

塔里木河流域 2003 年虚拟水计算初探

李吉玫^{1,2}, 徐海量¹, 叶茂¹, 宋郁东¹

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 简要介绍了虚拟水含量的计算方法。根据 2003 年塔里木河流域的资料, 计算了主要农产品单位质量的虚拟水含量、城乡居民消费的虚拟水含量和生产产品的虚拟水含量。(1) 与西北其它地区相比较, 塔里木河流域生产单位质量的农产品虚拟水含量相对较低。(2) 从塔里木河流域虚拟水消费总量看, 城镇居民与农村居民的消费相差不大, 分别为 $3.71 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $3.30 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。而其中一些消费产品, 如粮食、猪肉、家禽、鲜蛋、糕点和鱼虾等的消费在城镇居民与农村居民间仍然存在着一一定的差异。(3) 全社会消费的虚拟水数量和实际生产产品中的虚拟水含量分别为 $7.01 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $2.20 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。可以看出在塔里木河流域实际生产产品的虚拟水含量远远大于各项消费的总虚拟水含量。

关键词: 虚拟水; 虚拟水战略; 虚拟水计算; 塔里木河流域

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2007)03-0088-05

中图分类号: S157.2

Primary Evaluation of Virtual Water in the Tarim River Basin in 2003

LI Ji-mei^{1,2}, XU Hai-liang¹, YE Mao¹, SONG Yu-dong¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi,

Xingjian 830011, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the data of the Tarim River in 2003, the method of assessing virtual water was briefly introduced. Virtual water for the main primary farm products and total virtual water consumed by citizens were calculated. The results showed that virtual water for the main primary farm products in the region was lower as compared with other regions in Northwest China. In terms of total virtual water expenditure, there was no significant difference between urban and rural residents. However, for the consumptions such as food supply, pork, poultry, egg, cake, fish, there was a significant difference between urban and rural residents. The total amount of consumed virtual water was estimated to be $7.01 \times 10^9 \text{ m}^3$, and the total amount of the virtual water for production, $2.20 \times 10^{10} \text{ m}^3$. This indicates that the total amount of virtual water for production is much more than that for consumption.

Keywords: virtual water; strategy for virtual water; virtual water assessment; Tarim River

虚拟水是指生产商品和服务所需要的水资源数量^[1]。最新研究表明, 生产 1 t 小麦需要耗费 1 000 t 的水资源, 生产一个 2 g 重的 32 兆计算机芯片需要 32 kg 水^[2-3]。这些产品中的水是以虚拟的形式存在的, 不是真正意义上的水, 所以又称为“外来水”、“嵌入水”。自虚拟水概念提出以后, 虚拟水问题就越来越受到全世界水资源管理决策者的关注, 尤其在与水密集型的产品生产方面, 全世界开展了大量的研究。虚拟水研究的主要方向有: (1) 产品虚拟水含量的量化; (2) 食品安全与虚拟水战略研究; (3) 虚拟水战略对水资源、生态、经济和社会文化的影响研究等。

虚拟水研究在我国还很少, 相关的研究也刚刚起步^[4-5]。程国栋先生是最先将虚拟水的概念引入到

国内的。龙爱华等在缺水较为严重的西北地区作了虚拟水理论方法的研究并进行了实证。然而对严重缺水的塔里木河流域虚拟水的研究目前还未见报道, 因此本文以此为切入点, 结合流域内的资料, 初步计算分析了塔里木河流域 2003 年主要农产品单位质量的虚拟水含量、城乡居民消费的虚拟水含量和生产产品的虚拟水含量。

1 研究区概况

塔里木河流域属于内陆河流域, 涉及 5 个地(州)、42 个县(市)和新疆生产建设兵团 4 个师局 55 个农牧团场。流域面积 $1.02 \times 10^6 \text{ km}^2$, 总人口 8.26×10^6 人, 是新疆乃至全国的棉花和粮食、石油的

重要生产基地之一^[6]。但是由于人类活动造成的水资源时空再分配使流域水过程完整性丧失,流域内土地荒漠化和土壤盐渍化问题日益突出,成为干旱区内陆河流域生态环境退化的典型代表之一^[7]。

2 研究方法

2.1 资料的获取

本文的气象资料和土壤资料主要来源于塔里木河流域的几个主要气象站。根据《2003 年新疆统计年鉴》和《2003 年新疆兵团统计年鉴》^[8-9],统计了塔里木河流域 2003 年主要农作物、水果和蔬菜的面积、产量等,初步计算了流域内 2003 年的主要农产品单位质量的虚拟水含量;根据城镇居民总数、农村居民总数、城乡居民消费结构并利用 Chapagain 等根据联合国粮农组织和世界贸易组织提供的数据库资料对世界 100 多个国家单位动物产品包含的虚拟水估算中的中国部分估算结果^[10-4],计算了 2003 年流域内的城乡居民消费产品和生产产品的虚拟水含量。

2.2 虚拟水的计算

虚拟水的计算同生态足迹的研究一样,采用账户的方式解释水资源在社会经济系统中的迁移转换^[11-12]。由于工业产品中的虚拟水含量与其复杂的生产流程紧密相连,目前还没有有效的分析计算方法,而且工业产品中的虚拟水含量相对农产品和动物产品数量较少。从当前的研究成果来看,农作物产品的虚拟水和动物产品的虚拟水计算是目前虚拟水计算的最主要的部分。

2.2.1 植物性农产品的虚拟水含量 几乎所有的农产品在生产过程中都离不开水资源,农产品在生产过程中需要的水资源主要取决于它的类型、生长区域的自然地理条件、使用的灌溉系统及其管理方式等。因此农产品的虚拟水计算只是特定地点的一种粗略估算^[11-12]。如果农产品生产过程中的水的消费主要是通过蒸发和蒸腾作用,则农产品与水的消费之间的关系就清楚了;但如果涉及了其它的过程,如农产品加工处理和与其它农作物产品一起加工处理,就需要采用价值构成比例和产品质量比例因子来进行虚拟水含量计算。计算某一农产品虚拟水含量主要根据公式(1),首先采用参考作物需水量(E_{T0})乘上作物系数进行调整得到作物需水,然后通过单位作物需水除以作物产量得到单位初级产品的虚拟水含量^[11]。

$$V_{cn} = W_{cn} / Y_{cn} \quad (1)$$

式中: V_{cn} —— 区域 n 作物 c 单位质量的虚拟水含量 (m^3/t); W_{cn} —— 区域 n 作物 c 的需水量 (m^3/hm^2); Y_{cn} —— 区域 n 作物 c 的产量 (t/hm^2)。

作物需水量是指作物在生长发育期间蒸发蒸腾所消耗的水资源量^[13]。通常影响作物需水的因素主要包括气象因素(包括降水、气温、水气压、日照时数和风速)、作物类型(植物生理等)、土壤条件、种植时间等。农作物蒸发蒸腾所消耗的水量采用参考作物的需水量 Y_0 乘以作物系数 K_c 进行计算:

$$E_{TC} = E_{T0} \times K_c \quad (2)$$

通常参考适当的气象资料(气温、水气压、日照时数和风速资料)按照彭曼公式进行计算^[14-19]。 K_c 是作物系数,相应时段的作物系数,是区分作物下垫面与参考作物(reference crop)下垫面之间的差异而引入的一个系数,主要反映实际作物与参考作物表面植被覆盖与空气动力学阻力以及生理与物理特征的差异。参考作物需水量是用一个假想的作物参考面,假设高度一致,生长旺盛,完全覆盖地面的绿色草地(高度 8 ~ 15 cm)的蒸散量。(采用规范的参考作物需水量的定义)根据联合国粮农组织(FAO)建议,可采用修正的标准彭曼公式计算^[13]。

$$E_{T0} = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273}(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

式中: E_{T0} —— 参考作物的需水量 (mm/d); R_n —— 作物表面的净辐射量 [$MJ/(m^2 \cdot d)$]; G —— 土壤热通量 [$MJ/(m^2 \cdot d)$]; T —— 平均空气温度 ($^{\circ}C$); U_2 —— 2 m 高的风速 (m/s); e_a —— 饱和水气压 (kPa); e_d —— 实际水气压 (kPa); $e_a - e_d$ —— 饱和水气压与实际水气压的差 (kPa); γ —— 湿度计常数 ($kPa/^{\circ}C$); Δ —— 饱和水汽压与温度相关曲线的斜率 ($kPa/^{\circ}C$)。

2.2.2 动物产品虚拟水含量 动物产品的虚拟水含量主要依赖于动物的类型、动物的饲养结构和动物成长的自然地理环境(气候条件)^[11-13]。其计算首先需要确定活动物对水资源的消耗,然后再在不同的动物产品之间进行分配。

计算不同动物产品的虚拟水含量需要将活动物的虚拟水含量在动物产品间进行分配。因此将产品按状态进行划分,直接由活动物提供的产品称为第一类动物产品,如奶牛提供的牛奶、畜体和皮等。第一类产品经进一步加工变成第二类动物产品,如奶酪、黄油、加工肉和香肠等。第一类动物产品的虚拟水含量包括活动物的虚拟水和为得到不同的第一类初级产品加工所需要的水资源量。为在不同的第一类产品间分配活动物的虚拟水含量和加工需水,引进了产品比例因子和价值比例因子来计算。产品比例因子定义为从活动物得到的不同第一类动物产品的数量

比例。价值比例因子为第一类产品的市场价值与所有第一类产品市场价值总和的比例。活动物的虚拟水和加工需水可以按这两类因子在不同的第一类产品之间进行分配。第二类动物产品的虚拟水由部分第一类产品的虚拟水和加工用水构成, 第二类初级产品间用水的分配可以采用同第一类动物一样的产品比例因子和价值比例因子进行分配。按照同样的方法可以计算第三、四类动物产品的虚拟水分配。需要注意的是应该避免重复计算, 如不能将一头奶牛的虚拟水含量全部先分给牛奶, 再分给肉类产品, 同时也要注意的是不要忽略一些重要的产品。

表 1 塔里木河流域 2003 年农产品种植面积及单产

地区	粮食		油料		棉花		甜菜		水果		烟叶		蔬菜	
	单产/ (kg·hm ⁻²)	面积/ hm ²												
巴州	6202	34.23	1854	3.23	1854	68.26	66703	4.32	2807	45.60	0	0.00	50429	13.89
阿克苏	6723	167.35	1763	11.21	1784	153.04	44331	4.71	4915	62.27	534	105.00	24231	12.45
克州	5297	33.34	1471	0.70	1723	4.71	0	0.00	3941	10.40	428	78.00	18239	0.92
喀什	5888	268.84	6420	2.16	1511	159.42	0	0.00	6317	62.86	532	85.00	34153	17.57
和田	6309	139.34	1603	2.46	1546	18.36	0	0.00	5080	37.41	375	42.00	21067	4.89
农一师	7409	25.32	2805	0.15	2998	0.13	40800	0.01	4470	12.31	183	11.00	31283	1.29
农二师	4763	14.77	1709	0.61	1978	0.60	68680	4.58	6046	10.00	675	25.00	60926	12.03
农三师	5315	13.70	1815	0.04	1975	0.04	0	0.00	8488	5.97	837	419.00	21437	1.18
农十四师	5395	2.39	2100	0.01	900	0.01	0	0.00	2156	5.16	0	0.00	32362	0.13

表 2 塔里木河流域 2003 年主要农作物产品单位质量虚拟水含量

项目	粮食	油料	棉花	甜菜	水果	烟叶	蔬菜
初级产品最终产品率	0.70	0.38	0.50	0.10	0.80	0.50	1.00
作物生长需水量/(mm·hm ⁻²)	600.10	436.50	888.10	667.40	534.00	534.00	432.00
作物单位面积产量/(kg·hm ⁻²)	6180.00	2243.00	1677.00	59612.00	4918.00	1810.00	39126.00
最终产品虚拟水含量/(m ³ ·kg ⁻¹)	1.38	5.12	10.58	1.20	1.36	5.05	0.11

注: 不同作物换算成粮食的方法依据我国统计部门的折算方法。

塔里木河流域单位质量的农作物产品中, 棉花消耗的水资源最高。每生产 1 kg 的棉花至少需要消耗的水资源为 10.579 m³。其次为油料作物, 每生产 1 kg 的植物油至少需要消耗 5.121 m³ 的水资源。消耗水资源相对较少的为蔬菜和甜菜, 但至少也要 0.1104 m³ 和 1.196 m³。

与龙爱华和张志强(2004年)等人做的西北地区农产品单位质量虚拟水含量相比^[4,12], 塔里木河流域的农产品单产相对较高, 虚拟水含量相对较低。如新疆粮食的单产为 5595 kg/hm², 单位产品虚拟水含量为 1.532 m³/kg; 塔里木河流域粮食单产为 6180 kg/hm², 单位产品虚拟水含量为 1.38 m³/kg。这些与塔里木河流域光热资源丰富、积温高和生长期长等因素有关。

3 结果与分析

3.1 塔里木河流域单位作物产品的虚拟水

根据上述资料和方法, 计算的塔里木河流域主要粮食作物、油料、棉花、甜菜、水果、烟叶和蔬菜等农作物产品单位质量的虚拟水含量, 分别经 5 个州、4 个师的面积加权调整得到单位作物面积产量和不同初级作物产品的平均需水(面积及单产见表 1)。

考虑单位面积作物产量和最终产品的加工转化效率后, 得到不同最终农产品单位质量虚拟水含量(详见表 2)。

3.2 城乡居民消费的虚拟水含量

根据单位农产品的虚拟水含量计算结果、塔里木河流域城镇居民人数、农村居民人数、城乡居民购买商品的数量等相关统计结果, 计算了 2003 年塔里木河流域城乡居民主要产品虚拟水消费量, 计算结果(见表 3)^[17-18]。

从塔里木河流域虚拟水消费总量看, 城镇居民与农村居民的消费相差不大, 分别为 3.71×10⁹ m³ 和 3.30×10⁹ m³。而对于其中一些消费产品而言, 如粮食、猪肉、家禽、鲜蛋、糕点和鱼虾等的消费在城镇居民与农村居民间仍然存在着一定的差异。农村居民消费的粮食虚拟水量是城镇居民消费的粮食虚拟水量的 2.34 倍; 而农村居民消费的鱼虾虚拟水量仅为城镇居民消费的鱼虾虚拟水量的 5%。

对塔里木河流域虚拟水消费影响较大的主要为烟草、粮食、羊肉,如烟草虚拟水消费含量达到了虚拟水总量的21.69%,粮食虚拟水消费含量占到了虚拟

水总量的21.17%;对虚拟水消费影响不大的主要有食糖、鱼虾和饮料等,饮料虚拟水消费总量仅占了0.07%。

表3 塔里木河流域2003年城乡居民消费的虚拟水含量

产品项目	单位产品虚拟水含量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	产品消费数量/kg		各产品消费的虚拟水含量/ m^3		各项消费总虚拟水量/ 10^8m^3		虚拟水消费总计/ 10^8m^3	生产产量/ 10^4t	生产产品虚拟水含量/ 10^8m^3
		城镇居民	农村居民	城镇居民	农村居民	城镇居民	农村居民			
粮食	1.38 ^①	77.16	236.3	106.48	229.24	4.44	10.37	14.80	425.98	41.32
植物油	5.12	11.89	10.46	60.89	53.57	2.54	2.42	4.96	10.31	5.28
鲜菜	0.11	92.15	75.52	10.17	8.34	0.42	0.38	0.80	217.01	2.40
猪肉	3.56	7.76	1.21	27.63	4.31	1.15	0.19	1.35	5.29	1.88
牛肉	19.99	2.01	1.99	40.18	39.78	1.67	1.80	3.47	7.30	14.59
羊肉	18.01	8.26	7.16	148.72	128.92	6.19	5.83	12.03	23.86	42.96
家禽	3.11	7.17	1.39	22.31	4.32	0.93	0.20	1.12	3.01	0.94
鲜蛋	8.65	9.19	1.29	79.50	11.16	3.31	0.50	3.82	11.50	9.95
鱼虾	5.00	3.55	0.17	17.75	0.85	0.74	0.04	0.78	2.07	1.04
食糖	1.12	1.20	0.40	1.34	0.45	0.06	0.02	0.08	0.08	0.01
烟草 ^②	5.05	38.94	30.68	196.72	155.00	8.19	7.01	15.20	0.04	0.02
白酒	3.29	1.43	1.27	4.70	4.18	0.20	0.19	0.38	0.04	0.01
啤酒	15.00	2.44	0.76	36.60	11.40	1.52	0.52	2.04	—	—
饮料	1.00	0.40	0.70	0.40	0.70	0.02	0.03	0.05	—	—
鲜瓜	1.36	61.67	35.13	83.69	47.67	3.49	2.16	5.64	94.93	12.88
鲜奶	2.22	18.10	11.39	40.18	25.29	1.67	1.14	2.82	13.67	3.03
糕点	4.16	2.55	0.21	10.60	0.87	0.44	0.04	0.48	—	—
棉布 ^③	10.58	0.35	0.23	3.70	2.43	0.15	0.11	0.26	78.50	83.05
合计				891.58	728.46	37.14	32.95	70.09	893.59	219.36

注:① 为单位原粮食虚拟水含量,单位原粮产出净粮食系数为0.7,单位净粮食虚拟水含量为0.97;不同作物换算成粮食的方法依据我国统计部门的折算方法;② 这里假设每包卷烟折算成烟叶0.1kg;③ 每1m棉布折算成棉花纤维2kg。

从计算结果可以看出,塔里木河流域2003年城镇居民和农村居民人均每年消费的虚拟水量分别为 891.58m^3 和 728.46m^3 。全社会消费的虚拟水数量和实际生产产品中的虚拟水含量分别为 $7.01 \times 10^9 \text{m}^3$ 和 $2.20 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。可以看出在塔里木河流域实际生产产品的虚拟水含量远远大于各项消费的总虚拟水含量。

4 结论

(1) 塔里木河流域2003年农作物单位质量消费虚拟水最多的是棉花,达到了 $10.579 \text{m}^3/\text{kg}$,其次为食用油,为 $5.121 \text{m}^3/\text{kg}$ 。农作物单位质量消费虚拟水相对较少的为蔬菜和甜菜,但至少也要 $0.1104 \text{m}^3/\text{kg}$ 和 $1.1196 \text{m}^3/\text{kg}$ 。根据塔里木河流域农作物单位质量消耗虚拟水的多少,可以适当的调整种植业结构,在适当的地区可以增加一些虚拟水含量较低的农作物面积,如香梨;适当的压缩虚拟水含量较高和耗水较多的农作物面积,如棉花。

(2) 从塔里木河流域虚拟水消费总量看,城镇居民与农村居民的消费相差不大,分别为 $3.71 \times 10^9 \text{m}^3$ 和 $3.30 \times 10^9 \text{m}^3$ 。而对于其中一些消费产品而言,如粮食、猪肉、家禽、鲜蛋等的消费在城镇居民与农村民间仍存在着一定差异。全社会消费的虚拟水数量和实际生产产品中的虚拟水含量分别为 $7.01 \times 10^9 \text{m}^3$ 和 $2.20 \times 10^{10} \text{m}^3$ 。可见在塔里木河流域实际生产产品的虚拟水含量远远大于各项消费的总虚拟水含量。因此若在流域实施虚拟水战略将有助于缓解本地水资源短缺的压力,节约当地有限的水资源。

(3) 在塔里木河流域实施虚拟水战略可以缓解社会经济和生态的压力。若通过虚拟水战略,将节约的水资源用于恢复天然植被,则可以局部的逆转塔里木河流域的生态环境。

(4) 目前对虚拟水的理论和计算方法还是一种保守的估计,还有待于进一步的完善。在以后的研究中应该注意提高数据精度,尽可能的减少误差,国家和各地区应建立虚拟水贸易的详细账户。

[参 考 文 献]

- [1] Allan J A. Virtual water: A long term solution for water short Middle Eastern economies[R] . The 1997 British Association Festival of Science, University of Leeds 1997.
- [2] Turton A R, Moodley S, Glodblatt M, et al. An analysis of the role of virtual water in southern Africa in meeting water scarcity : An applied research and capacity building project [R] . Group for Environmental Monitoring (GEM) and IUCN. Johannesburg, 2000. 2—8.
- [3] Willians E D, Ayres R U, Heller M. The 1.7 Kilogram microchip: Energy and material use in the production of semiconductor devices [J] . Environmental Science and Technology, 2002, 36(24): 5501—5510.
- [4] 龙爱华, 徐中民, 张志强. 虚拟水理论方法与西北 4 省(区)虚拟水实证研究[J] . 地球科学进展, 2004, 19(4): 577—583.
- [5] 陈亚宁, 崔旺诚, 李卫红, 等. 塔里木河的水资源利用与生态保护[J] . 地理学报, 2003, 58(2): 215—222.
- [6] 宋郁东, 樊自立, 雷志栋, 等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M] . 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 385—410.
- [7] 徐海量, 叶茂, 宋郁东, 等. 塔里木河流域水资源变化的特点与趋势[J] . 地理学报, 2005, 60(3): 487—494.
- [8] 中国统计局. 新疆统计年鉴 2004[M] . 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [9] 中国统计局. 新疆兵团统计年鉴 2004[M] . 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [10] Chapagain A K, Hoekstra A Y. Virtual Water Trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock produces[A] . In: Hoekstra A Y ed. Virtual Water Trade: P proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade [C] . Value of Water Research Report Series No 12. IHE Delft, 2003. 49—76.
- [11] 徐中民, 龙爱华, 张志强. 虚拟水的理论方法及在甘肃省的应用[J] . 地理学报, 2003, 58(6): 861—869.
- [12] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区)的生态足迹[J] . 地理学报, 2001, 56(5): 599—610.
- [13] Renaul D. Value of Virtual Water in food: principles and virtues. In Hoekstra A Y ed. Virtual Water Trade : P proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade [C] . Value of Water Research Report Series No12. IHE Delft. February, 2003. 77—91.
- [14] 信乃途. 农业气象学[M] . 重庆: 重庆出版社, 2001. 76—77.
- [15] Hoekstra A Y. Virtual Water Trade: an introduction [R] . In Hoekstra A Y ed. Virtual Water Trade: Value of Water Research Report Series (No. 12). IHE Delft, 2003. 13—23.
- [16] Allan J A. Virtual Water eliminates water wars[R] . In Hoekstra A Y ed. Virtual Water Trade: Value of Water Research Report Series (No. 12). IHE Delft, 2003. 137—145.
- [17] 沈怡芳. 试论白酒工业的调整[J] . 酿酒, 1999(4): 13—15.
- [18] 王彦, 罗志忠. 啤酒生产用水量的简化研究[J] . 酿酒, 1999(4): 27.
- (上接第 87 页)
- [2] 朱国仁. 淮河流域降水特征分析[J] . 水文, 1998(1): 53—57.
- [3] 王有邦. 山东地理[M] . 济南: 山东省地图出版社, 2000. 150—170.
- [4] 魏维宽. 淮河流域异常洪涝及防灾减灾思考[J] . 中国减灾, 1997(3): 23—25.
- [5] 张道军, 朱麦云, 张昭, 等. 流域生态环境可持续发展论 [M] . 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [6] 周虹. 对淮河流域水土保持生态建设的几点认识与思考 [J] . 中国水土保持, 2003(2): 5—6.
- [7] 国务院西部地区开发领导小组办公室, 国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程[S] . 2002.
- [8] 王万忠. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J] . 水土保持通报, 1996, 16(5): 1—20.
- [9] 任建兰. 区域可持续发展理论与方法[M] . 济南: 山东省地图出版社, 1998.
- [10] 彭少麟. 恢复生态学与退化生态系统的恢复[J] . 中国科学院院刊, 2000(3): 189—193.
- [11] 李锐, 徐传早. 美国水土流失预测预报与动态监测——赴美水土保持新技术考察报告摘录[J] . 水土保持研究, 1998, 5(2): 119—123.
- [12] 杨广斌, 李亦秋, 安裕伦. 基于网格数据的贵州土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异[J] . 中国岩溶, 2006, 25(1): 73—78.
- [13] 前川孝昭, 宋豫秦, 程必定. 淮河流域可持续发展研究的重点问题[J] . 中国人口·资源与环境, 2002(4): 77—80.