

关中—天水经济区粮食生产的生态成本研究

李建丽, 李晶

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要:以关中—天水经济区各市区为研究对象,依据水土流失的相关理论,运用生态学和经济学思想并结合遥感影像进行估算,采用主成分方法对粮食生产过程的生态成本和直接生产成本进行了研究。研究表明,关中天水地区粮食生产的生态成本最高已经达到 0.8 元/kg,直接生产成本约为 1.45 元/kg,总成本约为 2.25 元/kg,已经接近粮食的出售价格 2.56 元/kg。水土流失对于关中—天水地区粮食的生态成本具有重要影响,种子费用和机械费用过高是制约粮食生产成本过高的关键因素。高成本低收益的情况会极大地削减农民种植粮食的积极性。因此,在今后的种植过程中,应当充分利用农业资源,加大科技投入,扩大种植规模,降低生产单位粮食的生态成本。

关键词: 粮食生产; 生态成本; 关中—天水经济区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0085-05

中图分类号: F062.2, F326.11

Ecological Costs of Food Production in Guanzhong—Tianshui Economic Zone

LI Jian-li, LI Jing

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: The paper analyzed the ecological cost and direct cost of grain production in the Guanzhong—Tianshui Economic Zone using the principal component analysis based on the theories of ecology, economics and water and soil conservation combined with remote sensing image. The results demonstrated that the ecological cost of grain production reached to 0.8 yuan/kg, direct cost of production was about 1.45 yuan/kg, which led the total cost of 2.25 yuan/kg close to the sale price of 2.56 yuan/kg in Guanzhong—Tianshui area. Soil erosion was an important factor affecting the ecological cost of food production and high seed price and machinery expense are the key factors that caused high food production cost. The situation of high cost and low income would significantly discourage farmers engaging in the food production therefore it is important to make full use of agricultural resources, increase investment in agricultural science and technology and expand the farming scale in order that the unit ecological cost of food production be reduced.

Keywords: food production; ecological cost; Guanzhong—Tianshui Economic Zone

粮食是一种特殊的战略物资,粮食安全对于保障及促进我国国民经济健康持续发展具有非常重要的战略意义。人类的生产经营活动必然对生态环境产生一定影响,粮食生产更是如此。正确评估粮食生产生态成本,对正确评价农业生产的经济效益,实现区域生态经济可持续发展,调控粮食生产格局和制定相关产业政策等都具有指导意义。近几十年来,全球生态问题日益严重、生态质量进一步恶化,对人类的生存和发展构成了严重威胁,生态安全理念在此背景下提出。其中,农业生态处于无污染、未破坏、不受威胁的健康状态为整个国家的生态安全提供基础保证,是实现农业可持续发展的基本前提,是实现我国农业与

世界农业接轨的必然要求^[1]。国内对生态安全的研究是从 20 世纪 90 年代起步,到 90 年代后期才逐渐为人们所重视,尤其是近年来已成为科学界和公众讨论的热点问题。曹志宏,郝晋珉,梁流涛等人^[2]进行了黄淮海地区耕地资源价值核算,得出耕地资源经济价值、生态价值与社会价值的比大约为 1:2:3。李晓^[3]等人进行了不同类型区粮食生产生态成本典型案例研究,得出 2008 年红壤丘陵区、黄土高原沟壑区和黄淮海冲积平原区粮食生产生态损失成本依次为:0.30,0.61 和 0.10 元/kg。每年美国由水土流失引起的农业的经济损失是非农业的经济损失的 0.5 倍,大约是 1.00×10^9 美元,其中农业直接的经济损失是

收稿日期:2012-10-30

修回日期:2012-11-15

资助项目:国家自然科学基金项目“关中—天水经济区人口发展功能区划研究(41001388);西北黄土高原台塬区土地资源开发利用与生态安全动态分析(41071057)”;陕西省科技计划项目(2012JM5011)

作者简介:李建丽(1989—),女(汉族),河南省南阳市人,硕士研究生,研究方向为资源环境遥感与 GIS。E-mail:lijianlisnu@sina.cn。

$0.53 \times 10^9 \sim 0.59 \times 10^9$ 美元,作物产量下降引起的经济损失是 $0.11 \times 10^9 \sim 0.17 \times 10^9$ 美元^[3]。目前学术界对于生态成本损失的经济价值核算多集中在森林、草原等自然生态系统领域,对于粮食生产的生态成本计算相对较少^[4]。粮食生产必然会引起环境问题,本研究采用已有的水土流失经济损失计算方法,以关中天水经济区为研究对象,结合关中天水经济区 2010 年遥感影像数据对粮食生产的生态成本进行探究,以期正确评价关中天水经济区粮食生产的经济效益,以及制定相关粮食生产政策提供理论依据。

1 研究区概况

关中—天水经济区包括陕西省西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南、杨凌、商洛(部分区县)和甘肃省天水所辖行政区域,面积 $8.01 \times 10^4 \text{ km}^2$,直接辐射区域包括陕西省陕南的汉中和安康地区,陕北的延安和榆林地区,甘肃省的平凉、庆阳和陇南地区。关中—天水经济区耕地面积为 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占总面积的 44%,该区域主要粮食作物为小麦和玉米,一年两熟,属于暖温带半湿润季风气候,年均气温 $12 \text{ }^\circ\text{C}$,降水量 680 mm,无霜期 204 d,昼夜温差大,年日照时数达 2 616 h。区域内土壤保墒性好,适宜种植业的发展。本研究于 2012 年 7 月对关中—天水经济区 2011 年的农业生产情况进行了调查,选择杨凌区、天水市、宝鸡市、西安市、商洛市 5 个典型区域进行调查。结合 2010 年关中天水经济区的遥感影像估算出关中—天水经济区 2011 年各个市区的粮食生产的生态成本的平均值。

2 粮食生产的生态成本估算方法

粮食生产成本有直接生产成本和资源环境生产成本,而资源环境成本包括生态损失成本和环境损害成本^[5],本研究主要分析粮食生产过程的生态损失成本和直接生产成本,粮食生产的生态损失成本包括泥土流失价值、养分流失价值、土地资源废弃成本、土壤水源涵养功能损失、水环境污染成本、作物减产损失等。粮食的直接生产成本包括种子费用、化肥费用、有机肥费用、农药费用、农膜费用、灌溉费用、农业机械费用、劳动力支出费等。

2.1 粮食生产的生态成本

2.1.1 泥土流失价值的估算 泥土流失价值的估算方法有市场价值法和影子工程法,一般采用市场价值法比较方便,市场价值法^[6]是指对有市场价格的生态系统产品和服务进行估价的一种方法,通过市场来体现生态系统服务的价值。该方法在估算中最常使用,

主要用于产品供给功能的价值估算。泥土流失的价值计算公式为:

$$ELS = SL \times P \quad (1)$$

式中:SL——泥土的流失量;P——采用烧制砖瓦的成本价格,因为流失的泥土大部分为耕层土,而耕层土的养分将在下文计算,因此 P 应不包括养分的价值。通过调查 5 个典型区的国土资源局可知关中天水经济区砖瓦的平均价格约为 12 元/ m^3 。泥土的流失量与耕地面积、土壤的年平均侵蚀强度有关,而土壤的年平均强度又与土壤的容重以及平均土壤侵蚀强度成比例关系,则泥土的流失量方程可以写为:

$$SL = S \cdot R \cdot \Delta H \quad (2)$$

式中:S——各区域的耕地面积;R——土壤的容重(g/cm^3),关天经济区的土壤容重在 $1.3 \sim 1.5 \text{ g}/\text{cm}^3$, ΔH 表示平均土壤侵蚀强度,为方便计算,各个市区的土壤侵蚀强度,取该区域的平均值^[7]。

2.1.2 养分流失价值的计算 伴随着泥土的流失,土壤中含有的养分会随着流失,养分流失量 NL 计算公式为^[8]:

$$NL = SL \cdot CN_i \quad (3)$$

式中:NL——土壤中 i 中养分的流失量; CN_i ——土壤中 i 中养分的含量,可以通过关中天水地区的遥感影像上获取。采用市场价值法可以计算出养分流失的价值。用 EL 表示:

$$EL = \sum PN_i \cdot NL_i \quad (4)$$

式中: PN_i ——养分 i 的价格; NL_i ——养分 i 的流失量。在计算过程中,将碱解氮折合成氮肥,采用硫酸铵进行计量;速效磷折算为磷肥,采用过磷酸钙进行计量;速效钾折算为钾肥,采用氯化钾进行计量;有机质可以用秸秆或者农家肥进行计量。根据这个原理,在 ArcGIS 软件中添加上相应的字段,运用栅格计算工具进行计算,得到关中天水经济区粮食生产过程中泥土流失量,然后在属性表中计算出泥土流失量的价值。

2.1.3 土地资源废弃成本 土壤遭受持续流失数年后,土地将无法耕种。采用水土流失面积乘以年平均侵蚀厚度再除以平均土层厚度,可得侵蚀毁坏的土地面积。调查得关中天水经济区的平均土层厚度大于 100 cm,为了便于计算,取 100 cm 为准。土壤侵蚀厚度在泥土流失价值中已经给出。一般采用机会成本法,计算公式为^[9]:

$$EC = \sum S_i \cdot V_i \cdot P_i \cdot T_i \quad (5)$$

式中: S_i ——土地废弃的面积; $V_i \cdot P_i$ ——单位土地的产出与其价格的乘积,也即单位土地的年收益; T_i ——持续的时间,一般选择 10 a。在当前的技术条件下,利用 ArcGIS 软件,将各个因素在属性表中表

示出来,然后进行字段计算,得出该区域土地资源废弃成本。

2.1.4 土壤水源涵养功能损失 一般情况下,农田涵养水源的功能价值与当地土壤物理性质、土层厚度以及耕作方式有很大关系,通常采用替代工程法进行价值估算,替代工程法^[10]是指当环境受到污染或破坏后以人工建造一个工程来替代原来的生态功能,用建造新工程的费用来估计环境污染或破坏所造成的经济损失。如生态系统的水分调节能力可以用建立一个同样蓄水量的水库的花费来确定。替代工程法主要用于涵养水源功能的价值估算。在替代工程法中,首先根据不同土壤类型的田间持水量、土壤容重和土地利用等属性,分别估算其持水量,然后运用替代工程法,以水库蓄水成本为参照,计算涵养水源功能的价值。估算公式为:

$$V_{\text{水}} = W \cdot C \quad (6)$$

式中: $V_{\text{水}}$ ——指蓄水价值; W ——蓄水量; C ——水库蓄水成本

土壤蓄水量 W 根据土壤含水率及种植区面积等数据推算得出,计算公式为:

$$W = \rho \cdot S \cdot h \cdot p \quad (7)$$

式中: ρ ——土壤容重(g/cm^3); S ——种植面积(hm^2); h ——土壤厚度(cm); p ——土壤含水率(%)。其中,土壤容重在前面的计算中已经提及,种植面积即为耕地面积,土壤厚度取为 100 cm,土壤含水率一般为 8%~13%,本研究取土壤含水率平均值 10%以便统一运算。

2.1.5 农作物减产损失 伴随着泥土的流失,土壤中养分也随着流失,从而造成农作物产量的减少,农作物减产损失计算公式为:

$$PL = \sum(\alpha \cdot \Delta H \cdot b_i \cdot G_i) \quad (8)$$

式中:PL——作物的减产量(kg); G_i ——作物 i 的水土流失面积(hm^2); α ——耕地复种指数,取值为 150%;参数 $b_i = Y_{oi}/H$,式中: Y_{oi} ——作物 i 的标准产量(kg/hm^2), H ——表土层厚度(cm)。作物减产损失可通过 PL 乘以作物 i 的价格得到。

2.1.6 水环境污染成本 在实际工作中,判断水环境是否被污染或被污染的程度常以《地表水环境质量标准(GB3838—2002)》为参照。因此采用的估算公式为:

$$M_i = L_i \cdot C_i \quad (9)$$

式中: M_i ——污染物 i 的治理费用; L_i ——污染负荷,等于耕地类型的主要污染物的输出系数与耕地面积的乘积; C_i ——污染物的单位治理成本。由于污

染物的消减存在着协同作用,因此在计算中选择单项污染物治理因子的最高费用,作为污染物治理的最终费用,而不必将各种污染物的单因子处理成本相加。即, $M = \max(M_i)$

通过总结前人研究成果^[11-17],查找中国环境统计年鉴^[18],可以得出耕地主要污染物的输出系数为 47 kg/km^2 ,治理费用为 2.17 元/kg。同理,在 ArcGIS 软件中进行属性赋值,然后进行字段计算,得出水环境污染成本。

2.2 粮食生产的直接成本

粮食的直接生产成本由种子费用、化肥费用、有机肥费用、农药费用、农膜费用、灌溉费用、农业机械费用、劳动力支出费用 8 个要素组成。各种物质资料与服务费用核算以实际花费为总体原则,主要研究办法是自行购买的按购买价格来计算,自留或自产的按同等条件下其市场价格计算。劳动力支出费用包括家庭用工折价和雇工费用两部分。家庭用工折价等于劳动日工价和家庭用工天数的乘积,劳动日工价为当地的实际劳动工价;雇工费用是因雇佣他人劳动而实际支付的所有费用,包括支付的工资和合理的饮食费、招待费等。

3 粮食生产成本分析

3.1 粮食生产的生态成本分析

从表 1 中可知,关中—天水经济区各个市的平均粮食生产生态成本从 0.034 亿元到 0.5 亿元不等,占据当年种植业的 8%左右。其中在关中—天水各个市粮食生产过程的生态成本损失中,泥土流失价值所占的比例均为最高,分别占据所有生态损失的 90%左右,其中又以咸阳、商洛市、西安和天水市为最多。这是当地的耕地面积和生态环境引起的。其次是土地资源毁坏成本和养分流失成本,上述 3 种损失占据 6 种损失指标的比例较大,与实际情况相符合。由此可见,由粮食生产造成的生态水土流失现象在关中天水地区相当严重,生态环境已经遭到破坏。同时,在种植粮食的过程中,对于农田生态系统涵养水源,造成水环境的恶化,也产生了不小的影响。只有保护好生态环境,才能够保证粮食的安全生产以及生态、经济的快速持续发展。关中—天水经济区内粮食主要作物是小麦和玉米,因为在计算的过程中没有涉及农作物的种类,因此可以粗略的认为单位面积的农作物生态损失是相等的,依据这个原理,可以粗略的计算出关中天水地区单位面积的生态损失成本范围为 0.56~0.80 元/kg。

表 1 关中天水经济区粮食生产的生态成本

元

| 市区 | 土地资源毁坏成本 | 泥土流失价值 | 养分流失成本 | 涵养水源 | 水环境污染 | 农作物减产损失 |
|-----|------------|------------|-----------|--------|-------|---------|
| 商洛市 | 99 326.85 | 48 393 571 | 183 536 | 7 062 | 481 | 67 334 |
| 宝鸡市 | 58 110.19 | 65 645 371 | 25 800 | 8 187 | 557 | 70 412 |
| 铜川市 | 38 353.35 | 42 361 221 | 158 788 | 6 766 | 461 | 48 091 |
| 渭南市 | 69 957.85 | 8 866 095 | 33 575 | 7 319 | 498 | 50 965 |
| 西安市 | 19 335.63 | 48 055 860 | 182 462 | 9 078 | 618 | 23 899 |
| 咸阳市 | 111 133.21 | 49 152 761 | 186 308 | 9 463 | 592 | 49 282 |
| 杨陵区 | 3 044.01 | 3 490 457 | 1 915 | 15 198 | 1 035 | 7 432 |
| 天水市 | 138 729.86 | 47 959 416 | 4 911 177 | 6 942 | 473 | 4 592 |

3.2 粮食生产的直接成本

从表 2 可以看出,在所有的直接生产成本中,劳动力费用所占的比例最大,从 35.23%到 47.84%不等。其次是化肥费用和机械费用,化肥费所占比例最高可达 32.4%,而机械费所占比例最高可达到 20%。关中—天水经济区各个市的粮食生产的直接成本高低顺序分别为:天水市>咸阳市>宝鸡市>西安市>

商洛市>铜川市>渭南市>杨陵区。天水市粮食直接生产成本过高的原因是由于机械费用和劳动力成本以及化肥费用过高引起的。

通过计算得出,关中天水经济区粮食生产的直接成本最高已经为 1.76 元/kg。如果计算过程取其平均值,则关中天水经济区粮食的直接生产成本为 1.45 元/kg。

表 2 关中天水经济区粮食生产的直接成本

元

| 市区 | 种子费 | 化肥费 | 有机肥费 | 农药费 | 灌溉费 | 机械费 | 劳动力费 | 直接生产成本 |
|-----|-----|-------|------|-----|-----|-------|-------|--------|
| 商洛市 | 594 | 2 155 | 238 | 248 | 287 | 1 076 | 3 856 | 1.54 |
| 宝鸡市 | 624 | 1 935 | 277 | 175 | 105 | 1 582 | 3 927 | 1.62 |
| 铜川市 | 582 | 1 882 | 144 | 239 | 147 | 1 364 | 3 374 | 1.24 |
| 渭南市 | 538 | 2 454 | 188 | 334 | 179 | 1 213 | 2 668 | 1.21 |
| 西安市 | 504 | 1 957 | 194 | 206 | 265 | 1 289 | 3 958 | 1.55 |
| 咸阳市 | 590 | 2 126 | 353 | 136 | 243 | 1 135 | 3 199 | 1.65 |
| 杨陵区 | 518 | 2 035 | 152 | 138 | 218 | 848 | 3 585 | 1.02 |
| 天水市 | 632 | 2 174 | 273 | 156 | 293 | 1 893 | 3 695 | 1.76 |

3.3 粮食生产总成本分析

粮食生产的总成本既有生态成本,又有直接生产成本,影响粮食生产的因子很多,而且各个因子之间是存在着关联的,为了说明各因子对研究区域粮食生产总成本的影响,对生态成本和直接生产成本进行了主成分分析,在生态成本的分析中,发现水土流失价值所占的比重最大,因此可以粗略的将生态损失成本的 6 个因素归并为一个指标,即水土流失损失。在直

接生产成本中,没有农膜费用,所以这个指标可以略去,这样,粮食生产的总成本分析指标就有 8 个,即:水土流失损失、种子费、化肥费、有机肥费、农药费、灌溉费、机械费、劳动力费。

从表 3 的主成分分析结果可以看出,前 3 个主成分累计贡献率占据 77.938%,符合选择要求,因此,可以选择前 3 个因子作为分析关中天水地区粮食生产生态成本的公共因子。

表 3 粮食生产生态成本相关因素的特征值及主成分贡献率分析

| 指标 | 特征值分析 | | | 提取的公共因子 | | |
|----|-----------|-----------|---------|---------|--------|---------|
| | 特征值 | 贡献率/% | 累积贡献率/% | 特征值 | 贡献率/% | 累积贡献率/% |
| 1 | 3.019 | 37.740 | 37.740 | 3.020 | 37.740 | 37.740 |
| 2 | 1.840 | 22.999 | 60.739 | 1.840 | 22.999 | 60.739 |
| 3 | 1.376 | 17.199 | 77.938 | 1.376 | 17.199 | 77.938 |
| 4 | 0.817 | 10.211 | 88.149 | | | |
| 5 | 0.594 | 7.430 | 95.579 | | | |
| 6 | 0.216 | 2.695 | 98.273 | | | |
| 7 | 0.138 | 1.727 | 100 | | | |
| 8 | -2.73E-16 | -2.73E-16 | 100 | | | |

从表4可以看出,第一主成分因子主要是由水土流失价值、种植费用、机械费、有机肥费、劳动力费、灌溉费等决定的,这几个因子具有较高的正负荷,从第1主成分上可以看出,水土流失对于关中天水地区粮食的生态成本有重要影响,种子费用和机械费用过高是制约粮食生产成本过高的关键因素。这也反映出该区域水土流失的严重性,农民自有物质资料的投入和农业技术投入对粮食生产成本的影响。在第2主成分中,化肥费用和农药费用具有较大的载荷量,主要反映出农民的资金投入以及病虫害投入成本。因此可知,在种植粮食的过程中,要合理种田,适度增加化肥的投入,正确分配劳动力,从而减少生态成本。第3主成分反映了灌溉费用对生态成本的影响也是不容忽视的。

通过以上分析可知,在关中天水地区,水土流失是增加该区域粮食生产成本的最大因素,适度增加化肥的投入,合理分配劳动成本,正确进行灌溉,对于研究区域内的生态成本降低具有较大的促进作用。

表4 成分矩阵

| 指标 | 第1成分 | 第2成分 | 第3成分 |
|--------|--------|--------|--------|
| 水土流失价值 | 0.788 | 0.294 | 0.240 |
| 种子费 | 0.731 | 0.285 | -0.479 |
| 化肥费 | -0.292 | 0.905 | 0.206 |
| 有机肥费 | 0.656 | 0.374 | 0.016 |
| 农药费 | -0.717 | 0.394 | -0.303 |
| 灌溉费 | 0.281 | 0.226 | 0.849 |
| 机械费 | 0.674 | 0.244 | -0.467 |
| 劳动力费 | 0.548 | -0.669 | 0.127 |

4 结论

(1) 关中—天水经济区单位面积粮食生产的生态成本损失最低水平达到0.56元/kg,最高为0.8元/kg。

(2) 关中—天水经济区的粮食直接生产成本平均约为1.45元/kg,若加上生态成本0.8元/kg,则大概在2.25元/kg,而粮食的价格却在2.56元/kg。粮食的成本已经接近出售的价格。农业生产依旧是一个低收入行业,高成本低收益的情况势必会影响到农民种植粮食的积极性。

(3) 水土流失、化肥费用过高以及劳动力成本的提高是该区域粮食总成本的重要影响因素,因此,在以后的种植过程中,应当充分利用农业资源,加大科技投入,减少水土流失。

[参考文献]

- [1] 苏美岩. 试论我国农业生态安全[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(15): 3827-3828.
- [2] 曹志宏, 郝晋珉, 梁流涛. 黄淮海地区耕地资源价值核算[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(19): 6-9.
- [3] 李晓. 不同类型区粮食生产生态成本典型案例研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [4] 李晓, 谢永生, 李文卓, 等. 黄淮海冲积平原区粮食生产的生态成本[J]. 中国农业科学, 2011, 44(11): 2296-2298.
- [5] 李晓. 不同类型区粮食生产生态成本典型案例研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [6] 许雯雯. 关中地区种植业生态服务功能与价值评估研究[D]. 陕西 西安: 西北大学, 2009.
- [7] 程琳, 杨勤科, 谢红霞, 等. 基于GIS和CSLE的陕西省土壤侵蚀定量评价方法研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 62-66.
- [8] 朱高洪, 毛锋. 我国水土流失影响辨识与直接经济损失评估[J]. 中国水土保持, 2007(8): 5-6.
- [9] 张应龙, 谢永生, 文曼, 等. 黄土高原沟壑区粮食生产的资源环境成本[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 269-270.
- [10] 熊鹰, 王克林, 汪朝辉. 洞庭湖区退田还湖生态补偿机制[J]. 农村生态环境, 2003, 19(4): 10-12.
- [11] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters; The export coefficient modeling approach[J]. Journal of Hydrology, 1996, 183(3/4): 323-349.
- [12] Johnes P J, Healthwaite A L. Modelling the impact to land use change on water quality in agricultural catchments[J]. Hydrological Processes, 1997, 11(3): 269-286.
- [13] 蔡明, 李怀恩, 庄咏涛, 等. 改进的输出系数法在流域非点源污染负荷估算中的应用[J]. 水利学报, 2004(7): 40-45.
- [14] 王波, 张天柱. 辽河流域非点源污染负荷估算. 重庆环境科学, 2003, 25(12): 132-142.
- [15] 李怀恩, 庄咏涛. 预测非点源营养负荷的输出系数法研究进展与应用[J]. 西安理工大学学报, 2003, 19(4): 307-312.
- [16] 王少平, 俞立中, 许世远, 等. 苏州河非点源污染负荷研究[J]. 环境科学研究, 2002, 15(6): 20-27.
- [17] 阎伍玖. 巢湖流域不同土地利用类型地表径流污染特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 1998, 7(3): 274-277.
- [18] 中国环境统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.