

# 黄土高原丘陵沟壑区小流域水资源合理利用模式研究 ——以韭园沟示范区为例

代锋刚<sup>1</sup>, 蔡焕杰<sup>1</sup>, 孟毅<sup>1</sup>, 田永宏<sup>2</sup>, 王宏兴<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 黄委会 绥德水土保持科学试验站, 陕西 绥德 718000)

**摘要:** 分析了黄土高原丘陵沟壑区小流域水资源特点和水资源利用现状。在进行流域需水量预测的基础上, 研究了水资源赋存规律及合理利用方向, 从社会经济环境协调发展角度, 提出了小流域水资源合理利用的 3 种模式, 以期为黄土高原丘陵沟壑区小流域水资源合理配置、规划与管理提供科学依据。

**关键词:** 水资源; 合理利用; 模式; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)03-0072-05

中图分类号: S157; TV213

## Patterns of Rational Utilization of Small Watershed in Hilly and Gully Area of Loess Plateau

DAI Feng-gang<sup>1</sup>, CAI Huan-jie<sup>1</sup>, MENG Yi<sup>1</sup>, TIAN Yong-hong<sup>2</sup>, WANG Hong-xing

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest University of Agriculture and Forestry, Yangling District 712100, Shaanxi Province, China; 2. Suide Experiment Station of Soil and Water Conservation, Yellow River Conservancy Committee, Suide 718000, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** On the basis of analyzing the distribution characteristics and current utilization situation of small-size river basins in hilly and gully area of the Loess Plateau, from a point of view of harmonious development among society, economy and environment, three models on rational utilization of small-sized river basin are raised in an overall and systematic way. Water resources storage rules, current utilization situation and reasonable utilization direction are analyzed and studied. The scientific proof for allocation, planning and management of water resources is offered.

**Keywords:** water resources; rational utilization; models; hilly and gully area of Loess Plateau

黄土高原的水土流失是黄河泥沙的主要来源, 而黄河泥沙是黄河下游洪水泛滥成灾的根源, 黄土高原的水土流失则是造成当地生态环境恶化、生活贫困的重要原因。特别是丘陵沟壑区, 由于长期侵蚀作用造成梁峁起伏, 沟壑纵横, 地形破碎, 植被稀疏, 生态环境十分脆弱。严重的水土流失使该地区土地贫瘠, 农村经济落后, 生活条件恶劣。因此, 防治水土流失、合理利用有限的水资源, 是当前该区经济发展及生态建设迫切需要解决的问题, 分析探讨小流域水资源合理利用模式具有现实指导意义。

### 1 基本概况

韭园沟示范区位于陕西省绥德县无定河中游左岸, 包括韭园沟、辛店沟 2 条小流域, 总面积 74.65 km<sup>2</sup>, 其中韭园沟 70.7 km<sup>2</sup>, 辛店沟 3.95 km<sup>2</sup>。介于

东经 110°16′—110°26′, 北纬 37°33′—37°38′ 之间, 沟道多, 其断面呈 V 字型, 沟壑密度为 5.34 km/km<sup>2</sup>, 海拔 820~1180 m。属温带半干旱大陆性季风气候, 多年平均气温 8℃, ≥10℃积温 3499.2℃, 多年平均无霜期 150~190 d。2000 年黄河水利委员会确定黄土丘陵沟壑区第一副区具有代表性的韭园沟作为黄河水土保持生态建设示范区。

### 2 水资源特点

#### 2.1 水资源贫乏

按人口和耕地平均占有水资源量分别为 256.9 m<sup>3</sup> 和 48.7 m<sup>3</sup>, 是全国平均水平的 11.1% 和 2.2%。1999 年流域总需水量 7.21 × 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>, 而实际供水量只有 4.40 × 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>, 缺水率达 38.94%, 属于严重资源性缺水。

收稿日期: 2004-07-28

资助项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20020712020); 高等学校全国优秀博士学位论文作者专项基金(200052)

作者简介: 代锋刚(1980—), 男(汉族), 陕西蓝田人, 硕士研究生, 主要从事节水与水资源利用研究。电话(029) 87091727, E-mail: huanjie@tom.com。通讯作者: 蔡焕杰, 电话(029) 87091727, E-mail: huanjie@tom.com

## 2.2 水资源时空分配不均

根据多年实测资料统计,平均年降雨量 475.1 mm, 年际变化大,多雨的 1964 年达 735.3 mm, 少雨的 1956 年仅 232 mm。年内分配极不平衡,7—9 月

占全年降雨量的 64.4%, 且多以暴雨形式出现, 历时短, 强度大, 韭园沟流域历年及汛期降水情况见表 1。地表水多以洪水形式出现, 利用难度大, 地下水多以泉眼形式出露于沟道地表。

表 1 韭园沟流域历年及汛期降水情况

年份	全年雨量/ mm	汛期月雨量/mm					侵蚀暴雨(次数)				
		汛期雨量/mm	6月	7月	8月	9月	降雨量/mm	6月	7月	8月	9月
1954	474	342	79.3	70.4	140.0	52.2	112	—	—	2	2
1955	373	287	45.1	51.4	61.4	120.0	136	—	—	2	2
1956	675	542	128.0	140.0	195.0	78.9	383	1	3	6	1
1957	373	226	42.0	113.0	40.5	30.5	137	2	3	2	—
1958	661	506	54.2	228.0	174.0	49.9	324	—	—	7	7
1959	689	574	90.0	115.0	300.0	69.4	460	1	4	7	4
1960	443	300	24.9	105.0	83.0	87.2	25	—	—	2	—
1961	715	495	60.2	114.0	157.0	156.0	333	—	1	4	3
1962	389	297	20.8	120.0	69.6	86.3	142	1	1	1	1
1963	492	294	51.0	91.2	71.6	80.1	320	3	2	5	3
1964	735	481	41.8	250.0	39.5	150.0	397	1	5	2	5
1965	232	112	10.2	60.0	31.6	9.8	83	—	1	2	—
1966	503	381	57.2	209.0	57.8	56.5	339	2	8	4	5
1967	583	442	20.3	107.0	179.0	136.0	319	—	4	6	4
1968	408	292	23.7	83.0	118.0	67.4	130	—	3	5	1
1969	511	365	14.0	115.0	80.8	155.0	265	—	6	3	1
1974	359	257	20.7	114.0	13.0	78.8	122	—	3	1	1
1975	435	293	57.4	100.0	59.9	76.1	118	—	3	3	—
1976	459	333	21.7	106.0	151.0	54.4	149	—	1	5	—
1977	664	560	44.7	158.0	312.0	45.6	305	—	1	4	—
1978	664	533	16.5	223.0	197.0	96.5	305	—	2	4	—
1979	408	342	35.3	176.0	103.0	27.8	198	—	1	—	—
平均	511	375	44.0	131.0	120.0	80.6	232	0.5	2.4	3.5	1.8
占全年降雨量/%		73.4	8.6	26.0	23.5	15.8	占总次数(%)	5.7	27.6	40.2	20.7

## 3 水资源利用现状

截止 1999 年底,流域已建成沟道淤地坝 237 座,总库容  $2.88 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 剩余库容  $1.07 \times 10^7 \text{ m}^3$ ; 小型水库 3 座,总库容  $8.94 \times 10^5 \text{ m}^3$ , 设计灌溉面积  $21.30 \text{ hm}^2$ , 实际灌溉面积  $8.10 \text{ hm}^2$ ; 抽水站 3 处, 设计灌溉面积  $34.51 \text{ hm}^2$ , 实际灌溉面积  $0.12 \text{ hm}^2$ ; 自流灌渠 13 处, 灌溉面积  $40.51 \text{ hm}^2$ ; 蓄水池 7 个, 可蓄水量  $3.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 设计灌溉面积  $17.70 \text{ hm}^2$ , 实际灌溉面积  $4.78 \text{ hm}^2$ 。流域实际用水量  $4.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ , 占可用水量资源的 22.3%。

## 4 流域需水预测与供需平衡<sup>[1-2,5]</sup>

### 4.1 生态需水量

#### 4.1.1 水土保持工程生态需水量 水土流失综合

治理措施包括工程措施、林草措施、水土保持耕作措施等,生态需水量可以根据单项措施的治理计算面积加以计算。据黄河水利委员会的分析计算,黄土高原地区水土保持综合治理现状生态需水定额为  $60 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 随着黄土高原地区水土流失治理标准提高,生态需水定额将进一步增加。按照 2005 年, 2010 年, 2020 年水土流失治理率分别达到 70.06%, 80%, 85% 计算, 不同阶段的水土流失综合治理生态需水定额取值为: 2000—2005 年为  $60 \sim 65 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 2005—2010 年为  $70 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ , 2010—2020 年为  $90 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。公式如下:

$$Q_1 = \sum A_i \cdot M_i \quad (1)$$

式中:  $Q_1$ ——生态需水量;  $A_i$ —— $i$  类水土保持工程措施面积( $\text{hm}^2$ );  $M_i$ —— $i$  类水土保持工程措施需水定额( $\text{m}^3/\text{hm}^2$ )。

4.1.2 林业工程生态需水量 由于森林植被在流域生态环境改善和保护方面的主体地位,天然林防护工程作为源头流域的生态保护重点,对于整个流域的水源涵养和径流调节具有十分重要的作用,其用水属于生态用水范畴。水土流失区水土保持林用水计入水土保持用水,二者不能相互重复计算。

黄河流域林业工程生态需水定额为  $150 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,随着不同时间阶段防护林标准的提高,生态需水定额将有所增加。以黄土高原地区最佳森林覆盖率 38.7% 为依据<sup>[6]</sup>,按生态防护林面积占森林总面积的比例 20% 进行计算,依旧用公式(1) 计算,预测结果详见表 2。

表 2 韭园沟示范区不同水平年需水量预测

项 目	2000 年	2005 年	2010 年	2020 年	
水土保持工程 生态需水量	治理面积/ $\text{hm}^2$	3 736.12	5 603.26	5 972	6 345.25
	治理度/ %	50.05	75.06	80.00	85.00
	需水定额/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	60.00	65.00	70.00	90.00
	需水量/ $10^4 \text{m}^3$	22.42	36.42	41.80	57.74
林业工程 生态需水量	森林覆盖率/ %	16.80	22.90	30.00	38.70
	森林面积/ $\text{hm}^2$	1 252.85	1 709.49	2 239.50	2 888.96
	需水定额/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	120.00	150.00	200.00	200.00
	需水量/ $10^4 \text{m}^3$	3.01	5.13	8.96	11.56
农业需水量	灌溉面积/ $\text{hm}^2$	41.65	150.5	149.00	144.27
	定额/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	7 200	6 000	5 250	4 650
	需水量/ $10^4 \text{m}^3$	30.00	90.30	78.23	67.09
生活需水量	自然增长率/ %	—	1.20	1.72	1.69
	人口总量/ 人	10 927	11 599	12 631	14 936
	定额/ $(\text{L}/\text{人} \cdot \text{d})$	45	64	108	125
	需水量/ $10^4 \text{m}^3$	17.95	27.10	49.79	68.15

#### 4.2 生活需水量

农村生活需水以人口数预测为基础,根据预测年人口数和用水定额进行计算,计算公式为:

$$Q_2 = P_0(1 + \alpha)^n \cdot K \quad (2)$$

式中:  $Q_2$ ——预测规划年生活需水总量;  $K$ ——生活需水定额;  $P_0$ ——现状年人口数;  $\alpha$ ——人口增长率;  $n$ ——预测年数。黄河流域 2000 年农村生活需水定额的平均值为  $57.2 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ ,据实际情况,2000 年农村生活需水定额取  $45 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ ,2005 年农村生活需水定额取  $64 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ ,2010 年为  $108 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ ,2020 年为  $125 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ ,预测结果见表 2。

#### 4.3 农业需水量

农业灌溉是通过蓄、引、提等工程设施送给农田、林地以满足作物需水要求,主要影响因素有气候条件、水文条件、土壤条件、作物类型、灌溉定额、管理水平、工程设施等。计算公式:

$$Q_3 = \sum A_0 \cdot M / \eta_0 \quad (3)$$

式中:  $Q_3$ ——总灌溉需水量;  $A_0$ ——灌溉面积;  $M$ ——灌溉定额;  $\eta_0$ ——灌溉水利用系数。

灌溉定额大小取决于土壤、作物种类、灌水方法等多种因素,即使相同气象、土壤条件下,也因灌溉作物种类、灌水方法等条件不同,灌溉定额也不同,本次

预测采用“综合灌溉定额”。参考黄河流域耕地面积的递减率和灌溉面积的递增率的预测值<sup>[7]</sup>,考虑到韭园沟流域水资源有限,灌溉面积扩大潜力不大,确定韭园沟流域 2005—2010 年耕地面积年递减率为 0.4%,灌溉面积年递增率 0.2%; 2010—2020 年分别为 0.35% 和 0.03%,预测结果见表 2。

#### 4.4 流域水资源供需分析

需水量预测参考黄河流域、无定河流域需水定额进行估算,需水量趋势见图 1。流域 2000 年总需水量  $7.34 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,设施供水能力仅  $4.40 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,流域供水能力不足而引起的缺水为  $2.94 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,2005 年示范区生态工程建设全面完成后,流域总需水量将达到  $1.59 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,届时将建成蓄水塘坝 10 座,新增库容  $8.06 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,增加兴利库容  $5.92 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,新增蓄水池 12 个,有效库容增加  $7.25 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,坡面集雨工程 120 处,蓄水量  $6.50 \times 10^3 \text{ m}^3$ ,总增蓄水能力  $6.71 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,使可控制水量达  $1.11 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,供水缺口  $4.78 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。2010 年流域总需水量达到  $1.79 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,2020 年流域总需水量达到  $2.05 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,可见,从长远来看,随流域生态建设及社会经济发展,水资源短缺将进一步扩大,因此,必须合理利用有限的水资源,提高水资源的利用效率。

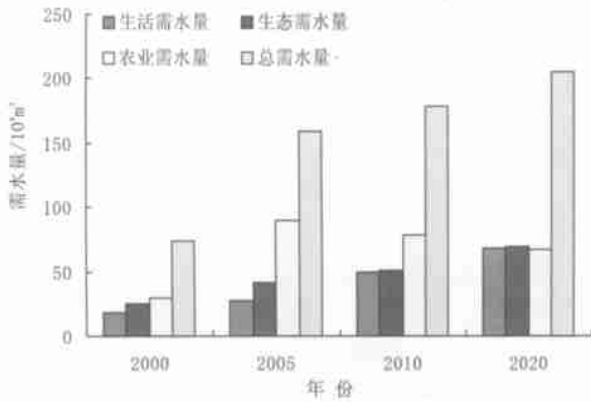


图 1 非园沟示范区不同水平年需水量预测

## 5 水资源合理利用模式

非园沟流域水资源贫乏, 应充分利用有限水资源, 以满足国民经济各部门日益增长的需水要求, 应本着“因地制宜, 开源节流, 合理开发, 综合利用”的原则, 以控制水土流失为前提, 合理利用水资源为目标,

解决干旱缺水问题, 为区域发展提供良好的条件。为此, 根据水资源在地域上的分布特点, 从水资源开发利用与社会、经济、环境协调发展的角度出发, 非园沟流域水资源合理利用可采用 3 种模式<sup>[3-4, 8]</sup>。

### 5.1 地表水、地下水联合利用模式

流域地表水主要以洪水形式出现, 地下水资源主要是浅层地下水, 由于排泄条件良好, 地下水多以沟道露头泉形式向地表水转化。在以往沟道坝系建设中, 注重淤地坝建设, 轻视水库、塘坝、灌溉渠道等配置, 使有限水资源得不到有效利用; 目前, 示范区沟道坝系工程中, 水利设施极少, 但还多为病危工程, 水库、塘坝基本淤满, 灌溉渠系多年失修, 遇到大旱之年, 多数淤地坝无洪水可拦, 坝地既得不到洪水淤漫, 又不能灌溉, 作物产量很低。因此, 要最大限度地利用水资源, 应在有水源的地方修建小水库、塘坝和蓄水池, 同时配备灌渠和抽水设备, 采用自流和提水方式灌溉发展水地, 联合利用地表水和地下水, 蓄、引、提相结合, 提高水资源利用率, 确保高产稳产(图 2)。

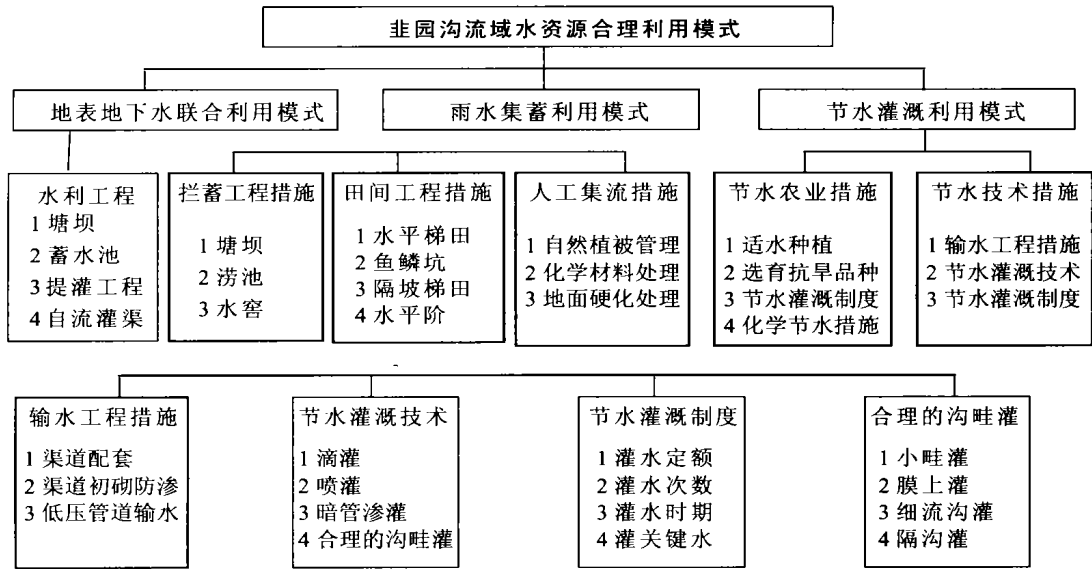


图 2 非园沟流域水资源合理利用模式图

根据示范区干旱少雨, 土地零星破碎等自然条件, 水资源开发以分散、多点、就地取水为原则, 以兴修投资少、见效快的小型水利灌溉工程为主, 在有常流水且水量充足, 地形地质条件优越的地方, 可兴建水库、塘坝。在拦洪坝下游, 不受洪水威胁且有长流水和泉眼出露, 但不具备建库条件的地方, 可开挖修筑蓄水池, 满足小片水地灌溉要求, 同时可发展水面养殖业。在地形水源条件允许的情况下, 尽量发展自流灌溉, 受地形限制且有灌溉要求的坝地、宽幅梯田(果园、经济林)采用提灌。

### 5.2 雨水集蓄利用模式

通过旱地农业深耕、深松、覆盖等蓄水保墒措施, 可增加雨水就地入渗, 减少径流与蒸发, 但不能弥补该地区水量不足, 也不能进行供水的时空调节; 通过隔坡梯田、蓄水沟、鱼鳞坑等工程整地措施就地蓄集叠加雨水, 可以在较小范围内进行雨水的空间调节, 以弥补该地区某时段雨量不足。但这种方法不能进行时间上调节, 以使有限降水用于作物的关键需水期。因此, 用水窖、蓄水池、涝池等一系列工程措施, 将天然降水聚集并储存起来, 用于生活和灌溉, 使自

然降水变成时空均可调节的现实水资源,是缓解该地区水资源短缺的有效途径。

### 5.3 节水灌溉利用模式

针对黄土高原坡地地形变化大的自然特点,不适用于采用地面灌溉方式。采用喷灌技术同时,可以根据该地区地形落差较大的特点,设计自压滴灌系统,使有限水资源发挥最大效益。根据实际情况,也可以采用合理的沟畦灌(例如小畦灌、膜上灌、细流沟灌,隔沟灌等),再结合农业节水措施(例如适水种植、选育抗旱品种等)使有效水资源得到合理高效利用。

## 6 结 语

(1) 在水土流失严重、生态环境脆弱的黄土丘陵沟壑区,要合理有效利用有限水资源,达到高产、高效、优质的生产目的,应该采用工程和生物措施相结合,地表水、地下水联合利用,集蓄利用天然降水,采用生物节水和灌溉工程节水技术相结合,实现生态农业合理高效用水,防治坝地盐碱化,促进该区经济发展,提高人民生活水平。

(2) 目前,黄土高原丘陵沟壑区在小流域水资源利用方面研究较少,且本研究涉及流域降水蒸发、地理位置、地形地貌、土壤植被等自然因素和提灌工程、

集雨工程、节水灌溉工程等人为因素,因此,建立改善生态环境并维持一定经济增长的水资源合理利用模式还处于探索性阶段。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 王宏兴,王晓,田永宏. 韭园沟示范区生态建设与水资源利用[J]. 水土保持学报,2003,12(6):191—193.
- [ 2 ] 王增发. 中小流域水资源可持续开发利用规划的理论与模型研究—以定河流域水资源可持续开发利用规划实例[C]. 西安理工大学博士论文,2001,1.52—54.
- [ 3 ] 王文科,王钊,孔金玲,等. 关中地区水资源分布特点与合理开发利用模式[J]. 自然资源学报,2001,11(6):499—504.
- [ 4 ] 马耀光,张保军,罗志成,等. 旱地农业节水技术[M]. 化学工业出版社,2004,1(1):48—94.
- [ 5 ] 陈家琦,王浩,杨小柳. 水资源学[M]. 科学出版社,2002.4(1):142—147.
- [ 6 ] 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,1998,1(1):255—271.
- [ 7 ] 钱正英,张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告和专题报告[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.45—107.
- [ 8 ] 穆兴民,徐学选,陈霖魏,等. 黄土高原生态水文研究[M]. 中国林业出版社,2001.157—179.
- (上接第 68 页)
- [ 4 ] 邵晓梅,杨勤业,张洪业. 山东省耕地变化趋势及驱动力研究[J]. 地理研究,2001,20(3):298—306.
- [ 5 ] 葛向东,彭补拙,濮励杰,等. 耕地总量动态平衡的监测和预警研究[J]. 自然资源学报,2002,17(1):35—41.
- [ 6 ] 许月卿,李秀彬. 河北省耕地数量减少原因及对策研究[J]. 自然资源学报,2002,17(1):123—128.
- [ 7 ] 何书金,李秀彬,朱会义,等. 环渤海地区耕地变化及成因分析[J]. 自然资源学报,2002,17(3):345—352.
- [ 8 ] 孔祥斌,张凤荣,徐艳,等. 集约化农区近 50 年耕地数量变化驱动机制分析——以河北省曲周县为例[J]. 自然资源学报,2004,19(1):12—20.
- [ 9 ] 谭永忠,吴次芳,牟永铭. 20 世纪 90 年代浙江省耕地非农化过程分析[J]. 地理科学,2004,24(1):14—19.
- [ 10 ] 汪朝辉,王克林,熊艳. 湖南省耕地动态变化及驱动力研究[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(1):53—59.
- [ 11 ] 王建林,熊伟,胡单. 近 20 年来西藏耕地与人口变化相关分析[J]. 资源科学,2004,26(1):45—51.
- [ 12 ] 刘贤赵,王春芝. 烟台地区耕地资源态势及宏观驱动力研究[J]. 经济地理,2004,24(2):263—267.
- [ 13 ] 杨达源,任朝霞,何太蓉,等. 入世后三峡库区的可持续发展研究[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(4):314—316.
- [ 14 ] 袁中智,高明,魏朝富. 重庆市忠县坡耕地生态退耕分析[J]. 农业环境与发展,2002(3):21—23.