

基于Logistic模型楚雄市龙川江下游水环境污染对农业经济效益影响研究

王天强^{*#}, 马贤成^{*}, 尹灶芹, 李婧婕, 李娜, 高明月, 陈仙

楚雄师范学院资源环境与化学学院, 云南 楚雄

收稿日期: 2023年5月7日; 录用日期: 2023年6月8日; 发布日期: 2023年6月20日

摘要

为研究楚雄市城市河流流域龙川江对农业经济效益的影响, 在楚雄市龙川江下游区段对镍、磷、氨氮、锰、六价铬、总铁、亚硝酸盐水质进行检测的基础上, 基于Logistic模型核算2022年5月~11月楚雄市龙川江下游区段水污染造成的农业经济损失。结果表明: 楚雄市龙川江下游氨氮和亚硝酸盐浓度总体上呈同步变化趋势, 氨氮指标对农业损失值影响最大, 农业经济综合损失率和农业经济损失值在9月达最高值, 农业经济综合损失率最高为99.1562%, 农业经济损失值最高值为119263.2万元。东盛桥断面农业经济累计损失298594.661万元, 双园桥断面农业经济累计损失188368.706万元。因此必须及时监测污染物浓度, 综合治理城市污水, 控制流域氨氮浓度, 降低水体污染物浓度。

关键词

Logistic模型, 水污染, 农业经济损失

Logistic Model Based on the Downstream of Chuxiong Longchuan River Water Environment Pollution on Study on the Impact of Agricultural Economic Benefits

Tianqiang Wang^{*#}, Xiancheng Ma^{*}, Zaoqin Yin, Jingjie Li, Na Li, Mingyue Gao, Xian Chen

College of Resources, Environment and Chemistry, Chuxiong Normal University, Chuxiong Yunnan

Received: May 7th, 2023; accepted: Jun. 8th, 2023; published: Jun. 20th, 2023

^{*}共一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 王天强, 马贤成, 尹灶芹, 李婧婕, 李娜, 高明月, 陈仙. 基于 Logistic 模型楚雄市龙川江下游水环境污染对农业经济效益影响研究[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(3): 587-595. DOI: 10.12677/aep.2023.133072

Abstract

In a study of the impact of Longchuan River, an urban river basin in Chuxiong City, on the economic benefits of agriculture, based on the detection of nickel, phosphorus, ammonia nitrogen, manganese, hexavalent chromium, total iron and nitrite water quality in the downstream section of Longchuan River in Chuxiong City, based on Logistic model to account for May-November 2022 in the downstream section of Longchuan River in Chuxiong City The economic loss of agriculture caused by water pollution in the downstream section of Longchuan River in Chuxiong City from May to November 2022. The results showed that the ammonia nitrogen and nitrite concentrations in the downstream of Longchuan River in Chuxiong City generally showed a synchronous trend, the ammonia nitrogen index had the greatest impact on the value of agricultural losses, and the combined agricultural economic loss rate and the value of agricultural economic losses reached the highest value in September, with the highest combined agricultural economic loss rate of 99.1562% and the highest value of agricultural economic losses of 119,263,000 yuan. The cumulative loss of agricultural economy of Dongsheng Bridge section is 298,594,661,000 Yuan, and the cumulative loss of agricultural economy of Shuang Yuan Bridge section is 188,368,706,000 Yuan. Therefore, it is necessary to monitor and control in a timely manner, comprehensive management of urban sewage, control the concentration of ammonia and nitrogen in the watershed, and reduce the concentration of pollutants in the water body.

Keywords

Logistic Model, Water Pollution, Economic Loss in Agriculture

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水环境污染是当前我国环境保护工作中最复杂且最具挑战性的问题之一,二十多年来,中国水污染治理所面临的挑战不断发生变化,富营养化、重金属污染、持久性有机污染物和一些新型有毒化学物质的污染风险不断增加。

水资源在农业生产中具有重要的作用,相对的水污染也会对农作物造成严重危害,不仅会导致农作物减产,还会引发土壤及周边环境恶化,对人畜健康造成危害,直接将受污染的水用于农田灌溉会对农作物生长造成影响或者减少用于农业生产的水量,对粮食安全与农业生产构成威胁,并进一步制约农业经济的发展[1]。农业生产中农作物的生长发育离不开水体的灌溉,然而污水灌溉农田中的农作物后则会导致农作物的减产以及影响农作物的质量[2]。工业生产行业在工厂运作中会产生大量的工业废水,若这些废水不经过标准化处理,被直接排放到河流中,就会严重危害到周边的生态环境和水生物生存环境[3]。刘涛[4]等学者研究发现农业水污染是农业生态用水无效率的主要来源。李燕萍[5]学者认为随着水污染程度的增加,会导致水域环境发生变化,改变水体中的植物和动物群落结构。河道水体污染严重,直接影响到了周边经济的可持续发展,水污染导致农村地区的农民耕地受到严重影响,对农民的经济收入有一定影响[6]。孟建国[7]等学者运用 Logistic 模型来研究水污染造成的经济损失,证实严重的水污染确实会带来严重的经济损失。刘贤赵等[8]学者基于污染物的环境污染损失机理模型及环境价值相关理论,建立

了以水污染损失率为基础的水污染经济损失 Logistic 估算模型。孙金芳[9]等通过比较研究 Logistics 模型法和恢复费用法对水污染造成的经济损失发现, Logistics 模型法其估算结果更加贴近实际。

计算水污染引起的农业经济损失对于水污染治理具有重要意义, 本文以楚雄市龙川江下游为研究对象, 西起东盛桥, 向东以双园桥为终, 调查 2022 年 5 月至 11 月龙川江水质状况。龙川江在当地水功能区划中, 执行地表水Ⅲ类水标准, 本文参照国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002), 选择镍、磷、氨氮、锰、六价铬、总铁、亚硝酸盐作为对龙川江水质进行评价的因子。借助 Logistic 模型, 核算农业经济损失值, 分析 2022 年 5 月至 11 月龙川江水质变化对农业经济效益的影响, 为地区农业发展提出相关建议。

2. 材料与方法

2.1. 材料

1) 设备: 量筒、烧杯、滴定液、移液管、取样瓶、漏斗、滤纸等。

2) 试剂: 镍试剂盒、磷试剂盒、氨氮试剂盒、锰试剂盒、六价铬试剂盒、总铁试剂盒、亚硝酸盐试剂盒等。

2.2. 方法

2.2.1. 水样采集及测定

采集水样以楚雄市龙川江东盛桥至双园桥流域为主, 于 2022 年 5 月、6 月、9 月、10 月、11 月每月对东盛桥、双园桥两个断面进行采样, 每次采样采两瓶水, 一瓶约 500 ml, 在采样时同时记录采样地点、时间、气温、水温等, 带回实验室后立即使用对应试剂盒进行水质测试。

2.2.2. Logistic 模型的构建

Logistic 模型是比利时生物数学家 PFVerhulst 在 1838 年提出的一个增长曲线模型, 其图像如图 1 所示[10]。对于水资源而言, 在一定的发展水平下, 其总体价值也必然存在一个阈值, 使得水污染造成的经济损失呈现出阻尼因子作用下的增长模式, 亦表现出如图 1 所示的变化规律。因此, 可用 Logistic 模型来描述水体中单一污染物造成的污染损失率, 为计算水污染对农业经济损失奠定基础[11]。

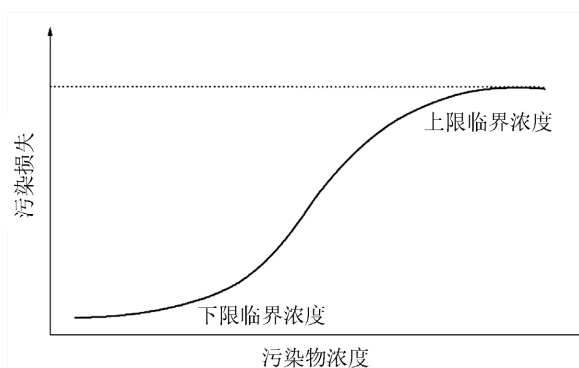


Figure 1. Relationship between pollution loss and pollutant concentration

图 1. 污染损失与污染物浓度的关系

2.2.3. 单一污染物对水体经济价值损失模型

单一污染物造成的污染损失率可以采用 Logistic 模型进行计算[12]:

$$R = \frac{1}{1 + \alpha \cdot \exp(-\beta c)} \quad (1)$$

式中: c 为污染物实际浓度, mg/L; 参数 α 、 β 由下式求得[13] [14]:

$$\alpha = \left[\frac{(1 - R_B)}{R_B} \right] \exp \left[\frac{f C_B}{(C_M - C_B)} \right] \quad (2)$$

$$\beta = f (C_M - C_B) \quad (3)$$

$$f = \ln R_M (1 - R_B) / R_B (1 - R_M) \quad (4)$$

式中: C_B 、 C_M 、 R_B 和 R_M 分别为污染物的本底浓度, 引起水体严重污染式的临界浓度, 本底浓度时对应的污染损失率和最高浓度时对应的污染损失率。

水污染对水体造成的经济损失 S 可以由该水体洁净时的总价值 k 与污染物对水体造成的损失率 R 的乘积表示, 即:

$$S = kR \quad (5)$$

式中: k 可以取当年的地区农业产值进行估算。

2.2.4. 复合污染物对水体经济价值损失模型

在单一污染物对水体经济价值损失模型基础上, 依据概率论知识, 当水中存在一种以上的污染物时, 其综合损失率并不等于各项损失率的简单相加。假设有 n 种相互独立的污染物共存, 其对水体第 i 项功能的综合经济损失率 R' 可采用下式进行计算[15]:

$$R' = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (6)$$

式中: n 为水体中污染物种类; R 为单一污染物 i 对水体造成的经济损失率。

与式(5)相似, 复合污染对水体造成的经济损失 S 可用下式进行测定:

$$S = kR' \quad (7)$$

式中: k 可以取当年的地区农业产值进行估算。

3. 楚雄市龙川江水质现状及农业经济分析

3.1. 水质指标监测分析

2022年5月至11月每月采样测定的水质指标数据用试纸测试法计算统计浓度值, 测定结果见表1、表2。

Table 1. Concentrations of major pollutants at the Dongsheng Bridge section (unit: mg/L)

表 1. 东盛桥断面的主要污染物浓度(单位: mg/L)

月份	镍	磷	氨氮	锰	六价铬	总铁	亚硝酸盐
5月	0.07	0.040	0.30	-	-	0.070	0.15
6月	0.08	0.170	0.70	-	-	0.075	0.45
9月	0.14	0.075	0.90	-	-	0.075	0.25
10月	0.05	0.050	0.80	-	-	0.060	0.04
11月	0.02	0.050	0.52	-	-	0.050	0.04

注: “-”表示未检出。

Table 2. Concentration of main pollutants at the cross section of the Shuangyuan Bridge (unit: mg/L)
表 2. 双园桥断面的主要污染物浓度(单位: mg/L)

月份	镍	磷	氨氮	锰	六价铬	总铁	亚硝酸盐
5月	0.07	0.05	0.70	-	-	0.060	0.25
6月	0.07	0.08	0.40	-	-	0.075	0.40
9月	0.12	0.045	0.80	-	-	0.075	0.45
10月	0.05	0.03	0.50	-	-	0.070	0.06
11月	0.04	0.02	0.13	-	-	0.030	0.06

注: “-”表示未检出。

依据地表水Ⅲ类水标准和污染物浓度可以得出镍、磷、氨氮、锰、六价铬、总铁、亚硝酸盐水质指标均未超标, 检测期内东盛桥断面镍污染物平均浓度为 0.072 mg/L, 磷污染物平均浓度为 0.077 mg/L, 氨氮污染物平均浓度为 0.644 mg/L, 总铁污染物平均浓度为 0.066 mg/L, 亚硝酸盐污染物平均浓度为 0.168 mg/L。双园桥断面镍污染物平均浓度为 0.072 mg/L, 磷污染物平均浓度为 0.045 mg/L, 氨氮污染物平均浓度为 0.506 mg/L, 总铁污染物平均浓度为 0.062 mg/L, 亚硝酸盐污染物平均浓度为 0.244 mg/L。两个断面监测期内氨氮污染物平均浓度最高。

3.2. 水质指标变化情况分析

如图 2、图 3, 总体来看两个断面的污染物浓度在 2022 年 5~9 月呈上升趋势, 10~11 月呈下降趋势, 该时段内上游流域正处于农业种植阶段, 大量的农业灌溉用水排入龙川江。此外, 楚雄市该时段全市降雨单点性强降水突出, 局部地区有洪涝发生, 气温正常略偏高, 使得水体溶解氧浓度降低, 导致氨氮和亚硝酸盐浓度升高。

氨氮和亚硝酸盐浓度总体上呈同步变化趋势。5~6 月期间, 东盛桥区域正值农业种植时期, 化肥使用频率较高, 水体中的氨氮随灌溉水体流入河流, 河流泥沙中硝化作用显著, 硝化细菌将土壤中的氨氮氧化成亚硝酸盐。因此, 出现相对位于上游的东盛桥断面水体中氨氮含量升高, 下游的双园桥断面氨氮含量下降, 而亚硝酸盐含量增加的情况。6~9 月东盛桥区域农作物逐渐成熟, 土壤有机质、根分泌物增加而碳供应提高, 反硝化作用显著增强, 微生物将硝酸盐和亚硝酸盐还原成氮气, 因此, 东盛桥断面氨氮含量增加, 亚硝酸盐含量降低。

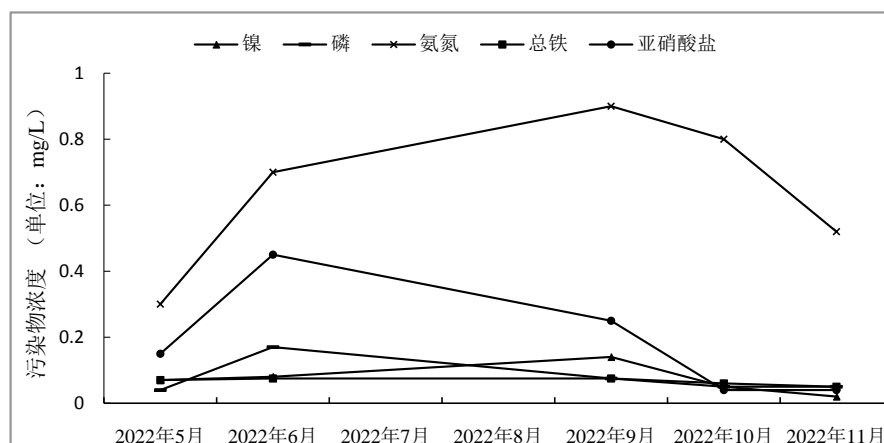


Figure 2. Dongsheng Bridge section monitoring period water quality map

图 2. 东盛桥断面监测期内水质情况图

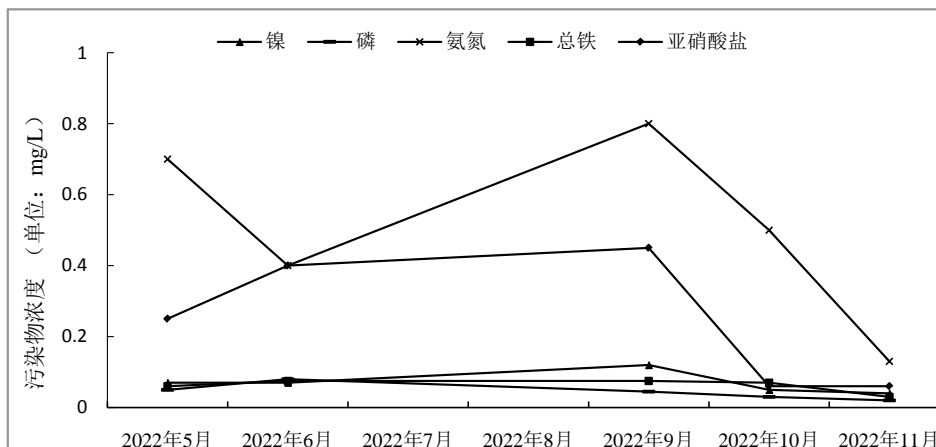


Figure 3. Water quality in the monitoring period of the Shuangyuan section
图 3. 双园断面监测期内水质情况图

4. 基于 Logistic 模型的楚雄市龙川江下游水污染经济损失核算

4.1. 水污染经济损失相关参数估算

选用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的水源地饮用水标准 II 类水质确定水体中各污染物因子的本底浓度, V 类水质确定水体中各污染物因子引起水体严重污染式的临界浓度。假定污染物在本底浓度状态和严重污染临界状态对水资源的综合损失率分别为 1% 和 99%, 以此及式(2)~(4)来确定参数 α 和 β , 得到结果见表 3。

Table 3. Estimation results of water pollution economic loss related parameters
表 3. 水污染经济损失相关参数估算结果

参数	总铁	锰	镍	磷	氨氮	六价铬
α	275.1	275.1	275.1	2126.2	2126.2	979815.8
β	2.484	0.828	0.166	2.7600	13.800	0.460000

4.2. 单项指标污染损失率和综合损失率核算

将 α, β 值及各污染物浓度 c 值带入式(1)计算得到两个断面各污染物对水体经济价值的污染损失率 R , 然后根据式(6)计算每年水体污染的综合污染损失率 R' , 结果如表 4 所示。

Table 4. Economic loss rate of pollution and economic loss rate of composite pollutants for each indicator at Dongsheng Bridge and Shuangyuan Bridge cross-sections %

表 4. 东盛桥和双园桥断面各指标造成的污染经济损失率和复合污染物经济损失率%

断面	月份	单项指标污染损失率 R (%)				综合损失率 R' (%)
		镍	磷	氨氮	总铁	
东盛桥	5 月	0.36640	0.05250	2.86900	0.42360	3.68541
	6 月	0.00367	0.07510	88.0577	0.42840	88.1613
	9 月	0.00370	0.05780	99.1490	0.42840	99.1562
	10 月	0.00365	0.05400	96.7007	0.41430	96.7281
	11 月	0.00363	0.05400	38.0815	0.40510	38.5896

Continued

	5月	0.36640	0.05400	0.88057	0.41430	88.1571
	6月	0.36640	0.05860	10.5073	0.42840	11.2692
双园桥	9月	0.36950	0.05320	96.7007	0.42840	96.7287
	10月	0.36520	0.05110	31.8192	0.42360	32.3905
	11月	0.36460	0.00497	0.28200	0.38740	1.03539

从表 4 中可以看出东盛桥和双园桥断面各水质指标造成的污染损失率差异较大, 氨氮单项指标污染平均损失率最高, 磷单项指标污染平均损失率最低。东盛桥断面 6、9、10 月的综合损失率明显高于其他月份, 原因是此期间处于雨季, 降雨单点性强降水突出, 局部地区有洪涝发生, 导致氨氮和亚硝酸盐浓度升高。双园桥断面 5 月和 9 月明显高于其他月份, 原因是 5 月处于旱季, 双园桥为城市河流段区, 城市污染较为突出, 9 月处于雨季降雨单点性强降水突出, 导致氨氮和亚硝酸盐浓度升高, 研究期内受到旱季、雨季、城市污染的影响, 导致各月份综合损失率变化不稳定。

4.3. 楚雄市龙川江下游农业损失值核算

分别用公式(1)、(6)计算楚雄市龙川江下游水体单项指标污染损失率和综合污染损失率, 由于计算的是河流水污染造成的农业损失值, 所以获取楚雄市 2022 年 5 月至 10 月农业总产值数据, 由此计算出水污染造成的农业损失值, 计算结果见表 5。

Table 5. Loss rates and loss values for the lower Longchuan River cross-sections at Dongsheng and Shuangyuan bridges in Chuxiong, May~November 2022

表 5. 2022 年 5~11 月楚雄市龙川江下游东盛桥和双园桥断面的损失率和损失值

断面	月份	单项指标污染损失率 R' (%)				综合损失率%	农业产值(万元)	损失(万元)
		镍	磷	氨氮	总铁			
东盛桥	5月	0.36640	0.05250	2.86900	0.42360	3.68541	35154	1295.5
	6月	0.36700	0.07510	88.0577	0.42840	88.1613	35591	31377.5
	9月	0.37000	0.05780	99.1490	0.42840	99.1562	120278	119263.2
	10月	0.36500	0.05400	96.7007	0.41430	96.7281	111054	107420.5
	11月	0.36300	0.05400	38.0815	0.40510	38.5896	101680	39237.9
双园桥	5月	0.36640	0.05400	0.88057	0.41430	88.1571	35154	30990.7
	6月	0.36640	0.05860	10.5073	0.42840	11.2692	35591	4010.8
	9月	0.36950	0.05320	96.7007	0.42840	96.7287	120278	116343.4
	10月	0.36520	0.05110	31.8192	0.42360	32.3905	111054	35970.9
	11月	0.36460	0.00497	0.28200	0.38740	1.03539	101680	1052.7

从各水质指标来看, 各水质指标造成的污染损失率差异较大, 其中氨氮指标污染损失率最高, 镍指标污染损失率最低。表明研究区域内氨氮指标对农业损失值影响最大。东盛桥断面所在区域的农业经济综合损失率在 9 月最高, 高达 99.1562%, 农业经济损失 9 月最高, 高达 119263.2 万元, 研究期间农业经济累计损失 298594.661 万元, 其中 9 月占 39.94%; 双园桥断面的农业经济综合损失率在 9 月最高, 高达 96.71871%, 农业经济损失 9 月最高, 损失 116343.4 万元, 研究期间农业经济累计损失 188368.706 万元, 其中 9 月占 61.76%。

4.4. 龙川江水污染对农业影响及对策研究

1) 龙川江水环境存在的主要问题

在雨季短时间强降雨容易造成水质恶化, 在旱季气温偏高会降低水体的自净能力、持续高温降低水体溶解氧浓度、城市生活污水、农田排水以及其他有害物质直接或间接进入河流, 导致水体中氨氮、磷、亚硝酸盐等浓度偏高, 农业损失值增加。

2) 针对龙川江水环境现状相关对策

控制污染浓度, 大力发展农业节水灌溉, 积极推广水肥一体化技术。严格控制城市污水乱排放情况、加强农业排放治理, 加大废水治理力度, 及时监测, 降低水体污染物浓度, 降低农业经济损失值。

5. 结论

从本文研究楚雄市河流水体的水质指标变化情况来看, 楚雄市龙川江下游氨氮和亚硝酸盐浓度总体上呈同步变化趋势。水体各项指标污染浓度值、各指标造成的污染经济损失率和复合污染物经济损失率同样在 5 月开始升高, 最高值出现在 9 月, 且 9 月后开始降低。两个断面各水质指标造成的污染损失率中氨氮指标污染损失率最高。研究流域区段内农业经济综合损失率和农业经济损失值在 9 月达最高值, 农业经济综合损失率最高为 99.1562%, 农业经济损失值最高值为 119263.2 万元。东盛桥断面农业经济累计损失 298594.661 万元, 双园桥断面农业经济累计损失 188368.706 万元。

楚雄市河流水体农业经济综合损失率和农业经济损失值在 9 月最高, 主要原因是在雨季短时间强降雨容易造成水质恶化, 在旱季气温偏高会降低水体的自净能力和溶解氧浓度, 城市生活污水及其他有害物质直接或间接进入河流, 导致水体中氨氮、磷、亚硝酸盐等浓度偏高, 农业损失值增加。因此必须及时监控, 综合治理城市污水, 控制流域氨氮浓度, 降低水体污染物浓度, 这对楚雄市文明城市创建有重大意义。

基金项目

2021 年云南省大学生创新创业训练计划建设项目。

参考文献

- [1] 李辰. 农业经济与水资源环境的协调耦合发展研究[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(11): 217-220.
- [2] 杨枝茂. 水质污染对农业经济的影响及治理[J]. 农业经济, 2017(10): 19-21.
- [3] 奚磊. 水污染的危害与防治对策探讨[J]. 绿色环保建材, 2020(2): 79.
- [4] 刘涛, 崔永正, 李继霞. 基于水污染视角的中国农业生态用水效率及其影响因素[J]. 水土保持研究, 2021, 28(5): 301-307.
- [5] 李燕萍. 浅谈环境保护中的水污染治理措施[J]. 资源节约与环保, 2022(1): 96-99.
- [6] 梁晓霞. 河道整治中的水污染治理措施探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022(27): 57-59.
- [7] 孟建国, 苗丽华, 刘洪瑞. 基于 Logistic 模型的水污染经济损失计量研究——以大沽夹河为例[J]. 新疆环境保护, 2008, 30(3): 12-16.
- [8] 李嘉竹, 刘贤赵, 李宝江, 等. 基于 Logistic 模型估算水资源污染经济损失研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(9): 1667-1675.
- [9] 孙金芳, 单长青. Logistic 模型法和恢复费用法估算城市生活污水的价值损失[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 11443-11444.
- [10] Anil, M. and Satej, B. (2004) Predicting Polymorphic Trans-Formation Curves Using a Logistic Equation. *International Journal of Pharmaceutics*, **286**, 125-129.
- [11] 詹晓燕, 刘臣辉. 基于 Logistic 模型水环境污染农业经济损失研究[J]. 环境保护与循环经济, 2010, 30(2): 73-76.

- [12] 刘耀源, 邹长武, 郭光义, 杜朗, 周媛媛, 罗茜. 基于 Logistic 模型估算江安河武侯区水污染经济损失[J]. 中国农村水利水电, 2011(12): 33-35.
- [13] 黄进勇, 王兆骞. 水体污染经济损失估算模型及其应用[J]. 生物数学学报, 2003, 18(1): 37-42.
- [14] 朱发庆, 高冠民, 李国侗, 栗晋斌, 秦工一. 东湖水污染经济损失研究[J]. 环境科学学报, 1993, 13(2): 214-222.
- [15] 杨清伟. 重庆市水污染经济损失的初步估算[J]. 中国农村水利水电, 2008(4): 98-99, 104.