

吴起县土地利用变化及其生态服务价值研究^{*}

吕明权¹, 王延平¹, 王继军^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:退耕还林工程实施以来,吴起县土地利用、生态环境都发生了明显的改善,生态服务价值也发生了较大的变化。运用 Costanza 提出的生态服务价值计算方法估算生态服务价值,结果表明:1990 - 2007 年,土地利用结构不断优化,耕地、草地面积逐步减少,园地、林地面积逐步增加。1990 年吴起县生态服务价值为 16.41 亿元,2001 年为 24.97 亿元,2007 年为 28.19 亿元。在生态服务功能价值构成中除了食物生产和废物处理功能外,其它生态服务功能都在增加。

关键词:土地利用;生态服务价值;退耕还林工程;吴起县

中图分类号:F301.24; X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)01-0144-05

Impacts of Land Use Changes on Ecosystem Services Value in Wuqi County

L Ü Ming-quan¹, WANG Yan-ping¹, WANG Ji-jun^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Nowadays land use and land cover has dramatically changed, ecological environmental has apparently improved and ecosystem services value has changed in Wuqi county since grain for green project has been implemented. The paper caculated the ecosystem services value (ESV) in 1990, 2001 and 2005 of Wuqi county based on the Constanza's ecosystem service value theory. Results show that continuous optimization of land use structure, a constant decline of grainland and grassland, a sharp increase of woodland and orchardland. The ecosystem services value in Wuqi county was 1 641 million yuan in 1990, 2 497 million yuan in 2000 and 2 819 million yuan in 2007 respectively. In terms of various single ecosystem functions value, other ecosystem services function values have risen except for food production and waste treatment.

Key words: land use change; ecosystem services value; grain for green project; Wuqi county

20 世纪 70 年代初,生态系统服务的科学概念得以提出^[1],随后得到了相关学者的关注,在生态系统服务功能的研究方面也取得一系列的进展,Daily 主编的专著中比较系统地介绍了生态系统服务功能^[2],Costanza 等则对全球生态系统服务功能进行了划分和评估^[3]。继 Costanza 等对全球生态系统服务价值评估之后,我国许多学者根据研究区域的生态系统特点和实际情况,对评估方法和参数进行了改进,并对不同类型的生态系统和不同尺度的生态系统服务价值进行了评估^[4-8]。

近年来,随着退耕还林还草力度的加大,人们关于退耕还林还草的效益评价研究越来越多,并取得了一定成果。焦峰等对黄土高原退耕还林还草的生态和社会效应给出了定性的分析^[9],杨光等分析了退耕还林还草工程对植被恢复的影响进行了研究^[10]。在研究方法上,综合运用资源经济学、生态经济学的理论,应用等效益替代法、机会成本法、影子工程法等方法探讨了退耕还林后所产生的生态经济效益^[10-12],也有学者运用了生态系统服务价值研究方法对退耕还林还草的生态效应进行了评

^{*} 收稿日期:2009-05-15

基金项目:国家自然科学基金(40771082);“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09B10);中国科学院西部行动计划(二期)项目(KZCX2 - XB2 - 05 - 01 - 03)

作者简介:吕明权(1987 -),男,硕士研究生,研究方向:土地资源利用与管理。E-mail:mqv2009@126.com

通信作者:王继军(1965 -),男,研究员,研究方向:生态经济。E-mail:jjwang@ms.iswc.ac.cn

价^[13-14]。退耕还林工程实施以后,退耕区的土地利用、生态环境都发生了明显的改善,但在黄土丘陵区土地利用变化引起的生态服务价值变化的研究相对较少。因此本文选取退耕还林第一县——吴起县为研究对象,对其土地利用变化的过程进行分析,并估算吴起县的生态服务价值。

1 研究区概况与数据来源

吴起县位于陕西省延安市的西北部,地处东经 107°38′57″ - 108°32′49″,北纬 36°33′33″ - 37°24′27″,面积 3 791.5 km²。属黄土高原梁状丘陵沟壑区,毛乌素沙地南缘的农牧过渡地带,地貌以梁峁沟壑为主,水土流失严重,曾是黄河中上游水土流失最为严重的地区之一,海拔 1 233 ~ 1 809 m。

1998 年 5 月吴起县率先启动了退耕还林还草工程,实现了全县整体封山禁牧;1999 年一次性退耕 10.37 万 hm²,目前累计完成造林面积 15.42 万 hm²,成林面积达到 7.1 万 hm²,全县林灌覆盖率由

重点林业工程启动前的 19.2 % 增加到 2005 年 38.1 %,土壤侵蚀模数由 1.53 万 t/(a · km²) 下降到 0.54 万 t/(a · km²)。在研究过程中,主要运用吴起县 1985 年、1990 年、2001 年和 2007 年的土地利用调查数据。

2 土地利用变化分析

2.1 土地利用类型数量变化分析

吴起县 1985 - 2007 年土地利用总体变化是:园地和林地分别增加了 51 099.8 hm² 和 148 337.74 hm²;园地在 1985 - 1990 年、2001 - 2007 年减小微弱,而在 1990 - 2001 年期间增加了 51 634.6 hm²;林地一直保持增加趋势,其中 1990 - 2001 年增加了 96 862.1 hm²,占增加量的 65.3 %。耕地、牧草地、建设用地和未利用地均减少,其中减少最多的是耕地和草地,减少了 79.3 % 和 42.7 %,建设用地和未利用土地分别减少了 2 586.33 hm² 和 15 672.77 hm²,耕地的减少集中在 1990 - 2001 年(表 1)。

表 1 1985 - 2007 年吴起县土地利用类型面积变化

土地利 用类型	土地利用面积/ hm ²				净增减面积/ hm ²			
	1985 年	1990 年	2001 年	2007 年	1985 - 1990	1990 - 2001	2001 - 2007	1985 - 2007
耕地	109413.20	124296.3	22612.6	20091.2	14883.07	- 101683.67	- 2521.40	- 86800.60
园 地	5968.40	5459.2	57093.8	57068.2	- 509.20	51634.60	- 25.60	51099.80
林 地	26124.53	33241.0	130103.1	174462.3	7116.47	96862.10	44359.17	148337.74
牧草地	204586.07	205460.8	159173.2	117177.3	874.73	- 46287.60	- 41995.93	- 87408.80
建设用地	8904.33	4589.2	5785.47	6318.0	- 4315.13	1196.27	532.53	- 2586.33
未利用地	19731.67	6099.5	4407.6	4058.9	- 13632.20	- 1691.87	- 348.70	- 15672.77

2.2 土地利用变化速度

单一类型的土地利用动态指数是研究区域在一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况的一种方法,通常用年变化率来表征,其表达式为^[15]:

$$Lc = \frac{U_a - U_b}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100 \% \quad (1)$$

式中:Lc——研究时段某一土地利用类型动态指数;U_a和 U_b——分别表示研究初期和末期某类型土地的数量;T——研究时段。

根据公式(1)可以计算出吴起县各土地利用类型在不同时期的动态指数(表 2),可以看出,1985 - 2007 年变化最明显的就是园地和林地,其动态指数分别是 39.0 % 和 25.8 %,其中 1990 - 2001 年达到了 89.0 %,26.5 %。耕地、牧草地、建设用地和未利用土地的态度都相对较小,且均为负值,分别是 - 3.71 %, - 1.93 %, - 1.32 % 和 - 3.61 %。各土地利用类型变化速率依次为园地 > 林地 > 耕地 > 未利用土地 > 牧草地 > 建设用地。

表 2 1985 - 2007 年吴起县不同土地利用类型年变化率

时间段	耕地	园地	林地	牧草 地	建设 用地	未利 用地
1985 - 1990	2.72	- 1.7	5.45	0.15	- 9.7	- 0.30
1990 - 2001	- 7.44	86	26.5	- 2.05	2.37	- 2.52
2001 - 2007	- 1.86	0	5.68	- 4.4	1.53	- 1.32
1985 - 2007	- 3.71	39	25.8	- 1.93	- 1.32	- 3.61

2.3 土地利用结构变化

从图 14 可以看出,吴起县耕地、园地和林地的变化尤其明显,耕地从 1990 年的 32.8 % 急剧下降为 2007 年的 5.3 %。园地在 1985 年和 1990 年占总土地面积的比例不大,分别为 1.6 %,2.4 %。林地在 1985 年和 1990 年占全县土地面积的比例为 6.9 % 和 8.8 %,而后两年所占比例急剧上升为 34.3 % 和 46.02 %。草地面积也由 1985 年的 53.8 % 变为 2007 年的 30.9 %。建设用地和未利用土地类型都基本呈逐年减少趋势。

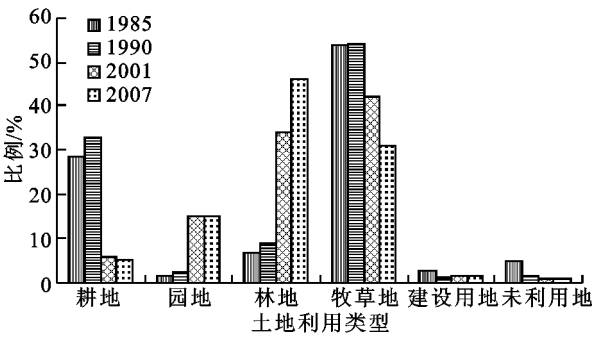


图 1 1985 - 2007 年吴起县土地利用结构变化

3 土地利用变化的生态服务价值

1997 年 Constanza 等^[3]人的研究成果使生态系统服务价值评估的原理与方法从科学意义上得以明确,将生态系统服务研究推向生态经济学研究的前沿。本文基于 Costanza 提出的生态系统服务价值理论,结合谢高地等提出的生态服务价值系数计算方法,估算了吴起县生态系统服务价值的变化,其估算公式为

$$ESV = \sum_{i=1}^n L U_i \times V C_i \tag{2}$$

式中: ESV ——生态系统服务价值(元); $L U_i$ ——吴起县第 i 种土地利用类型的面积; $V C_i$ ——第 i 种土地类型的单位面积生态系统服务价值(元/ hm^2); $i = 1, 2, \dots, 6$, 是土地利用类型。

为验证生态服务价值系数的准确性,引入生态系统价值敏感性指数(the coefficient of sensitivity, CS ^[17-18,20]),以反映生态系统服务价值对生态服务价值系数的依赖程度。文中将各土地覆盖类型的生态价值系数分别调整 50 %^[17-18,20],来衡量总生态系统服务价值的变化情况。 $CS < 1$ 表明生态系统服务价值缺乏弹性,即 1 % 的自变量变动会引起因变量小于 1 % 的变动; $CS > 1$ 表明生态系统服务价值是有弹性的,即 1 % 的自变量变动引起因变量大于 1 % 的变动, CS 越大也说明生态系统价值系数的准确性对生态系统服务价值评估越重要。敏感性指数(CS)

的计算公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \tag{3}$$

式中: ESV ——估算的总生态系统服务价值; VC ——生态价值系数; i 和 j ——初始总价值和生态价值系数调整以后的总价值; k ——各土地利用类型。

3.1 生态系统服务价值系数(VC)确定

吴起县单位面积生态系统服务价值的确定可以根据谢高地等人的研究成果。谢高地等把生态服务功能分为 9 类,并对我国 200 位生态学者进行问卷调查,总结出“中国生态系统服务价值当量因子表”。生态服务价值当量因子^[6]是指生态系统产生的生态服务的相对贡献大小的潜在能力,其中 1 个当量因子的经济价值等于该区域 1 hm^2 农田的平均产量的市场价值的 1/7。

以吴起县近几年的平均粮食产量 2 730 kg/hm^2 ,粮食单价按吴起县 2007 年各粮食的平均市场价格(1.4 元/ kg),最终可以确定 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量 546 元。谢高地等也提供了 1 个全国平均生态服务价值当量因子的经济价值 884.9 元^[6],但是生态系统的生态服务功能大小与该生态系统的生物量有密切关系。一般来说,生物量越大,生态服务功能越强^[6]。陕西省农田生态系统生物量因子为 0.51^[19],对森林、草地也用这个生物量因子也进行校正,最后得出吴起县 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量为 451.30 元。综合以上两种方法得出吴起县 1 个当量因子的平均经济价值为 498.65 元。

根据已有研究^[20]和吴起县的具体情况,把每种土地利用类型与最接近的生态系统类型联系起来,其中耕地与农田对应,林地与森林对应,园地取森林和草地的平均值,未利用地取难利用地对应的值,建设用地取值为 0。制定了吴起县土地利用方式的生态服务价值当量因子表(表 3)。

表 3 吴起县不同土地单位面积年度生态服务价值 元

项目	林地	牧草地	耕地	园地	未利用土地
气体调节	1745.28	398.92	293.33	1071.50	0
气候调节	1346.36	448.79	443.80	897.58	0
水源涵养	1595.68	398.92	299.09	997.30	14.97
土壤形成与保护	1944.74	972.37	728.03	1458.56	9.98
废物处理	653.23	653.23	817.79	653.23	4.99
生物多样性保护	1625.60	543.53	852.69	1084.57	169.54
食物生产	49.87	149.60	498.65	99.74	4.99
原材料	1296.49	24.93	49.87	660.71	0
娱乐文化	638.27	19.95	4.99	329.11	4.99
合计	10895.50	3610.23	3988.04	7252.87	209.43

3.2 生态服务价值

由公式(2)得出不同土地类型在不同年份的生态系统服务价值(表 4)。可以看出生态服务价值变化最大的两种土地类型是林地和园地,1990 - 2007 年间分别以 25.0 %和 55.62 %速度增加。2001 年林地的生态服务价值占吴起县总服务价值的 56.7 %,而到 2007 年所占比例提高到 67.44 %。园地的生态服务价值也从最初的 3 959 万元增加到

41 391 万元,平均每年分别增加 2 202 万元。生态服务价值减少的土地利用类型有草地、耕地和未利用土地,在这三种土地利用类型中耕地的服务价值变化最为显著,从 1990 年的 49 572 万元减少到了 2007 年的 8 012 万元。吴起县总的生态服务价值 1990 - 2007 年间从 164 053 万元增加到 2007 年的 281 877 万元,增加了 71.8 %,年均增加 4.22 %。

表 4 吴起县 1990 - 2007 年生态系统服务价值及其变化

土地类型	ESV/(10 ⁶ 元·a ⁻¹)			1990 - 2001 年		2001 - 2007 年		1990 - 2007 年	
	1990 年	2001 年	2007 年	ESV 变化/ 10 ⁶ 元	年变化 率/%	ESV 变化/ 10 ⁶ 元	年变化 率/%	ESV 变化/ 10 ⁶ 元	年变化 率/%
耕地	495.72	90.18	80.12	- 405.54	- 7.44	- 10.06	- 1.86	- 415.60	- 4.93
园 地	39.59	414.09	413.91	374.50	86.00	- 0.18	0	374.32	55.62
林 地	362.18	1417.59	1900.85	1055.41	26.49	483.26	5.68	1538.67	25.00
草 地	741.76	574.65	423.04	- 167.11	- 2.05	- 151.61	- 4.40	- 318.72	- 2.53
建设用地	0	0	0	0	0	0	0	0	0
未利用土地	1.28	0.92	0.85	- 0.36	2.56	- 0.07	- 1.27	- 0.43	- 2
合 计	1640.53	2497.43	2818.77	856.90	4.75	321.34	2.14	1178.24	4.22

1990 - 2007 年吴起县生态系统单项服务功能价值变化的总体趋势由表 5 可以看出:气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、生物多样性保护、原材料、娱乐文化都有明显的增加,废物处理和食物生产呈减少的趋势,食物生产由原来的 9 495 万元减少到 4 196 万元,废物处理功能产生的价值有微弱的减少,从 26 165 万元减少到 24 424 万元。这两项服务功能产生价值的减少主要是因为耕地大量减少造成的。按照 1990 年吴起县各服务价值大

小排序依次为:土壤形成与保护 > 生物多样性保护 > 废物处理 > 气候调节 > 气体调节 > 水源涵养 > 食物生产 > 原材料 > 娱乐文化。而 2007 年演变为土壤形成与保护 > 生物多样性保护 > 气体调节 > 水源涵养 > 气候调节 > 原材料 > 废物处理 > 娱乐文化 > 食物生产。土壤形成与保护功能所占比例最大,均在 20 %左右,其服务价值也从 36 294 万元,增加到 55 113 万元,这对于土壤流失严重的吴起县具有特殊的意义。

表 5 吴起县 1990 - 2007 年各项生态服务价值

生态服务类型	1990 年		2001 年		2007 年		总趋势
	ESV/ (10 ⁶ 元·a ⁻¹)	所占 比例/%	ESV/ (10 ⁶ 元·a ⁻¹)	所占 比例/%	ESV/ (10 ⁶ 元·a ⁻¹)	所占 比例/%	
气体调节	182.29	11.11	358.37	14.35	418.27	14.84	上升
气候调节	197.03	12.01	307.88	12.33	347.62	12.33	上升
水源涵养	177.72	10.83	334.87	13.41	388.11	13.77	上升
土壤形成与保护	362.94	22.12	507.57	20.32	551.13	19.55	上升
废物处理	261.17	15.92	244.77	9.80	244.24	8.66	下降
生物多样性保护	278.65	16.99	379.96	15.21	427.01	15.15	上升
食物生产	94.95	5.70	47.29	1.89	41.96	1.49	下降
原材料	58.02	3.54	211.5	8.47	267.82	9.50	上升
娱乐文化	27.76	1.69	105.14	4.22	132.59	4.71	上升
合 计	1640.53	100.00	2497.35	100.00	2818.75	100.00	-

3.3 敏感性分析

根据公式(3)给出的敏感性计算方法,为了计算简便,将林地、牧草地、耕地、园地、未利用地的生态价值系数分别上下调整 50 %^[17-18,20],应用调整后的

生态价值系数对研究区 1990 年、2001 年和 2007 年总服务价值进行了估算,最终得到研究区域服务价值在不同年份之间的变化情况和敏感性指数,具体结果见表 6。

表 6 价值系数调整后吴起县总服务价值的百分比变化和价值系数的敏感性指数

调整后的生态价值系数	1990 年		2001 年		2007 年	
	百分比/ %	CS	百分比/ %	CS	百分比/ %	CS
林地 VC+ 50 %	11.04	0.22	28.38	0.57	33.72	0.67
林地 VC- 50 %	- 11.04	-	- 28.38	-	- 33.72	-
牧草地 VC+ 50 %	22.61	0.45	11.51	0.23	7.50	0.15
牧草地 VC- 50 %	- 22.61	-	- 11.51	-	- 7.50	-
耕地 VC+ 50 %	15.11	0.30	1.81	0.04	1.42	0.03
耕地 VC- 50 %	- 15.11	-	- 1.81	-	- 1.42	-
园地 VC+ 50 %	1.21	0.02	8.29	0.17	7.34	0.15
园地 VC- 50 %	- 1.21	-	- 8.29	-	- 7.34	-
未利用土地 VC+ 50 %	0.04	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
未利用土地 VC- 50 %	- 0.04	-	- 0.02	-	- 0.02	-

可以看出,敏感性指数 *CS* 都小于 1,未利用土地的敏感性指数最低为 0,这表明即当未利用土地的生态服务价值系数上下调整 50 %时对吴起县的生态服务价值几乎没有影响,林地、牧草地、耕地、园地的敏感性指数的变化幅度都较大。林地的敏感性指数从 1990 年的 0.22 增加到了 2007 年的 0.67,即在 1990 年时林地的生态价值系数增加 1 %时,研究区域的总生态价值增加 0.22 %,而到了 2007 年研究区的总生态价值就会增加 0.67 %,表明林地的生态价值系数的准确性对研究区域生态价值的估算尤为重要。园地的敏感性指数也从 1990 年的 0.02 增加到 2007 年的 0.15。相反,耕地和牧草地的敏感性指数都呈现减少的趋势,耕地从 1990 年的 0.30 减少到 2007 年的 0.03,牧草地从 1990 年的 0.45 减少到 2007 年的 0.15。

4 结论与讨论

(1) 1985 - 2007 年吴起县的耕地减少了 79.33 %,牧草地和未利用土地分别减少了 42.73 %和 79.43 %,林地和园地分别增加了 567.81 %和 856.17 %。用单一土地利用动态度计算出的吴起县各土地类型的变化速度表明,园地、林地增加最快分别达 39 %和 25.8 %,耕地减少最快为 - 3.71 %。退耕还林前后时期的土地利用结构相差也很大。

(2) 吴起县的生态服务价值在 1990 年为 $1\,640.53 \times 10^6$ 元,在 2001 年为 $2\,497.43 \times 10^6$ 元,而到了 2007 年就增加了 $2\,818.77 \times 10^6$ 元,增幅达 71.82 %。其中林地、园地服务价值增加明显,而耕地的服务价值发生了剧烈的减少。

(3) 在各项服务功能中,除了食物生产和废物处理功能,其它生态服务功能价值都在增加。1990 - 2007 年,各项服务功能产生的价值结构组成有一定

的变化。

(4) 敏感性分析结果表明,不同研究时期 *ESV* 对生态服务功能价值指数的敏感性指数波动较大,但均小于 1,这表明研究区内 *ESV* 对生态服务功能价值指数是缺乏弹性的,研究结果是可信的。

(5) 本文用的计算生态服务价值的方法直观简洁,但也存在很大的局限性,使估算结果准确性受到质疑。本文采用的生态系统服务价值系数是为不同的土地利用类型赋予的一套系数,但是每一种土地利用类型都包含几种相关的生态系统,如林地就是由不同植被群落,不同物种多样性、物种均匀度和物种丰富度构成的,而统一的给林地赋予相同的生态系统服务价值系数,使结果的可信度下降。如果能为细分后的土地利用类型赋予生态服务价值系数,这样会使估算结果离真实值更进一步,这也需要更进一步的研究。

参考文献:

[1] Holder J, Ehrlich P R. Human population and global environment[J]. American Scientist, 1974, 62:282-297.

[2] Daily G. Nature 's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington D C: Island Press, 1997.

[3] Costanza R. The value of the world 's ecosystems services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

[4] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 17-22.

[5] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源报, 2001, 16(1): 47-53.

[6] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产价值评估研究[J]. 自然资源学报, 2002, 18(2): 189-196.

[7] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.

室内模拟降雨虽然具有容易控制、操作方便等诸多优点,但野外模拟降雨却更能接近真实情况,所以也更具有说服力。

(2) 本试验 4 场模拟降雨的率定时间为 5~6 min,雨滴均匀度系数均达到 0.8 以上,模拟降雨时间为 40~60 min,雨滴均匀度系数均达到 0.9 以上,这与降雨时排除了刮风等不利因素的影响有关,野外试验受外界因素的影响较大。另外,在无风或少风的良好试验条件下,降雨持续时间越长,则雨滴降落的均匀度系数越高。试想,在风雨交加的自然状态下,由于降雨范围大,刮风使得一片雨滴偏离了它们原定的降落区域,但又会带来另一片雨滴补充到这块区域,而小范围的模拟降雨,只有在排除了刮风等不利因素影响后得出的结果,才能减小误差,从而更接近自然状态。

(3) 通过模拟降雨试验结果分析发现,在水热状况、土壤、小地形、植被状况等条件都较一致的前提下,梯地的水土保持效果要明显优于坡地,坡地的水沙流失过程更为复杂。而在水热状况、土壤、小地形等条件较一致的前提下,林地在拦蓄径流、降低土壤可蚀性、增加入渗方面要明显优于农地。同时植被盖度、物种多样性等指标对地表产流产沙过程变化也有较大影响,具体影响程度还有待于进一步研究。

(4) 本文中各径流小区累计产流产沙过程相关方程,是在同等暴雨雨强条件下通过较短历时、较小范围内的模拟降雨试验数据得出的,虽然在一定程度上揭示了研究区黄壤坡面地表产流产沙过程规律,但是研究还不够透彻。水土流失包括水的损失

和土壤侵蚀两部分。此外,由于径流和土壤侵蚀中携带着大量的养分流失,因此具体来讲应包含土壤侵蚀、径流流失和养分流失三部分^[7-8]。本试验由于受野外条件的诸多限制,并未涉及养分流失方面的特征分析,希望在以后不断改进试验条件的同时更多地涉足其中,使试验数据更具说服力与实用性,更全面地研究长江中游低丘黄壤区的坡面水土流失规律。

参考文献:

- [1] 袁爱萍. 美国人工降雨模拟设备的引进与应用[J]. 北京水利, 2004(6): 36-37.
- [2] 范荣生, 李占斌. 用于降雨侵蚀的人工模拟降雨装置实验研究[J]. 水土保持学报, 1991 5(2): 38-45.
- [3] 王洁, 胡少伟, 周跃. 人工模拟降雨装置在水土保持方面的应用[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 188-190, 194.
- [4] Schmitt T J, Dosskey M G, Hoagland K D. Filter strip performance and processes for different vegetation, widths, and contaminants[J]. Environ Qual., 1999, 28: 1479-1489.
- [5] Harmel R D, Richchardson C W, King K W, et al. Runoff and soil loss relationships for the Texas Blackland Prairies ecoregion[J]. Journal of Hydrology, 2006, 331(3/4): 471-483.
- [6] 傅涛. 坡耕地土壤侵蚀研究进展[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 125-128.
- [7] 王汉存. 水土保持原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [8] 解明曙, 庞薇. 关于中国土壤侵蚀类型与侵蚀类型区的划分[J]. 中国水土保持, 1993(5): 8-10.
- [9] 申强, 姜志德, 王继军. 吴起县不同退耕阶段农地资源生态服务价值评估分析[J]. 陕西师范大学学报, 2009, 37(1): 98-102.
- [10] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
- [11] 吴旗县土地资源管理局土地资源调查办公室. 陕西省吴旗县土地资源[M]. 1990, 79-80.
- [12] 王宗明, 张柏, 张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 56-61.
- [13] Kreuter U, Harris H, Matlock M, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001, 39: 333-346.
- [14] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10-13.
- [15] 李文楷, 李天宏, 钱征寒. 深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 440-446.
- [16] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究[J]. 应用生态学报, 1999, 15(8): 1395-1402.
- [17] 焦峰, 温仲明, 李锐. 黄土高原退耕还林(草)环境效应分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 26-29.
- [18] 杨光, 丁国栋, 孙保平, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕还林工程对植被恢复影响的研究: 以陕西吴旗县为例[J]. 水土保持研究, 2005, 26(2): 76-78.
- [19] 赖亚飞, 朱清科, 张宇清, 等. 吴旗县退耕还林生态效益价值评估[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 83-87.
- [20] 秦伟, 朱清科, 赖亚飞. 退耕还林工程生态价值评估与检验: 以陕西吴起县为例[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(5): 62-65.
- [21] 贾晓娟, 常庆瑞, 薛阿亮, 等. 黄土高原丘陵沟壑区退耕还林生态效应评价[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 182-185.