7	230	32.3	129.8	0.68
1992	331.1	158.4	419.6	41.7	333.3	6.14
1993	364.5	147.5	236.3	27.5	178	3.14
平均	324.8	120.9	295.3	33.8	213.7	3.32
径流系数	37.2 %		11.5 %		2 %	

表 5 降雨强度与径流深的关系						
地点	时间	$I_{10}/(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	径流深/mm			
			5°	10°	15°	20°
宁城	1991-08-18	72	7.1	21.0	18.0	16.0
宁城	1991-07-11	33	0.5	7.7	8.5	6.9
和林	1991-07-18	99	4.6	22.4	19.2	21.0
和林	1993-08-10	18	1.5	3.6	1.5	1.8

3.3 植被因素

植被因素是各自然因素中最易改变的因素。研究结果表明,植被覆盖度对坡面径流的影响十分明显。植被覆盖度在 30 % ~ 70 % 之间时破们,径流量随覆盖度的增加迅速减少,见图 3 - 45。当覆盖度 < 30 %,随覆盖度的减小,径流量成倍增加。植被对地表径流的影响主要通过林草截持降雨和增加土壤入渗等方面起作用的。

3.3.1 林冠截留

林冠可以截持部分降雨,增加降雨蒸发量。从油松小区试验结果表明,林内雨量要比林外小 10 % ~ 30 %,林冠截留是随雨强增大而减少,随着林分郁闭度提高而增加的。

林内外雨量相关方程为: $R_n = 0.8725 R - 1.3728 \quad r = 0.9123 \quad n = 32$
式中: R_n ——林下雨量,mm; R ——林外雨量,mm,要求 $R > 5 \text{ mm}$ 。

在三个实验站中,宁城站气候条件最好,加之油松栽植时换土、浇水,因而生长良好,年际林分郁闭度差值大。同时

在雨期及时清除林地内植被,消除其对试验的影响,因此见表 6,油松林冠截持降雨,减少径流的作用十分明显。尤其是在 1993 年度,雨期雨量达到 364.5 mm,而全年却未产生径流。可见,在水分条件许可时,营造水土保持林初植密度可适当加大,以促进林分尽早郁闭,以后再适时间伐或移植,这样既可使其及时发挥林分水土保持作用,又对树木高生长有益。

表 6 林分郁闭度与年径流量的关系

地点	年份	15 油松小区			20 油松小区		
		郁闭度	径流深	径流系数/%	郁闭度	径流深	径流系数/%
东胜	1991	35	0.88	2	36	0.87	1.92
	1992	39	2.17	0.89	42	1.73	0.7
	1993	44	0.41	0.3	50	0.18	0.16
和林	1991	50	0.08	0.07	55	0.06	0.05
	1992	53	6.61	2.17	62	2.26	0.78
	1993	57	0.72	0.57	65	0.24	0.21
	1994	63	0.03	0.05	71	0.02	0.21
宁城	1991	19	20.9	8.25	22	22.1	8.74
	1992	43	7.5	2.5	45	10.1	3.37
	1993	70	0	0	75	0	0

3.3.2 草本植被覆盖度

三个试验站均没有布设覆盖度对比试验小区,故从已有实测资料中挑选出一些场次降雨来分析,这些降雨是以植被覆盖度差异为主要影响因子。表 7 中小区植被东胜和和林站为谷子,宁城站为黄豆。分析表 7,植被覆盖度对径流量的影响十分明显。在同一坡度和措施条件下,随着覆盖度的增大,降雨量大的小区径流深反而减小,即径流系数减小。同时从表中可看出,覆盖度对径流的影响相对小于坡度对径流的影响。

表 7 草本植物覆盖度与年径流量的关系

小区序号	覆盖度/%	雨量/mm	径流深/mm	径流系数/%
10 顺垄	30	14.2	0.34	2.74
10 顺垄	50	23.1	0.18	0.78
15 横垄	28	10.3	5.36	48.5
15 横垄	50	11.7	3.94	33.3
5 顺垄	40	11.6	0.11	1.05
5 顺垄	55	24.6	0.17	0.69

3.4 农业措施

农业措施在坡面耕地上对坡面径流的影响很大。试验中共布设 5 种措施,不同措施产生径流深的顺序为:横垄耕作 > 标准小区 > 顺垄耕作 > 荒坡 > 梯田。见表 8。

表 8 和林站 1993 年度不同措施的径流量表 mm

名称	5° 10° 15° 20°			
	径流深	径流深	径流深	径流深
标准小区	0.3	4.9	3.5	0.7
横垄耕作	0.4	1.5	2.7	0.6
荒坡	0.2	0.5	2.7	0.3
顺垄耕作	1.8	3.2	3.3	1.6
梯田(油松)	0	0	0.4	0.4

4 结论与建议

(1) 在其他条件一致的情况下,径流量与降雨量呈正相关关系,雨强与径流量的密切相关,而且随着坡度的增加,两者的相关关系越大。

(2) 不论利用现状如何,坡度与径流始终存在规律的关系。在次降雨量小时,10 ~ 20° 之间存在一临界坡度使径流深达到最大值。在暴雨条件下,径流深随坡度的增加而增加。

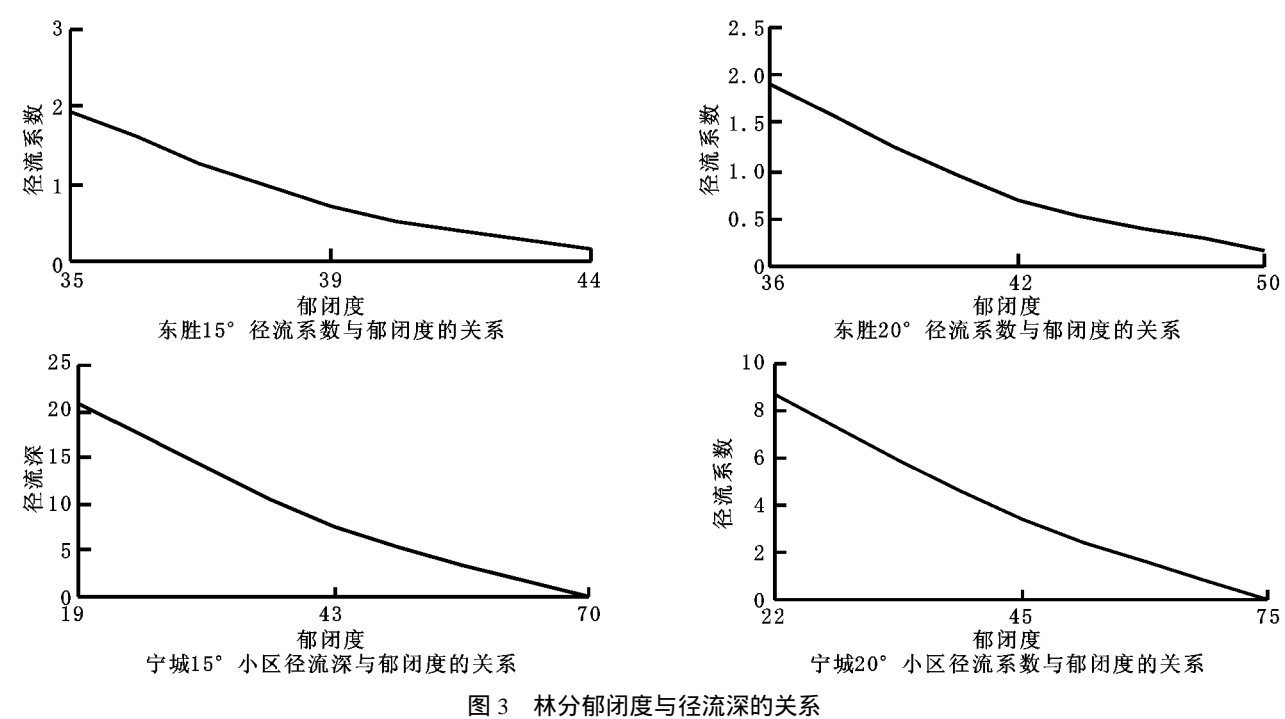


图 3 林分郁闭度与径流深的关系

(下转第 298 页)

(上接第 291 页)

[5] 卜兆宏,唐万龙,等.像元坡度新算法的初步研究[J].遥感技术与应用,1993,8(1):1-6.

[6] 赵富梅,赵宏夫.应用新算法编制永定河上游张家口地区R值图的研究[J].海河水利,1994,(2):47-51.

[7] 刘宝元,谢云,张科利.土壤侵蚀预报模型[M].北京:中国科学技术出版社,2001.

[8] 叶芝菡,刘宝元,章文波,等.北京市降雨侵蚀力及其空间分布[J].中国水土保持科学,2003,1(1):16-20.

[9] Wischmeier W H. Rainfall erosion potential: geographic and location differences of distribution[J]. Agricultural engineering, 1962, 43 :212 - 215.

[10] Hession, W C, et al. A geographic information system for targeting nonpoint-source agricultural pollution[J]. Soil and Water Conservation, 1988, 43(3): 264 - 266.

[11] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the Revised USLE[J].Journal of Hydrology, 1994, 157: 287 - 306.

[12] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales[J]. Australian Journal of Soil Research, 1996, 34: 139 - 152.

[13] Elvidge C D, Yuan D, Weerackoon R D, et al. Relative radiometric normalization of Landsat Multispectral Scanner (MSS) data using an automatic scatter gram - controlled regression[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1995, 61(10): 1 255 - 1 260.

[14] 许榕峰,徐涵秋.多步骤分类法在土地利用/覆盖专题提取中的应用[J].福州大学学报(自然科学版),2003,31(4):408-412.

[15] 李苗苗,吴炳方,延长珍.密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J].资源科学,2004,26(4):153-159.

[16] 马志尊.应用卫星影像估算通用土壤流失方程各因子值方法的探讨[J].中国水土保持,1989,(3):24-27.

[17] Sharpley, A N, J R Williams. EPIC - Erosion/ Productivity Impact Calculator: 1. Model documentation[M]. USDA Tech. Bull. No. 1768.1990.

[18] Wischmeier W H, D D Smith. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture[M]. Agricultural Handbook No. 537. Science and Education Administration, United States Department of Agriculture, 1978.

[19] Foster, G R, L D Meyer, C A Onstad. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates[J]. Trans. ASAE 20:683 - 687.

[20] McCool, D K, G R Foster, C K Mutchler, et al, Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Trans. ASAE, 1989, 32:1 571 - 1 576.

[21] McCool, D K, L C Brown, G. R Foster, et al, Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation[J]. Trans. ASAE, 1987, 30:1 387 - 1 396.

- [2] 庄源益,陶志宁,戴树桂,等.降雨面源污染及其模型研究近况[J].环境科学进展,1994,2(5):20-34.
- [3] 张志剑,胡勤海,朱荫渭.农业面源污染与水体保护[J].科技与发展,1999,(6):23-24.
- [4] 文军,骆东奇,罗献宝,等.千岛湖区域农业面源污染及其控制对策[J].水土保持学报,2004,18(3):126-129.
- [5] 潘美媛.杭州市余杭区农村面源污染状况与治理对策[J].能源工程,2003,(1):43-45.
- [6] 林芳荣,刘晨.面源污染研究的新进展[J].珠江水利水电信息,1993,(5):1-8.
- [7] 宋蕾,王永胜,张鸿涛.关中抽渭灌区面源污染对渭河水体的影响[J].环境保护,2001,(1):24-28.
- [8] 陈能汪,洪华生,张珞平,等.九龙江流域降雨径流污染特征研究[J].厦门大学学报(自然科学版),2004,43(4):537-541.
- [9] 沈晋,沈冰,李怀恩.环境水文学[M].合肥:安徽科学技术出版社,1992.44.
- [10] 刘琦,杨昌衡,刘添天.水环境面源污染控制与管理研究概述和原理[J].广州环境科学,2002,17(3):5-8.
- [11] Beasley D B, Huggins L F. AN SW ERS User 's Manual[M]. West Layette: Dept. of Agric, Eng., Purdue University, 1982.
- [12] Young, R A. A GN PS: A nonpoint source pollution model for evaluating agricultural watershed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1989, 44 (2) : 168 - 173.
- [13] 张宏华,李蜀庆,杜军,等.农业面源污染模型 A GNPS 的应用现状及在我国应用的展望[J].重庆环境科学,2003,12,25(12):188-190.
- [14] Maidment D R. Handbook of Hydrology [M]. New York: McGraw Hill Book Company, 1992.
- [15] Kinnell P IA. U SL E2M: Empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration [J]. Soil Society of America J., 1998, 62 (6) : 1 667 - 1 672.
- [16] William J R, Lasear, W. V. Water yield model using SCS curve numbers [J]. Journal of Hydraulics Division, 1976, 102 (9) : 1 221 - 1 253.
- [17] Bosznay M. Generalization of SCS curve number method [J]. Journal of irrigation and drainage engineering, 1989, 155 (1) : 139 - 144.
- [18] Knisel W G, et al. CREAM S: A field scale model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agriculture Management System [R]. Cons. Res. Rep. No. 26, Washington, D. C. : Science and Education Administration, U SDA, 1983.
- [19] 章北平. 东湖面源污染负荷的数学模型[J]. 武汉城市建设学院学报, 1996, 13(1): 1-8.
- [20] 王薇. 模拟降雨对堆肥和土壤覆盖物中养分流失量的影响[J]. 水土保持科技情报, 2005, (1): 18-19.
- [21] Yin C Q (尹澄清), Lan ZW (兰智文), Yan W J (晏维金). Retention of allochthonous nutrients by ecotones of Baiyangdian Lake. Chinese Journal of Applied Ecology (in Chinese) (应用生态学报), 1995, 6 (1) : 76-81.
- [22] Gustafson A, Fleischer S, Joelsson A. A catchment oriented and cost effective policy for water protection[J]. Ecological Engineering, 2000, 14 (4) : 419-427.
- [23] 张毅敏,张永春,左玉辉.前置库技术在太湖流域面源污染控制中的应用探讨[J].环境污染与防治,2003,25(6):342-344.
- [24] 朱联锡,卢红,蒋文举.脉冲等离子法烟气脱硫[J].中国环境科学,1994,14(4):314-316.
- [25] 向晓东,陈旺生,刘新敏.长芒刺电除尘器性能研究[J].环境科学与技术,1999,(1):4-7.
- [26] 张永春.前置库-控制水库富营养化的生态学途径综述[J].水资源保护,1989,(4):28,52-58.

(上接第 295 页)

(3) 植被与径流的关系主要反应在林分郁闭度和植被覆盖度上。在其他条件一定情况下,林分郁闭度与径流量成线性关系,植被覆盖度与径流量成负相关关系。

(4) 在黄土丘陵区,不同治理措施产生的地表径流量有很大差别,径流量大小依次为:标准小区>顺垄耕作>横垄耕作>荒坡>梯田。其中在 5 和 10 坡面,梯田的径流量为零。

(5) 通过实验初步认识到:在黄土丘陵区的临界坡度以上地区应严禁坡度开荒,并须增加植被覆盖度,提倡等高耕作,修建梯田,营造水土保持林,同时在水分条件许可时,营造水土保持林初植密度可适当加大,以促进林分尽早郁闭,以后再适时间伐或移植,这样既可使其及时发挥林分水土保持作用,又对树木高生长有益。

参考文献:

- [1] 于文忠.水文学原理[M].北京:水利电力出版社,1980.
- [2] 清华大学水力教研组.水力学[M].北京:人民教育出版社,1980.
- [3] 张增哲,余新晓.中国森林水文研究现状和主要成果综述[A].全国森林水文学术讨论会文集[C].北京:测绘出版社,1989.1-925.
- [4] 马雪华.亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[J].林业科学,1993,(3):199-206.
- [5] 日野辩雄.明解水理学[M].东京:丸善株式会社,198.3.
- [6] R P C Morgan. Soil Erosion[M]. New York: Longman Inc., 1997.
- [7] 李宪浩,芝野博文.リタ-层中な流下する雨水の理水特性[J].日林誌,1990.85-89.
- [8] 张洪江,北原曜,远藤泰造.几种林木枯落物对糙率系数 n 值的影响[J].水土保持学报,1994,8(12):4-10.
- [9] 张洪江,解明曙,杨柳春,等.长江三峡花岗岩区坡面糙率系数研究[J].水土保持学报,1994,8(3):33-38.
- [10] 张万儒,许本彤.森林土壤定位研究方法[M].北京:中国林业出版社,1986.30-36.
- [11] 杨海龙,朱金兆,毕利东.三峡库区森林流域生态系统土壤渗透性能的研究[J].水土保持学报,2003,17(3):63-66.
- [12] 吴长文,王礼先.林地土壤的入渗及其模拟分析[J].水土保持研究,1995,2(3):71-75.