

# 土地覆被变化对流域非点源污染的影响研究 ——以黑河流域为例<sup>\*</sup>

胥彦玲<sup>1</sup>, 王苏舰<sup>1</sup>, 李怀恩<sup>2</sup>

(1. 北京市科学技术情报研究所, 北京 100120; 2. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710048)

**摘 要:**以黑河流域为例,在探讨 SWAT 模型在陕西黑河流域适用性的基础上,通过对不同土地利用情境下产生的非点源污染进行定量分析与对比研究,结果表明:①土地利用/覆被变化会对流域非点源污染产生极大的影响。林地具有较强的减水、减沙效应,从而极大地削减了流域非点源污染的产生。②加强土地管理,促进土地的合理利用,特别是 15° 以上坡耕地的合理利用,将是有效控制流域非点源污染,保护流域水质的有效措施。③未来黑河流域土地利用最佳状况是:响应国家水源保护政策,流域人口逐渐搬离,15° 以上的坡地全部还林,在满足饮用水水质标准的情况下,允许 15° 以下坡度中有少量适宜农耕的耕地,无未利用地,且植被覆盖较好。此时,流域氮的年总负荷为 13.25 kg,磷的年总负荷为 3.29 kg,对流域水质不会造成污染。

**关键词:**非点源污染;土地利用变化;陕西黑河流域

中图分类号:X522

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0250-04

## Influence of Land Coverage Change on Non-point Source Pollution ——Taking Shaanxi Heihe River Watershed as an Example

XU Yan-ling<sup>1</sup>, WANG Su-jian<sup>1</sup>, LI Hua-en<sup>2</sup>

(1. Beijing Municipal Institute of Science and Technology Information, Beijing 100120, China; 2. Key Laboratory of Northwest-Water Resources, Environment and Ecology, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Taking Shaanxi Heihe River Watershed as an example, based on the applicability analysis of SWAT model in Shaanxi Heihe River Basin, this article discussed the non-point source pollution of different landuse situations by quantitative analysis and comparative studies. The results shows: ① Land-use/coverage changes have a tremendous impact to watershed non-point source pollution. Woodland has a strong reduction in water and sediment, which reduce non-point source pollution of watershed greatly. ② To strengthen land management, promoting the rational use of land, especially the land above 15° slope, is the effective measure of watershed non-point source pollution control and water quality protect. ③ The best landuse management mode are as follows: all sloping field above 15° will be completely returned to forest. The land of suitable for farming below 15° is allowed to exist. Unused land is not existent. At this scene, the annual total nitrogen load is 13.25 kg, and the annual total phosphorus load is 3.29 kg, which will not lead pollution to the river water quality.

**Key words:** non-point source pollution; land use/coverage change; Heihe river basin in Shaanxi Province

土地利用是人与土地相互作用下由不同的利用方式和利用强度组成的动态系统<sup>[1]</sup>,反映了人类与自然界相互影响与交互作用最直接和最密切的关系。土地利用以及由此导致的土地覆盖的变化通过

影响流域气候、水文、土壤养分迁移以及土壤侵蚀的产生,从而通过非点源污染途径对流域水环境产生了不同程度的影响。在我国,继点源污染后,来自农业非点源污染已成为最重要的环境污染源,几乎所

\* 收稿日期: 2009-12-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(90610030)

作者简介: 胥彦玲(1977-),女,陕西汉中,人,助理研究员,主要从事环境政策及环境科学方面的研究。E-mail: yanling7722@126.com

有非点源污染源都和土地利用/ 土地覆盖变化紧密联系。深入认识和研究土地利用/ 土地覆盖变化对流域水环境的影响过程, 对维持流域生态平衡, 采取合理的土地管理方式, 保护水源具有重要意义。

以黑河流域为例, 在探讨 SWAT 模型( 美国农业管理模型) 在陕西黑河流域适用性<sup>[2]</sup> 的基础上, 通过对不同土地利用情境下产生的非点源污染进行分析, 最后阐述土地利用变化对流域非点源污染的影响。

1 流域概况

陕西黑河为渭河右岸的较大支流, 位于东经 107°43′ - 108°24′, 北纬 33°42′ - 34°13′, 属黄河二级支流, 发源于秦岭太白山北麓之茫谷, 由西南流向东北, 至周至县马召镇附近的武家庄出峪后由东北的石马村入渭河。黑河流域黑峪口以上流域面积( 研究区) 1 481 km<sup>2</sup>, 包括 8 个行政乡 4 个行政村。该区属温暖带半干旱、半湿润大陆性季风气候区, 四季分明, 冬夏温差大, 多年平均气温 13. 2℃。受地形地貌、大气环流、太阳辐射等综合因素的制约, 该区降水、蒸发等气象因素在时空分布上有差异。流域径流主要由降雨形成, 径流年季变化较大, 年内分配亦不均匀。区内地貌类型大体可分为: 低山陡坡型, 海拔 600~ 1 000 m; 中山陡坡型, 海拔 1 000~ 3 500 m; 高山陡坡型, 海拔 3 500 m 以上。从秦岭梁往北, 高度递减, 植被覆盖率亦成递减趋势。在中、深山区, 植被覆盖度低, 生态环境良好。该区域的土壤类型以褐土、棕壤、暗棕壤及高山草甸土为主。根据黑河流域 2000 年土地利用统计, 黑河流域以林业用地所占比例最高, 其次为未利用地, 再次是耕地。

2 土地利用 覆被情景设定

情景建立的依据是理论和实际。黑河流域主要的土地利用类型为耕地、林地、未利用地、居民及工矿用地 4 种, 由于黑河是整个引水工程的主要水源, 而且黑河水库存在着潜在富营养化危险。因此, 为了解土地覆被对流域水质的影响, 首先从理论上假设流域全部为森林覆被的情景。其次, 从实际情况出发, 根据目前当地的政策发展( 全面禁伐、水源涵养林保护工程等的实施), 假设土地利用逐渐改善, 25°以上的坡地全部还林, 以及在一个未来几年内达到的最佳的土地覆被状况时的情景。最佳土地覆被情景应该是, 流域范围内除了少数居民点、水域以外, 允许 15°坡度以下有少量的适宜农耕的耕地, 其余适合森林生长的土地都是森林植被, 不存在未利用地。最后, 考虑到未来土地管理不善, 假设土地

利用可能会恶化的情况。要模拟的 5 种情景如下:

情景 1: 黑河流域位于秦岭山区, 山高坡陡, 水源区耕地面积 3 484. 9 hm<sup>2</sup>, 占该区土地总面积的 2. 24%, 其中大于 15°的坡耕地高达 87. 71%, 假设未来响应国家水源保护政策, 将山区人口搬离, 全部退耕还林, 流域土地利用只有林地。

情景 2: 土地覆盖为最佳状态, 即在 2000 年土地利用现状的基础上, ≥15°的坡地全部还林, 15°以下的坡地中未利用地和工矿用地全部还林, 15°以下的耕地不变( 即林地占 97. 247%, 15°以下耕地面积 2. 753%)。

情景 3: 响应国家退耕还林政策以及水源保护政策, 在 2000 年土地利用现状的基础上, 逐渐将 > 25°的坡地全部还林, 25°以下的坡地不变。

情景 4: 为了与其它情景进行对比, 将情景 4 设置为 2000 年土地覆盖状况。

情景 5: 黑河流域环境现状调查表明, 其相邻流域红草河的土地利用情况比黑河流域差。考虑到与黑河流域的自然地理情况相似, 当地的生产方式和生活习惯基本相同, 如黑河流域得不到有效保护, 那么黑河流域将有可能变成红草河的情况, 因此, 情景 5 假设黑河流域土地利用情况恶化为红草河的状况<sup>[3]</sup>, 林地、耕地、未利用地、居民及工矿用地分别占 71. 009%, 11. 10%, 17. 136%, 0. 753%。

3 5 种土地利用情景模型的模拟结果与分析

3. 1 径流的模拟结果与分析

根据上述 5 个情景, 分别模拟黑河流域 1991- 2000 年共 10 a 的降雨径流关系, 全年径流总量的模拟结果见表 1<sup>[4-5]</sup>。

表 1 5 种情景下地表径流的模拟结果 mm					
年份	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5
1991	42. 15	44. 6	61. 58	111. 63	156. 18
1992	26. 56	28. 13	39. 61	70. 98	107. 46
1993	60. 14	62. 76	80. 14	126. 06	172. 54
1994	32. 05	33. 38	42. 39	73. 05	92. 93
1995	22. 92	23. 77	29. 36	28. 05	61. 33
1996	60. 22	62. 71	79. 21	111. 55	167. 01
1997	24. 50	25. 43	31. 85	34. 92	67. 16
1998	67. 62	69. 68	83. 37	186. 76	202. 34
1999	71. 01	73. 55	90. 64	125. 21	170. 05
2000	67. 81	70. 54	88. 46	133. 89	173. 69
多年平均	47. 498	49. 455	62. 66	100. 21	137. 07

从表 1 可以看出, 径流深的大小排序为情景 5 > 情景 4> 情景 3> 情景 2> 情景 1, 且情景 3、情景 4 和情景 5 的径流量变化幅度较大。由此表明:

(1) 随着流域林地面积的增加(即环境得到极大的确良改善), 流域径流深减少; (2) 由于流域地形坡度较大, 因此, 通过采取对 15° 以上坡地的还林措施(即有效治理), 会极大地削减地表径流深的产生。

3.2 泥沙的模拟结果与分析

通过对 5 种情景 1991– 2000 年 10 a 泥沙的模型模拟, 其结果见表 2。

表 2 5 种情景下泥沙的模拟结果						10 <sup>3</sup> t
年份	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5	
1991	24. 750	26. 660	43. 05	86. 023	96. 80	
1992	7. 056	7. 372	10. 16	15. 037	22. 12	
1993	21. 59	22. 43	28. 63	64. 374	69. 04	
1994	13. 08	13. 56	16. 71	20. 329	28. 61	
1995	5. 689	5. 874	7. 317	7. 941	12. 26	
1996	13. 09	13. 54	16. 78	21. 523	28. 49	
1997	6. 819	7. 014	8. 662	11. 160	15. 48	
1998	21. 63	22. 06	27. 96	37. 281	41. 67	
1999	19. 12	20. 76	25. 35	30. 243	40. 94	
2000	15. 88	16. 5	19. 97	28. 532	34. 63	
多年平均	14. 87	15. 57	20. 46	32. 244	39. 00	

表 2 可以看出产沙量的大小排序为情景 5> 情景 4> 情景 3> 情景 2> 情景 1。由此表明: 与地表径流深的特征相似, 随着森林植被的增加, 水土流失量减少, 从而使得流域产沙量也减少, 即森林具有极大的减沙效应。

3.3 水质模拟结果与分析

在径流与产沙分析的基础上, 通过对 5 种情景 1991– 2000 年 10 a 的水质运用 SWAT 2000 模型进行模拟, 其结果见表 3 和图 1。

分析表 3 和图 1 可以得出: (1) 当流域全部为林地时, 总氮的多年平均负荷量为 99 001 kg, 单位负荷为 0. 67 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 总磷的负荷量为 17 145 kg, 单位负荷为 0. 11 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 这与文献[ 3] 中的计算结果在同一数量级上, 且相差不大。

Sogzini<sup>[6]</sup> 等人对美国各类型土地的氮磷输出给定了一个范围, 美国的林地总磷输出为 0. 02~ 0. 67 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 而模型模拟值为 0. 11 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 美国林地总氮输出为 1~ 6. 3 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 模型输出为 0. 67 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 由于国情的不一致, 我国的数据和美国的情况有所差异, 但可以用他们的数据做一个参照<sup>[7]</sup>。考虑到该小流域山高坡陡, 土壤贫瘠、降雨量不大等特殊情况, 所以用上述数据对比, 基本可推断模型模拟值有效, 从而再一次验证了 SWAT 模型在该流域的适用性。 (2) 随着水源保护政策实施力度的不断加大, 植被覆盖度率增大, 极大地降低了流域的产水、产沙量, 从而使得溶解态氮磷、有机态氮磷均有减少, 对于溶解态氮磷以及有机态氮磷而言, 水质负荷的排序为情景 5> 情景 4> 情景 3> 情景 2> 情景 1。 (3) 从 1991– 2000 年 10 a 平均总氮、总磷负荷来看, 现状土地利用下(即情景 4)总氮与总磷的负荷量分别为 173. 334 t 和 38. 653 t, 与现状土地利用相比, 土地利用变化所导致的非点源污染的变化见表 4。 (4) 就情景 2 而言, 由于> 15° 的坡地退耕还林, 耕地只存在于 15° 以下的坡地内, 同一流域内, 空间变化不大, 因此可简单认为情景 2 中耕地和林地均存在于均一空间单元内, 结合情景 1 林地的单位负荷(氮的负荷为 0. 67 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 磷的单位负荷 0. 11 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 可计算出 15° 以下耕地的单位负荷, 氮为 8. 85 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 磷为 4. 2 kg/(hm<sup>2</sup> · a)。马立栅<sup>[7]</sup> 在太湖流域测定的旱地总氮输出数据为 13. 27 kg/(hm<sup>2</sup> · a), 旱地的总磷, Sogzogni 的数据是 0. 2~ 4. 6 kg/(hm<sup>2</sup> · a)<sup>[6]</sup>, 由于本研究流域位于西北地区秦岭深山区, 土壤贫瘠, 因此, 与文献[ 6] 和[ 8] 中旱地值对比, 可认为计算结果有效, 从而为土地利用优化模型提供了计算参数值。

表 3 5 种土地利用情景下水质的模拟结果										kg/a
年份	情景 1		情景 2		情景 3		情景 4		情景 5	
	总氮	总磷	总氮	总磷	总氮	总磷	总氮	总磷	总氮	总磷
1991	100113	35547	107473	53103	126952	73261	176767	94041	244511	116337
1992	71008	12326	84194	17896	95848	24326	129776	31424	189487	46244
1993	133074	22198	158092	30628	172149	38240	244313	73243	248420	81589
1994	57225	16816	62048	18588	73582	20987	90477	33457	110660	38019
1995	48912	6914	53037	7038	59141	8845	71156	12088	148202	16242
1996	94037	18657	97555	21966	117886	18033	138694	24197	202460	38649
1997	58435	7445	63399	7838	67173	9731	75709	12956	138807	18174
1998	157108	15842	161372	16564	190160	20199	375750	37900	406919	35775
1999	170337	20807	175752	21658	212861	27118	266015	36189	355408	44890
2000	99758	14899	106057	15618	128654	19942	164687	31037	209534	36754
平均	99001	17145	106898	21090	124441	26068	173334	38653	225441	47267

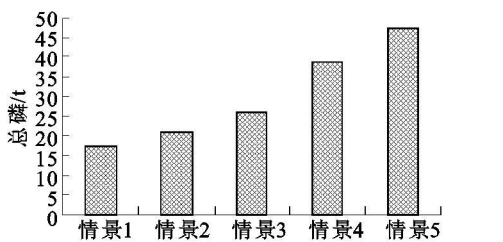
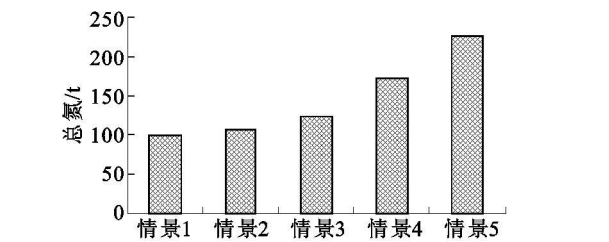


图 1 不同土地利用情景对水环境中氮、磷的影响

表 4 土地利用变化导致的非点源污染的变化

情景	总氮/kg	总磷/kg
情景 1- 情景 4	- 74333	- 21508
情景 2- 情景 4	- 66436	- 17563
情景 3- 情景 4	- 48893	- 12585
情景 5- 情景 4	52107	8614

表 4 可看出: 从氮/磷污染的控制效益来看, 情景 1> 情景 2> 情景 3, 而情景 5 则对水环境具有恶化的作用。由此表明, 随着对植被的破坏, 即土地恶化, 会导致流域非点源污染的急剧增加; 反之, 随着全面禁伐、水源涵养林保护工程等的实施, 流域水环境会得到极大的改善, 特别是对 15° 以上坡耕地的有效治理后。

4 结 论

- (1) 土地利用、覆被变化会对流域非点源污染产生极大的影响。林地具有较强的减水、减沙效应, 从而极大地削减了流域非点源污染的产生。
- (2) 加强土地管理, 促进土地的合理利用, 特别是 15° 以上坡耕地的合理利用, 将是有效控制流域非点源污染, 保护流域水质的有效措施。
- (3) 理论联系实际, 为了有效改善流域水环境, 控制非点源污染, 未来黑河流域土地利用最佳状况是: 响应国家水源保护政策, 流域人口逐渐搬离, 15° 以上的坡地全部还林, 在满足饮用水水质标准情况下, 允许 15° 以下坡度中有少量适宜农耕的耕地, 无

未利用地, 且植被覆盖较好。此时, 流域氮的年总负荷为 13. 25 kg, 磷的年总负荷为 3. 29 kg, 对流域水质不会造成污染。

参考文献:

[1] 郝芳华, 陈利群, 刘昌明, 等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18( 3) : 6-8.

[2] 胥彦玲, 秦耀民, 李怀恩, 等. SWAT 模型在陕西黑河流域非点源污染模拟中的应用[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 114-117.

[3] 《黑河引水工程水源保护研究》课题组. 黑河引水工程水资源保护研究技术总报告[R]. 西安: 陕西省环境科学研究设计院、西安理工大学, 1998.

[4] 于兴修, 杨桂山, 梁涛. 西苕溪流域土地利用对氮素径流流失过程的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21( 5) : 424-427.

[5] Jeffs W C, Konrad D M, Konrad J C, et al. Pollution from land runoff[J]. J. Environment Science & Technology, 1980, 14( 2) : 148-153.

[6] 焦锋, 秦伯强, 黄文钰. 小流域水环境管理: 以宜兴湖滏镇为例[J]. 中国环境科学, 2003, 23(2): 220-224.

[7] 马立珊, 汪祖强, 张水铭, 等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J]. 环境科学学报, 1997, 17( 1) : 39-47.

[8] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/ 土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51( 6) : 553-557.