

安徽省巢湖流域众兴水库小流域 农业面源污染调查与评价

武升¹, 张俊森¹, 管飞¹, 朱奎峰², 李小刚², 马友华¹

(1. 安徽农业大学 资源与环境学院, 安徽 合肥 230036; 2. 安徽省肥东县农技综合服务中心, 安徽 肥东 231600)

摘要: [目的] 对安徽省巢湖流域众兴水库小流域农业面源污染情况进行调查分析和评价, 了解该地区农业面源污染的现状和特征, 以期制定针对性防控措施提供参考依据。[方法] 应用等标污染负荷法, 通过问卷调查形式对巢湖流域众兴水库小流域内进行实地的走访调研, 对水库周边 3 个村域的种植、养殖及人居面源污染进行分类调查和核算分析。[结果] ① 众兴水库项目区周边 3 个村落地源污染排放源中, 养殖业污染物的排放量和污负荷率最大, 污染物排放量达到 109.00 t, 污负荷率最大为 57.52%; 种植业化肥施用带来的面源污染物总量达 25.52 t, 负荷率为 13.47%。生活污染源污染负荷为 29.01%, 污染物总量达到 54.97 t。② 在化学需氧量(COD), TN, TP 这 3 个评价因子中, 以 COD 的污染负荷率最高, 达 74.26%; TN 污染负荷率为 21.13%; TP 的污染负荷率为 4.61%。[结论] 小流域内养殖业的污染物排放是威胁众兴水库水源地饮用水安全的主要构成因子, 也是农业面源污染防控的重点。

关键词: 巢湖流域; 农业面源污染; 调查; 评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0198-06

中图分类号: X524

文献参数: 武升, 张俊森, 管飞, 等. 安徽省巢湖流域众兴水库小流域农业面源污染调查与评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2):198-203. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.032. Wu Sheng, Zhang Junsen, Guan Fei, et al. Investigation and evaluation of agricultural non-point source pollution in Zhongxing Reservoir small watershed of Chaohu Lake basin, Anhui Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2):198-203.

Investigation and Evaluation of Agricultural Non-point Source Pollution in Zhongxing Reservoir Small Watershed of Chaohu Lake Basin, Anhui Province

WU Sheng¹, ZHANG Junsen¹, GUAN Fei¹, ZHU Kuifeng², LI Xiaogang², MA Youhua¹

(1. College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China;

2. Anhui Feidong County Agricultural Technology Integrated Service Center, Feidong, Anhui 231600, China)

Abstract: [Objective] The investigation and evaluation of agricultural non-point source pollution in small watershed of Zhongxing Reservoir of Chaohu Lake basin, Anhui Province, were conducted to understand the status quo and characteristics of agricultural non-point source pollution in this area and to provide reference for the pollution prevention and control measures. [Methods] Using standard pollution load method, the pollution status in the Chaohu Lake basin, Zhongxing Reservoir small watershed was investigated by questionnaires method and measured whereafter. The non-point pollutions sourced from cultivation, breeding and human living of three villages around the reservoir, were classified and accounted. [Results] ① The pollution and pollutant discharge rate of aquaculture industry was the largest in the three villages around the Xingxing Reservoir project area. The pollutant discharge reached to 109.00 t, the maximum pollution load rate was 57.52%. The pollutant amount from planting industry fertilization was up to 25.52 t, had a load rate of 13.47%. The pollution load of human living was 29.01%, and the total amount of pollutants was

收稿日期: 2017-08-02

修回日期: 2017-09-21

资助项目: 国家发改委肥东县农业突出环境治理项目“肥东县农业面源污染综合治理试点项目”(2017FDHJ0360)

第一作者: 武升(1991—), 男(汉族), 安徽省宿州市人, 硕士研究生, 研究方向为农业资源与环境。E-mail: 1916684369@qq.com。

通讯作者: 马友华(1962—), 男(汉族), 安徽省霍邱县人, 博士, 教授, 从事农业资源与环境方面的研究。E-mail: yhma@ahau.edu.cn。

54.97 t. ② For the three evaluation factors of chemical oxygen demand(COD), TN and TP, they had the pollution load rates 74.26%, 21.13%, and 4.61%, respectively. [Conclusion] The discharge of pollutants in aquaculture in small watershed is the main influence factor for drinking water safety in Zhongxing reservoir water source, and it should be focused in agricultural non-point source pollution prevention and control.

Keywords: Chaohu Lake watershed; agricultural non-point source pollution; investigation; evaluation

农业面源污染是由农业生产活动中溶解的或固体的污染物,从非特定的地域,在降水和径流冲刷作用下进入水体,引起的水体污染^[1-2]。近年来,小流域范围内的面源污染越来越严重,对流域内的水体安全造成严重威胁,以小流域范围进行面源污染的治理已成为控制农业面源污染和治理水土流失的重要方式。孙海军等^[3-4]分别对太湖流域浙北山区小流域农社区面源污染物氮、磷排放规律进行调查,研究表明种植业和养殖业污染是该小流域的主要污染物来源。张小勇等^[5]对丹江口库区湖北水源区农业面源污染现状采用综合调查的方法,将水源区 31 个乡镇的农业面源污染现状进行调查汇总,用产污系数法、排污系数法测算区域内各类农业污染源产生与排放污染物的总量,对各污染源污染情况进行了对比分析。焦卫东等^[6]对厦门石兜一坂头水库库区水质污染源调查与评价,并提出了该流域综合治理提出了相关对策。

研究安徽省巢湖流域众兴水库小流域农业面源污染现状和来源,对了解巢湖流域的小流域内农社区经济社会的可持续发展和环境保护,具有迫切的现实意义和重要的科学意义。据安徽省合肥市环境监测部门 2015 年对巢湖区和 9 条主要环湖河流出、入湖水水质进行了监测,结果显示,在主要环湖河流中南淝河等入湖河流水质污染较重,众兴水库小流域位于肥东县城北 15 km,属巢湖水系南淝河支流,是淠史杭灌区滁河干渠上的反调节水库。区内店埠河汇经南淝河是巢湖的主要支流之一,控制流域面积 114 km²,年均农业灌溉水量达 1.937×10⁷ m³。同时众兴水库作为水源地又承担着肥东县城和合肥市龙岗工业区 20 万居民的生活用水,年均供水量达 1.344×10⁷ m³。本文对巢湖流域众兴水库小流域农业面源污染情况进行调查分析研究,旨在促进小流域内农业良性循环和农业面源污染减排,以期为巢湖流域综合治理提供依据。

1 研究与评价方法

1.1 研究方法

为了较详细地了解众兴水库小流域内现有农业生产、生活方式对小流域内农业面源污染的影响状

况,通过设计农户调查表,在众兴水库小流域镇南、同心、长王 3 个社区对农户种植农作物种类、农田化肥施用、畜禽养殖、生活固体废弃物产生量情况进行实地问卷调查。通过实地调查农户情况并结合有关统计资料,分析流域内种植业对农业面源污染的影响。

1.2 评价方法

为了便于分析比较,本研究采用等标污染负荷评价法对众兴水库上流小流域内的 3 个自然社区区域的农业面源污染状况进行综合评价,评价因子选用 COD, TN 和 TP。主要计算公式为:

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{\alpha i}} \cdot Q_{ij} = \frac{M_{ij}}{C_{\alpha i}} \quad (1)$$

式中: P_{ij} ——第 j 个污染源的第 i 种污染物的等表污染负荷(m³/a); C_{ij} ——第 j 个污染源的第 i 种污染物的排放浓度; $C_{\alpha i}$ ——第 i 中污染物的评价标准; Q_{ij} ——第 j 个污染物的介质排放量(m³/a); M_{ij} ——第 j 个污染源第 i 种污染物流失量(t/a)。

第 j 个污染源有 n 个污染物,其源内的等标污染负荷为:

$$P_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (2)$$

式中: P_j ——第 j 个污染源有 n 个污染物,其源内的等标污染负荷(m³/a); P_{ij} ——第 j 个污染源的第 i 种污染物的等表污染负荷(m³/a)。

某地区有 m 个污染源,则该地区等标污染负荷为:

$$P = \sum_{j=1}^m P_j = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (3)$$

式中: P ——该地区等标污染负荷总数(m³/a); P_j ——第 j 个污染源有 n 个污染物,其源内的等标污染负荷(m³/a); P_{ij} ——第 j 个污染源的第 i 种污染物的等表污染负荷(m³/a)。

该地区第 j 个污染源的污染负荷比为:

$$K_j = \sum_{i=1}^n P_{ij} / P \quad (4)$$

式中: K_j ——该地区第 j 个污染源的污染负荷比, K_j 中最大值表示该地区内主要污染源,其值从大到小,可确定重点污染源; P_{ij} ——第 j 个污染源的第 i 种污染物的等表污染负荷(m³/a); P ——该地区等标污染负荷总数(m³/a)。

该地区第 i 个污染物的污染负荷比为:

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^n P_{ij}}{P} \quad (5)$$

式中: K_i ——该地区第 i 个污染物的污染负荷比, K_i 中最大值表示该地区内主要污染物, 根据其值从大到小排序可以确定该地区主要污染物; P_{ij} ——第 j 个污染源的第 i 种污染物的等表污染负荷 (m^3/a); P ——该地区等标污染负荷总数 (m^3/a)。

化肥施用折纯量计算公式分别为: N 含量 (kg/hm^2) = 尿素 (kg/hm^2) \times 0.467 + 复合肥 (kg/hm^2) \times N 含量比例系数; P_2O_5 含量 (kg/hm^2) = 尿素 (kg/hm^2) \times 0.467 + 复合肥 (kg/hm^2) \times P_2O_5 含量比例系数; K_2O 含量 (kg/hm^2) = 尿素 (kg/hm^2) \times 0.467 + 复合肥 (kg/hm^2) \times K_2O 含量比例系数。

各污染源的排污量计算公式分别为: 畜禽粪尿排污量 = 排污系数 \times 饲养量; 生活污染排污量 = 排污系

数 \times 城乡人口数; 化肥污染排放量 = 排污系数 \times 化肥施用量; 精养鱼塘排污量 = 排污系数 \times 鱼塘面积。

2 结果与分析

2.1 种植业面源污染分析

通过农户调查结果汇总分析显示众兴水库小流域内镇南、同心、长王社区耕地面积分别为 502.13 hm^2 , 213.33 和 626.67 hm^2 , 耕地总面积为 1 342.13 hm^2 。3 个社区主要农作物播种面积见表 1。由表 1 可知, 3 个社区主要的种植方式为一年内水稻小麦轮作、水稻油菜轮作、少量种植玉米和蔬菜。由于众兴水库坐落在小流域流内, 为了涵养水源保护饮用水质量安全, 3 个社区耕地还林面积较大, 镇南、同心、长王社区林地面积分别为 2.00, 178.67 和 556.67 hm^2 , 林地总面积达到 737.33 hm^2 。

表 1 众兴水库项目区各社区主要农作物播种面积

社区名称	主要农作物播种面积/ hm^2						总播种面积
	水稻种植	油菜种植	小麦种植	玉米种植	蔬菜种植		
镇南社区	356.13	30.00	410.00	43.67	1.33		841.13
同心社区	23.33	2.00	35.33	4.00	0.80		65.47
长王社区	42.00	4.33	48.67	5.67	1.00		101.67
合计	421.47	36.33	494	53.33	3.13		1 008.27

表 2 为众兴水库项目区各社区不同作物肥料使用情况, 表 2 中氮、磷、钾肥施用量均指折纯后 N, P_2O_5 , K_2O 含量。由表 2 可知, 流域内种植作物类型不同施肥量差别较大, 蔬菜种植中化肥用量最高, 林地不施肥。水稻种植中肥料投入也相对较大。农业

生产中施肥结构不合理, 氮肥施用量过大, 钾肥施用不足, 有机肥料、生物肥料施用比例严重不足。化肥使用过程中多过的氮素会雨水、地表径流进入水体引起富营养化及土壤酸化板结等问题, 是影响小流域内的生态环境的主要因素^[7-8]。

表 2 众兴水库项目区各社区不同作物肥料使用情况

社区名称	水稻种植			油菜种植			小麦种植			蔬菜种植			玉米种植		
	氮肥	磷肥	钾肥	氮肥	磷肥	钾肥	氮肥	磷肥	钾肥	氮肥	磷肥	钾肥	氮肥	磷肥	钾肥
镇南社区	432.75	105.00	105.00	384.45	87.90	87.90	394.95	112.05	112.05	513.45	136.80	91.80	350.70	114.75	114.75
同心社区	434.25	106.80	106.80	401.25	94.80	94.80	411.45	106.65	106.65	481.65	125.40	110.40	373.20	110.10	110.10
长王社区	435.75	109.80	109.80	406.50	91.50	91.50	391.20	110.40	110.40	543.00	130.35	115.35	358.20	113.25	113.25
平均数	434.25	107.25	107.25	397.35	91.35	91.35	399.15	109.65	109.65	512.70	130.80	105.90	360.75	112.65	112.65

表 3 为众兴水库项目区各社区种植业化肥年施用量与施用强度。由表 3 可知, 众兴水库小流域周边 3 个社区的年度化肥施用量和施用强度中以长王社区的化肥施用强度最大为 540.07 kg/hm^2 ; 镇南社区和同心社区化肥施用强度均在 530 kg/hm^2 左右。总的来看该项目区内化肥的施用强度高, 显著高于发达国家公认的安全水平 225 kg/hm^2 ^[9], 流域内的施肥量是安全水平的近两倍。

表 3 众兴水库项目区各社区种植业化肥年施用量与施用强度

项目	镇南社区	同心社区	长王社区
化肥总用量/t	445.86	34.69	54.91
氮肥折纯用量/t	350.47	27.70	42.54
磷肥折纯用量/t	51.05	3.70	6.49
钾肥折纯用量/t	44.34	3.30	5.89
化肥施用强度/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	530.07	529.93	540.07

根据农作物污染负荷指标计算方法, 对流域内主要农作物的化肥污染负荷进行定量分析。氮肥、磷肥

流失量分别按当年施肥量的 6.00% 和 0.45%^[9] 计算出众兴水库项目区各社区种植业化肥污染排放量(表 4)。

表 4 众兴水库项目区各社区种植业化肥污染排放量

社区名称	TN	TP	合计	污染负荷率/%
镇南社区/t	21.03	0.23	21.26	83.31
同心社区/t	1.66	0.02	1.68	6.58
长王社区/t	2.55	0.03	2.58	10.12
合计/t	25.24	0.28	25.52	100.00
污染负荷率/%	98.92	1.08	100.00	—

由表 4 可以看出,众兴水库水源地周边 3 社区的种植业化肥污染源共向水体排放污染物达 25.52 t,

以 TN 为主,达到 25.24 t,占流失总量的 98.92%。镇南社区由于种植面积较大和施肥强度等综合因素对该流域种植业化肥污染负荷率最大,为 83.31%。同心社区污染负荷率最小为 6.58%。

2.2 养殖业面源污染分析

经调查众兴水库项目区各社区人口及养殖业情况详见表 5。

流域内长王社区存栏数较大,主要原因是合肥现代牧业有限公司坐落在长王社区,奶牛存栏数达到 1 800 头。镇南社区生鸡养殖合作社较多,年存栏数达 20 万只。同心社区因政策等原因畜禽养殖业较少,主要为部分农户散养,数量较低。

表 5 众兴水库项目区各社区人口及养殖业情况

社区名称	养殖业					常住人口	
	牛/头	鸡/只	鸭/只	鹅/只	鱼塘/hm ²	户数/户	人口/人
镇南社区	0	200 000	442	254	1.0	894	3 420
同心社区	0	643	320	112	1.3	812	3 150
长王社区	18 000	530	345	86	0.6	832	3 307
合计	18 000	201 173	1 107	452	2.9	2 486	10 084

根据表 5 统计数据,结合表 6 养殖业畜禽粪尿的排污参数^[10-11],计算出小流域内 3 个社区的养殖业排污状况。其中鱼塘养殖的排污参数在正常管理水平下,每 1 hm² 精养鱼塘每年向环境排放 COD, TN, TP 分别按 74.5, 101, 11 kg 计算^[12]。农社区生活污水排污系数及流失率来源于参照安徽省农业生态环境总站 2008 年第一次全国污染源普查《安徽省畜禽养殖业源产排污系数测算工作技术报告》数据。

表 6 众兴水库项目区养殖业畜禽粪尿和农社区人居的排污系数和流失率

项目	排污系数			流失率/%		
	COD	TN	TP	COD	TN	TP
家禽粪	1.17	0.28	0.12	6.20	5.60	5.10
农社区生活污水	5.12	0.16	0.03	62.00	62.00	62.00
人粪尿	19.80	3.06	0.52	10.00	10.00	10.00

注:排污系数单位:kg/头,kg/人。

现代牧业(肥东)有限公司位于肥东县白龙镇长王社区,是中国第一个采用“空调”式牛舍的牧场,占地 158.87 hm²,存栏奶牛 18 000 头,全球单体规模最大的“超级牧场”。公司采用先进的散栏饲养方式,奶牛全部在室内饲养,全自动清粪系统,肥东县现代牧业下游锻稍河口为该厂区的唯一出水口。根据肥东县气象局提供的 2016 年肥东县 1—12 月降雨量及肥东县环保局提供的现代牧业下游锻稍河口监测点数

据(表 7),为了便于数据对比分析将肥东县环保局监测的氨氮数据根据氨氮和总氮之间的比例系数在不同季节的平均值为 0.38 进行了换算^[13]。

表 7 肥东县 2016 年现代牧业锻稍河口监测数据及降雨量

月份	TN/ (mg · L ⁻¹)	COD/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	降雨/ mm
1	0.347	41.7	0.059	32.8
2	0.416	37.5	0.051	17.2
3	3.605	55.8	0.314	54.4
4	6.947	40.9	4.840	146.6
5	10.079	27.9	0.752	120.6
6	6.342	91.1	3.590	201.1
7	3.053	41.7	0.834	255.6
8	1.111	27.8	4.710	101.9
9	1.287	27.8	3.510	115.7
10	2.468	17.8	6.390	286.9
11	2.263	25.8	1.080	103.4
12	1.224	29.8	7.280	73.3

现代牧业厂区奶牛厂房等建筑面积及路面硬化面积较大,透水与不透水地面比例接近 1 : 1,综合径流系数将达到 0.8 以上^[14]。结合表 7 及现代牧业厂区面积计算出肥东现代牧业厂区径流水各污染物排放量 COD, TN, TP 分别为 75 456.48, 7 366.13, 6 504.31 kg。

众兴水库项目区养殖业污染物排放量总量详见

表 8。由表 8 可以看出,3 个社区的养殖业污染源共向水体排放污染物 108 993.51 kg,污染物主要以 COD 为主,畜禽养殖业中长王社区污染负荷率较大,占到污染物总量的 82.14%,污染物总量达 89 529.48 kg,

主要原因是现代牧业厂区坐落在长王社区,污染较严重。镇南社区由于较多的生鸡存栏量污染负荷率为 17.54%,同心社区家禽养殖数量较少,污染负荷率较低为 0.32%。

表 8 众兴水库项目区养殖业污染物排放量

污染指标	养殖种类	镇南社区	同心社区	长王社区	合计/kg	污染负荷率/%
COD 排放量/kg	家禽	14 558.49	77.98	69.71	90 378.71	82.92
	鱼塘	74.50	96.85	44.70		
	奶牛	0	0	75 456.48		
	合计	14 632.99	174.83	75 570.89		
TN 排放量/kg	家禽	3 146.91	16.86	15.07	10 837.87	9.94
	鱼塘	101.00	131.30	60.60		
	奶牛	0	0	7 366.13		
	合计	3 247.91	148.16	7 441.80		
TP 排放量/kg	家禽	1 228.26	6.58	5.88	7 776.93	7.14
	鱼塘	11.00	14.30	6.60		
	奶牛	0	0	6 504.31		
	合计	1 239.26	20.88	6 516.79		
合计/kg	108 993.51	19 120.16	343.87	89 529.48	108 993.51	100.00
污染负荷率/%	100	17.54	0.32	82.14		

2.3 人居面源污染分析

由于社区民生活垃圾由政府统一处理,因此只计算常住人口生活污水带来的污染问题。据表 5 中人口的统计数据 and 表 6 的各排污参数,计算出中众兴水库

小流域项目区 3 个社区人居生活产生的面源污染负荷情况(表 9)。从表 9 可以看出,人居生活产生的面源污染以 COD 为主,其排放量占污染源排放总量的 96.45%;其次为 TN,占 3.06%;TP 最低,占 0.49%。

表 9 众兴水库项目区常住居民产生的面源污染分析

评价因子	镇南社区	同心社区	长王社区	合计/kg	比例/%
COD/kg	17 045.60	16 236.36	17 045.60	50 327.56	91.55
TN/kg	1 340.00	1 276.38	1 340.00	3 956.37	7.20
TP/kg	233.47	222.39	233.47	689.34	1.25
合计/kg	18 619.07	17 735.13	18 619.07	54 973.27	100.00
比例/%	33.87	32.26	33.87	100.00	—

2.3 农业面源污染综合分析

根据镇南社区、同心社区、长王社区 3 个社区农业面源污染情况综合种植业化肥使用、养殖业污染排放及人居生活污水的统计分析,得出众兴水库项目区周边 3 个社区各面源污染综合排放量数据(表 10)。由表 10 可看出,众兴水库项目区周边 3 社区面源污染排放源中,养殖业的排放量和污负荷率最大为 57.52%,污染物排放总量达到 109.00 t,主要以 COD 的排放量为主,达到 90.38 t,是水源地水体环境潜在的最大污染源,需谨慎对待、严格管理;种植业化肥施用带来的面源污染物总量达 25.52 t,负荷率为 13.47%。生活源污染负荷为 29.01%。在 COD, TN, TP 这 3 个评价因子中,以 COD 的污染负荷率最

高,达 74.26%;其次为 TN,污染负荷率为 21.13%;TP 的污染负荷率为 4.61%。针对上述该小流域内面源污染的原因帮助农业生产者了解非环境友好型农业生产方式的危害,改变不良种植方式,从源头上减少面源污染;其次推广众兴水库小流域的测土配方精准施肥模式,对农户及新型经营主体等精准施肥进行农业生态补偿;对现代牧场厂区地表径流污水进行生态工程处理,达标排放;鼓励对畜禽粪便、农作物秸秆等农业资源进行综合开发利用;给予使用精准施肥等环境友好型农业技术的农户农业生态补偿,同时加大对环境友好型生态农业产品市场培育,使农业结构调整和环境友好农业技术的推广实现经济、社会和生态效应的最大化。

表 10 众兴水库项目区周边 3 社区各面源污染综合排放量

评价因子	种植业 污染	养殖业 污染	生活源 污染	合计/ t	比例/ %
COD/t	—	90.38	50.33	140.71	74.26
TN/t	25.24	10.84	3.96	40.04	21.13
TP/t	0.28	7.77	0.69	8.74	4.61
合计/t	25.52	109.00	54.97	189.49	100.00
比例/%	13.47	57.52	29.01	100.00	—

3 结论

(1) 小流域内种植业中存在化肥使用量过大, 施肥结构不合理, 化肥使用量达 530 kg/hm^2 以上, 显著高于发达国家公认的安全水平 225 kg/hm^2 。种植过程中追肥的方式单一, 追肥次数较少, 追肥施用的肥料均为尿素。种植业化肥施用带来的面源污染物总量达 25.52 t , 负荷率为 13.47% 。

(2) 众兴水库项目区周边 3 个社区面源污染排放源中, 养殖业污染物的排放量和污染负荷率最大, 污染物排放量达到 109.00 t , 污负荷率最大为 57.52% , 存在较大污染环境和水体风险。居民生产产生的污染物在小流域面源污染负荷中占到 29.01% , 污染物总量达到 54.97 t , 也有较高的比例。

(3) 在 COD, TN, TP 这 3 个评价因子中, 以 COD 的污染负荷率最高, 达 74.26% ; TN 污染负荷率为 21.13% ; TP 的污染负荷率为 4.61% 。小流域内养殖业的污染物排放是威胁众兴水库水源地饮用水安全的主要构成因子, 也是农业面源污染防控的重点。

[参 考 文 献]

[1] 赵彪, 孙治旭, 胡万里, 等. 大理洱海流域凤羽河小流域农业面源污染调查与分析[J]. 云南农业科技, 2016(6): 11-14.

[2] Cui Meiren, Wen Biaoduan, Ze Yuli, et al. Evaluation of sustainable development of typical small watershed in mountain area: A case study of Puwa small watershed [J]. Advanced Materials Research, 2011, 183/185: 729-733.

[3] 孙海军, 吴家森, 姜培坤, 等. 浙北山区典型小流域农村面源污染现状调查与治理对策[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20): 258-264.

[4] 袁晓燕, 余志敏, 施卫明. 浙北地区平原河网农村小流域面源污染调查与防治对策: 以德清县武康镇新琪村为例[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(3): 193-198.

[5] 张小勇, 范先鹏, 刘冬碧, 等. 丹江口库区湖北水源区农业面源污染现状调查及评价[J]. 湖北农业科学, 2012(16): 3460-3464.

[6] 焦卫东, 谢文玲, 郑建华, 等. 厦门石兜一坂头水库库区水质污染源调查与评价[J]. 海峡科学, 2012(6): 41-45.

[7] Chen Hong, Duan Chunyi. Research on the pattern of comprehensive improvement of small watershed pollution in Guangxi Province [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 535(30): 394-398.

[8] 何仁江. 三峡库区典型农业小流域氮磷排放负荷与收支研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.

[9] 王桂苓, 马友华, 孙兴旺, 等. 巢湖流域麦稻轮作农田径流氮磷流失研究[J]. 水土保持学报, 2010, 26(2): 6-10.

[10] 张忠明, 周立军, 宋明顺, 等. 太湖苕溪流域农业面源污染评价及对策[J]. 环境污染与防治, 2012, 34(3): 105-109.

[11] 彭军. 巢湖流域规模化畜禽养殖场对水环境污染评价及其控制对策研究[D]. 安徽合肥: 安徽农业大学, 2010.

[12] 张大弟, 张晓红, 章家琪, 等. 上海市郊区非点源污染综合调查评价[J]. 上海农业学报, 1997, 1(1): 31-36.

[13] 权全, 罗纨, 沈冰, 等. 城市化土地利用对降雨径流的影响与调控[J]. 水土保持学报, 2013, 27(1): 46-50.

[14] 李文杰, 王冰. 地表水中氨氮和总氮的相关性分析[J]. 环境保护科学, 2012, 38(3): 79-81.

(上接第 197 页)

[23] 王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031-1040.

[24] 蒋兴文, 李跃清. 西南地区冬季气候异常的时空变化特征及其影响因子[J]. 地理学报, 2010, 65(11): 1325-1335.

[25] 李宗省, 何元庆, 辛惠娟, 等. 我国横断山区 1960—2008 年气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报, 2010, 65(5): 563-579.

[26] 尹文有. 全球变暖背景下西南地区气候变化特征分析[D]. 甘肃兰州: 兰州大学, 2010.

[27] 周晓霞, 王盘兴, 段明铿, 等. 我国季平均气温和降水局地同时相关的时空特征[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 601-609.

[28] 李聪, 肖子牛, 张晓玲. 近 60 年中国不同区域降水的气候变化特征[J]. 气象, 2012, 38(4): 419-424.

[29] 陈学凯, 徐建新, 雷宏军, 等. 贵州省干旱时空变化特征及其对气候变化的响应[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(8): 72-81.