

熊昭昭, 王书月, 童雨, 等. 江西省农业面源污染时空特征及污染风险分析[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(12): 2821–2828.

XIONG Zhao-zhao, WANG Shu-yue, TONG Yu, et al. Analysis on spatio-temporal characteristics of agricultural non-point sources pollution and pollution risk in Jiangxi Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(12): 2821–2828.

江西省农业面源污染时空特征及污染风险分析

熊昭昭, 王书月, 童雨, 程丽华*, 徐新华

(浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058)

摘要: 为了确定江西省农村饮用水源地重点控制区域, 本文通过估算 11 个地市农业面源污染负荷进行污染风险分析。采用排污系数法及统计年鉴估算 2011—2015 年农业面源污染的化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)污染负荷, 并结合 ArcGIS 表征 COD、TN、TP 污染负荷及污染强度的空间分布情况, 采用离差标准化法分析 COD、TN、TP 污染强度。结果表明, 2015 年江西省农村地区 COD、TN 及 TP 污染负荷分别为 455.3、168.7 $\text{kt} \cdot \text{a}^{-1}$ 及 58.8 $\text{kt} \cdot \text{a}^{-1}$; 2011—2015 年 COD、TN 及 TP 污染负荷整体呈现逐年下降的趋势; 江西省农业面源污染主要贡献顺序为: 农村生活>畜禽养殖>种植业>水产养殖; 不同污染物的污染负荷、污染强度与污染风险空间分布特征一致, 其中污染负荷呈西高东低的特点, 污染强度呈中部高、四周低的特点, 污染风险与污染强度空间分布特征较为一致; 11 个地市农村面源污染风险顺序为: 南昌>萍乡>鹰潭>宜春>新余>抚州>上饶>赣州>九江>景德镇>吉安。

关键词: 面源污染; 时空特征; 污染风险; 江西省

中图分类号: X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2018)12-2821-08 doi:10.11654/jaes.2018-0149

Analysis on spatio-temporal characteristics of agricultural non-point sources pollution and pollution risk in Jiangxi Province, China

XIONG Zhao-zhao, WANG Shu-yue, TONG Yu, CHENG Li-hua*, XU Xin-hua

(College of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: To determine the key control areas of rural drinking water sources in Jiangxi Province, the agricultural non-point sources pollution (ANPSP) risk, which based on the distribution of pollution load and intensity of chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in 11 cities, was analyzed by the emission coefficient method and *Statistical Yearbook of Jiangxi Province* during 2011 to 2015. Combined with ArcGIS to characterize the spatial distribution of COD, TN, TP pollution load and pollution intensity, the method of dispersion standardization was used to analyze the sequence of the pollution risk. The results showed that the total load of COD, TN and TP in ANPSP of Jiangxi Province in 2015 were 455.3, 168.7 and 58.8 $\text{kt} \cdot \text{a}^{-1}$ respectively. The total load of COD, TN and TP in 2011–2015 showed a slight decreasing trend year by year. The main contribution sequence of rural non-point source pollution in Jiangxi Province was: rural life>livestock and poultry breeding>crop farming>aquaculture. The spatial analysis showed the similar distribution characteristics of pollution load and pollution intensity in different pollutants, and showed different distribution characteristics of pollution load and pollution intensity in single pollutant. The pollution load of single pollutant was higher in the west and lower in the east of Jiangxi Province, and the pollution intensity of single pollutant was higher in the middle and lower around. The pollution risk sequence of ANPSP in the 11 cities was Nanchang > Pingxiang > Yingtan > Yichun > Xinyu > Fuzhou > Shangrao > Ganzhou > Jiujiang > Jingdezhen > Ji'an.

Keywords: nonpoint source pollution; spatial-temporal characteristics; pollution risk; Jiangxi Province

收稿日期: 2018-01-26 录用日期: 2018-04-27

作者简介: 熊昭昭(1993—), 女, 江西南昌人, 硕士研究生, 主要从事农村饮用水水源水质防护技术研究。E-mail: xzhaozhao@zju.edu.cn

*通信作者: 程丽华 E-mail: chenglihua@zju.edu.cn

基金项目: 江西省水利厅重大水利科技竞争性项目(KT201502)

Project supported: The Key Fund for Water Science and Technology of Water Resources Department of Jiangxi Province(KT201502)

近年来,我国农村饮水安全形势十分严峻,其核心问题是农村饮用水源的保护问题。江西是农业大省,农村饮水安全问题比较突出,在我国具有地区代表性。由于我国经济结构中长期形成的农业粗放型经济,农村面源污染已成为农村地表水污染主要来源^[1]。2010年全国污染源普查公报^[3]指出近年农业、畜禽养殖及水产养殖的COD、TN、TP排放量分别为13 240、2700、280 kt·a⁻¹,畜禽养殖成为COD主要污染源。刘菊等研究指出农村生活与禽类养殖是污染物(COD、TN、TP)的主要来源^[5]。谢颂华等对江西省水环境主要污染源的研究中指出,畜禽养殖污染物已接近或超过工业和生活废水污染,成为污染江西省水环境的主要污染源^[1]。

农业面源污染(Agricultural non-point sources pollution, ANPSP)是指在农业生产活动中,氮素和磷素等营养物质、农药以及其他有机或无机污染物质,通过农田的地表径流和农田渗漏,造成的水环境的污染,主要包括化肥污染、农药污染、集约化养殖场污染、生活污水及生活垃圾污染^[2]。相对于点源污染易于治理与管理的特征,面源污染来源复杂,迁移途径多样化^[8-10],使其难以准确测量及控制,导致数据获取受到限制。现有对江西省农村地区水源污染的报道多集中在小区域、单一指标的趋势变化及管理立法等角度^[11-15]。

为了明确全省农村饮用水源地重点控制区域的划分依据,本文从江西省年鉴、江西省环境状况公报及江西省环境统计年报获取全省畜禽养殖、种植业、水产养殖污染物排放总量,采用排污系数法计算11个地市农村生活源、畜禽养殖、种植业、水产养殖污染负荷;由于掌握不同污染物时空分布特征对面源污染预测与评估具有重要意义^[16],本文对2011—2015年污染总量进行时间趋势分析,采用ArcGIS表征COD、TN、TP污染负荷及污染强度空间分布,对污染强度指标进行离差标准化,按相同权重进行污染风险评价;

最后结合人口、农业发展状况、水资源量等因素讨论农村饮用水源地重点控制区域。

1 材料与方法

1.1 污染负荷估算

输出系数法于20世纪70年代初期在北美地区首先提出^[17],由于兼具原理简单、输入参数少,一定的精度^[18],可模拟缺乏长时间系列监测数据的大中尺度流域面源污染的年负荷量^[19]等优点,近年来在我国应用较广,例如北京^[15]、三峡库区^[20]、京津冀地区^[21]、新疆^[22]等地区的面源污染负荷估算。本文借鉴经典输出系数模型的思路,将污染物输出系数替换为排放系数,称为排污系数法,得到污染物排放量公式:

$$L_j = E_{ij} A_i \times 10^{-9} \tag{1}$$

式中: L_j 为污染物 j 在区域的总负荷量,kt·a⁻¹; j 为区域中的污染物类型,包括COD、TN、TP 3种; E_{ij} 为污染物排放系数,g·头(人)⁻¹·a⁻¹; i 为区域中的污染源类型,包括农村生活污水、农村生活垃圾、畜禽养殖、种植业或水产养殖; A_i 为区域中个体数量,头(人)。

根据江西省水资源保护规划技术细则^[23],农村生活污水中COD、TN和TP排放系数参考值分别为29.245、2.695 g·头(人)⁻¹·a⁻¹和0.232 5 g·头(人)⁻¹·a⁻¹;据谢颂华等^[6]研究,每人每日产生0.5 kg生活垃圾,农村生活垃圾中TN占0.21%、TP占0.22%^[24],则农村生活垃圾中TN、TP的排放系数为1.05、1.1 g·头(人)⁻¹·a⁻¹。农村人口统计数据来自江西省2011—2015统计年鉴^[26],全省畜禽养殖、种植业及水产养殖产生的COD、TN和TP年总排放量从江西省环境统计年报^[27]中“农业污染排放情况”的对应污染物排放数据获取,将全省“畜禽养殖污染物排放量/畜禽养殖量”、“种植业污染物排放量/化肥施用量”、“水产养殖污染物排放量/水产养殖量”作为排放系数,其中农村生活垃圾、种植业没有对应的COD年排放量统计数据。整理污染物排放系数如表1所示。

表1 江西省农村面源污染物排放系数
Table 1 ANPSP pollutant emission coefficient of Jiangxi Province

排放系数 Emission coefficient/g·头(人) ⁻¹ ·a ⁻¹		COD	TN	TP
农村生活源 Rural life	农村生活污水 Rural sewage	29.245	2.695	0.232 5
	农村生活垃圾 Rural life garbage	—	1.05	1.1
畜禽养殖 Livestock and poultry breeding		58.5	19.55	3.23
种植业 Crop farming		—	36.18	4.41
水产养殖 Aquaculture		4.95	0.68	0.11

1.2 污染风险评估

农业面源污染的污染强度($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)反映了一个地区农业集约化程度和单位土地面积上的农业活动对水体的影响。本文采用 ArcGIS 归一化处理 COD、TN 和 TP 污染强度,直观反映江西省 11 个地市农村面源污染的时空动态变化情况^[25],其中取 11 个地市行政面积扣除市区面积的“农村面积”为归一化字段(Normalization)。

由于各指标的数值水平相差较大,因此对 COD、TN、TP 污染强度数值进行离差标准化(min-max 标准化),使结果落到[0, 1]区间,再对 COD、TN、TP 污染强度标准化值按相同权重加和得到污染综合指数,确定农村面源污染风险排序,以此为依据确定重点控制区域。转换函数为:

$$Q_i=\frac{I_i-I_{\min}}{I_{\max}-I_{\min}} \tag{2}$$

其中, Q_i 为评价因子的第*i*级的标准化值; I_i 为评价因子的第*i*级的编码值; $I_{\min}$ 为评价因子最小编码值; $I_{\max}$ 为评价因子的最大编码值。

2 结果与分析

2.1 污染负荷及时间特征分析

按照上节污染负荷估算方法,分别获得 2011—2015 年江西省农业面源污染中农村生活污水、农村生活垃圾、畜禽养殖、种植业或水产养殖污染负荷,整理见表 2。江西省农业面源污染主要污染物为 COD。2011 年全省 COD、TN 及 TP 污染负荷分别为 510.1、148.2 $\text{kt}\cdot\text{a}^{-1}$ 及 27.3 $\text{kt}\cdot\text{a}^{-1}$,2015 年全省 COD、TN 及 TP 总负荷分别为 455.3、137.4 $\text{kt}\cdot\text{a}^{-1}$ 及 26.0 $\text{kt}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

2015 年不同污染源贡献率结果见表 3,可知江西省农业面源污染贡献率综合排序为:农村生活>畜禽养殖>种植业>水产养殖。其中,农村生活源对 COD 污染负荷的贡献率最大,贡献率为 51.79%。畜禽养殖对 TN、TP 的贡献率最大,分别为 50.52% 与 44.12%。

2011—2015 年 COD、TN 及 TP 污染负荷随时间变化结果见图 1。2011—2015 年 COD、TN 及 TP 污染负荷整体呈现略有下降的趋势。随着城乡一体化,以及

表 2 2011—2015 年江西省农业面源污染负荷
Table 2 ANPSP load of Jiangxi Province in 2011—2015

污染负荷 Pollution load/ $\text{kt}\cdot\text{a}^{-1}$			2011	2012	2013	2014	2015
农村生活源 Rural life	农村生活污水 Rural sewage	COD	260.2	252.4	260.2	241.4	235.8
		TN	24	23.3	24	22.2	21.7
		TP	2.1	2	2.1	1.9	1.9
	农村生活垃圾 Rural life garbage	TN	9.3	9.1	9.3	8.7	8.5
		TP	9.8	9.5	9.8	9.1	8.9
畜禽养殖 Livestock and poultry breeding		COD	237	226	226	219.5	207.8
		TN	71.7	70.6	70.6	68.4	69.4
		TP	11	9.2	9.2	8.8	11.5
种植业 Crop farming		TN	41.5	41.5	41.5	36.9	36.2
		TP	4.2	4.2	4.2	3.7	3.5
水产养殖 Aquaculture		COD	13	12.4	13	13	11.8
		TN	1.7	1.7	1.7	1.3	1.6
		TP	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3

表 3 2015 年江西省农村面源污染贡献率
Table 3 ANPSP contribution ratio of Jiangxi Province in 2015

污染物 Pollutant	COD & TP					
	污染负荷 Pollution loading/ $\text{kt}\cdot\text{a}^{-1}$	贡献率 Contribution ratio	污染负荷 Pollution loading/ $\text{kt}\cdot\text{a}^{-1}$	贡献率 Contribution ratio	污染负荷 Pollution loading/ $\text{kt}\cdot\text{a}^{-1}$	贡献率 Contribution ratio
农村生活源 Rural life	235.8	0.517 9	30.2	0.219 8	10.7	0.413 4
畜禽养殖 Livestock and poultry breeding	207.7	0.456 2	69.4	0.505 2	11.5	0.441 2
种植业 Crop farming	—	—	36.2	0.263 2	3.5	0.135 4
水产养殖 Aquaculture	11.8	0.025 9	1.6	0.011 8	0.3	0.01

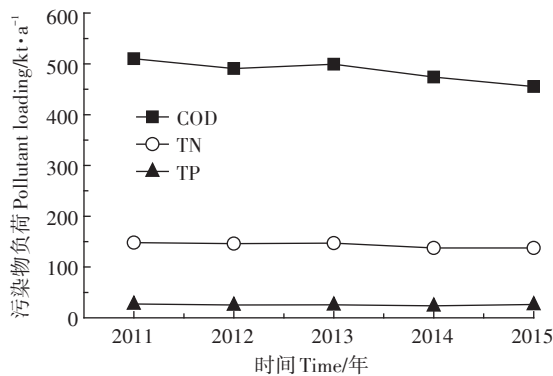


图1 2011—2015年COD、TN、TP污染负荷时间特征
Figure 1 Temporal characteristic of COD, TN, TP load in 2011—2015

江西作为劳务输出大省,农村居民人口数量整体呈现下降趋势,由此带来的农村生活污水排放量及农村固体垃圾产生量逐年下降,污染物总量也随之下降。

2.2 污染负荷及污染强度空间特征分析

图2(a)、图2(b)、图2(c)分别为2015年江西省11个地市COD、TN、TP污染负荷空间分布图。结果表明,污染负荷总量顺序为:赣州>宜春>吉安>上饶>抚州>南昌>九江>萍乡>鹰潭>景德镇>新余。其中,赣州市的COD、TN、TP污染负荷分别为92.9、22.3、4.8 kt·a⁻¹,分别占全省总量的20.40%、19.26%、20.05%;宜春的COD、TN、TP污染负荷分别占全省的15.67%、16.63%、15.77%;新余为污染负荷最低的地区,其COD、TN、TP负荷分别为9.5、2.9、0.5 kt·a⁻¹分别占全省的2.08%、2.48%、2.20%。

图2(d)、图2(e)、图2(f)分别为2015年江西省11个地市COD、TN、TP污染强度空间分布图。其中,赣州、吉安污染强度较低,COD、TN及TP负荷强度分别在2.01~2.38、0.49~0.51 kg·hm⁻²·a⁻¹和0.11~0.13 kg·

hm⁻²·a⁻¹之间;宜春、南昌为污染强度较高区域,其COD、TN及TP负荷密度分别在3.88~5.65、1.04~1.66 kg·hm⁻²·a⁻¹和0.18~0.32 kg·hm⁻²·a⁻¹之间。

从以上结果可以看出,不同污染物的污染负荷与污染强度分布较为一致,污染负荷呈现西部高、东部低的特点,污染强度呈现中部高、四周低的特点。这是因为以南昌为中心的环鄱阳湖平原区农村面积小、农村人口少,城市化发展较快,种植业复种指数高,规模化养殖相对发展较快,污染排放量大,污染负荷及污染强度均处于较高水平;以赣州、吉安为主的山地区农村面积大、农村人口多,城市化发展较慢,农民收入水平和农业集约化程度较低,以林业和畜牧业为主要农业收入来源,污染负荷总量大,污染强度小。

2.3 污染风险分析

11个地市面源污染COD、TN、TP污染强度标准化值及综合指数结果见表4。综合指数从大到小顺序为:南昌>萍乡>鹰潭>宜春>新余>抚州>上饶>赣州>九江>景德镇>吉安。污染风险与单个污染强度指标空间分布的规律较为一致,呈现中部污染风险高,四周污染风险低的规律。其中,南昌的农业面源污染COD、TN、TP污染强度的标准化值均为1,综合评价为农业面源污染风险最高区域;萍乡、鹰潭、宜春为中度污染风险区域;吉安的农业面源污染COD、TN、TP污染强度的标准化值均为0,综合评价为农业面源污染风险最低区域。

3 讨论

石先罗等^[28]采用清单分析法得到江西省11市农业面源污染产生量最大的为宜春、吉安和上饶,根据

表4 2015年江西省农村面源污染综合指数
Table 4 ANPSP comprehensive index in Jiangxi Province in 2015

地市 City	指标 I_i Index I_i			标准化指标 Q_i Index Q_i			综合指数 Comprehensive index	顺序 Sequence
	I_1	I_2	I_3	Q_1	Q_2	Q_3		
南昌 Nanchang	5.652 5	1.657 2	0.318	1	1	1	1	1
萍乡 Pingxiang	4.241 2	1.083 9	0.220 9	0.739 2	0.639 8	0.681 5	0.686 8	2
鹰潭 Yintan	3.879	1.033 3	0.209 6	0.672 3	0.608	0.644 4	0.641 6	3
宜春 Yichun	3.852 1	1.038 6	0.205 4	0.667 3	0.611 3	0.630 4	0.636 4	4
新余 Xinyu	3.23	0.979	0.181 2	0.552 4	0.573 9	0.551	0.559 1	5
抚州 Fuzhou	2.375 1	0.664 9	0.131 3	0.394 4	0.376 5	0.387 4	0.386 1	6
上饶 Shangrao	2.576 1	0.512 9	0.126 1	0.431 5	0.281	0.370 2	0.360 9	7
赣州 Ganzhou	2.369 8	0.568 4	0.123 4	0.393 4	0.315 9	0.361 4	0.356 9	8
九江 Jiujiang	2.132 5	0.491 3	0.108 6	0.349 5	0.267 5	0.313	0.31	9
景德镇 Jindezhen	2.006 5	0.486 4	0.106 5	0.326 3	0.264 4	0.306	0.298 9	10
吉安 Ji'an	0.241	0.065 7	0.013 2	0	0	0	0	11

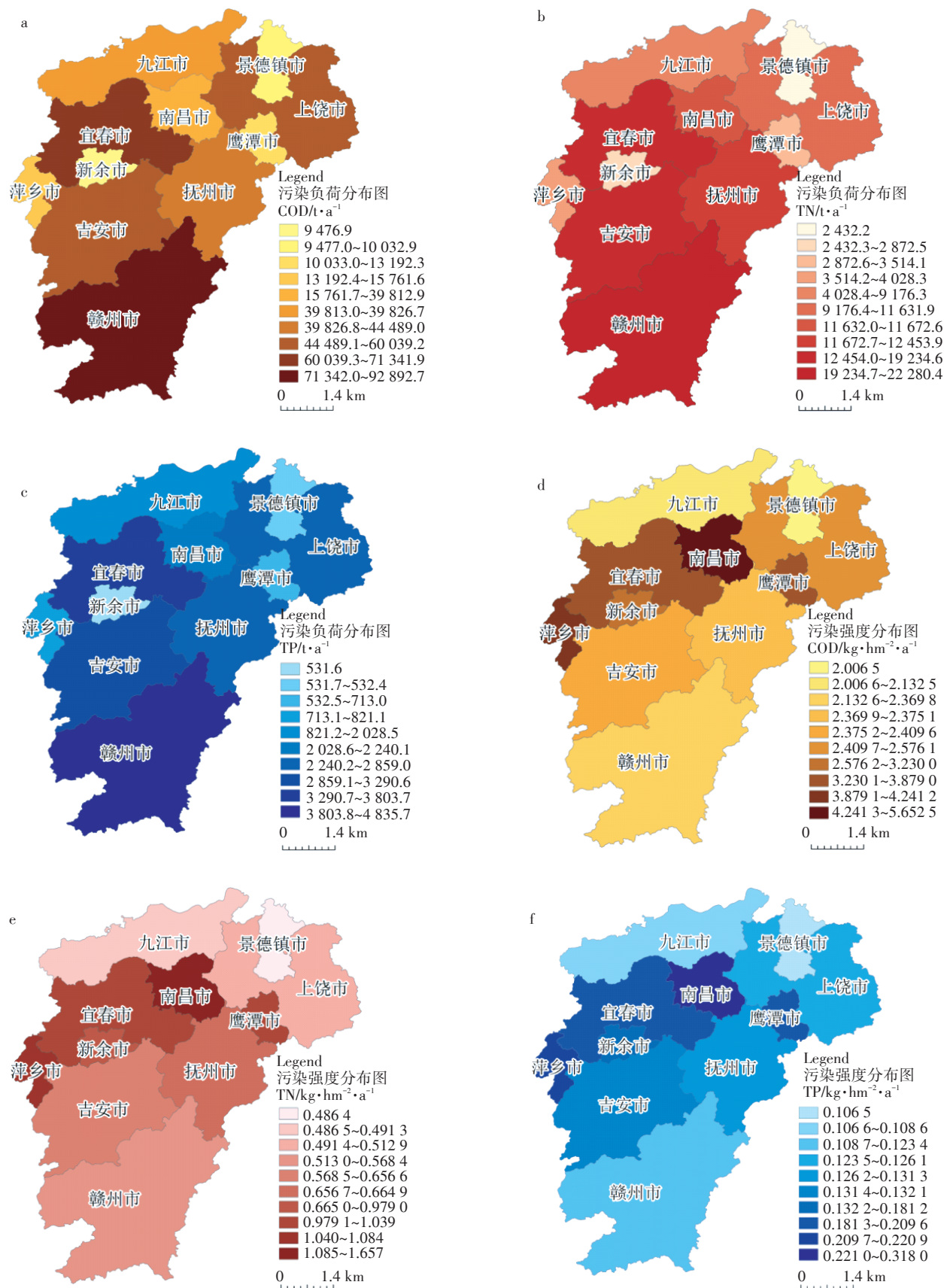


图2 2015年COD(a)、TN(b)、TP(c)污染负荷分布图,COD(d)、TN(e)、TP污染强度(f)分布图

Figure 2 Pollution load distribution of COD(a), TN(b), TP(c), pollution intensity distribution of COD(d), TN(e), TP(f) in 2015

面源污染等标产生量得出面源污染产生强度最大的为赣州、宜春和吉安;张文东等^[31]采用数据普查得到农业污染源总体分布是鄱阳湖滨湖地区以及周边的低丘平原区的农业污染源比较密集,境内周边中低山区的农业污染源分布较少,强度较低,南昌市农业污染源产生强度最高,赣州、景德镇等强度较低;吴超雄^[32]采用等标排放法将江西省11市分成3类:萍乡、鹰潭、新余、景德镇为污染程度较低区域;南昌、抚州、上饶、九江为污染程度中等区域;吉安、宜春、赣州为污染程度较高区域。本文所得农业面源污染空间分布特征与污染风险分析结果与其他学者结论相近。

为向农村饮用水源地重点控制划分提供依据,本文进一步对比11个地市人口、水资源及农业发展状况数据(表5)。其中,宜春、南昌、上饶等中部平原地区农村人口多、人口密集,单位农业劳动力生产的作物、肉类总产量、水产品产量等主要农产品产量在全省排名靠前,农业较发达而水资源总量较小,可作为农村饮用水源地重点控制区域,从提高农田灌溉及水肥利用效率,优化种植技术模式^[29],通过源头控制降低氮、磷排放^[30];而赣州、上饶、吉安农村人口全省排名分别为第一、二、四,地形以山地丘陵为主,单位农业劳动力生产的肉类总产量、水产品产量较高,养殖业较发达而水资源总量大,应重点控制畜禽养殖与农村生活源污染,从建造生态屏障保护水源出发,提升给水水质处理技术。

4 结论

农业面源污染时空差异造成不同地区污染风险,

本文通过输出系数法及ArcGIS归一化法,对江西省农村地区COD、TN及TP负荷进行时空特征及污染风险分析,结果表明:

(1)江西省2011—2015年间污染负荷整体呈现略有下降趋势;11个地市农业面源污染空间分布显示,不同污染物的污染负荷与污染强度分布较为一致,同一污染物污染负荷呈现西部高、东部低的特点,污染强度呈现中部高、四周低的特点。

(2)污染风险与单个污染强度指标空间分布的规律较为一致,呈现中部污染风险高,四周污染风险低的规律;11个地市污染风险顺序为:南昌>萍乡>鹰潭>宜春>新余>抚州>上饶>赣州>九江>景德镇>吉安。

(3)江西省11个地市农业面源污染空间分布及污染风险特征与江西省农村生活、农业发展状况联系紧密,对农村饮用水源地重点控制区域划分具有指导意义。

参考文献:

[1] WU Yong-hong, LIU Jun-zhuo, SHEN Ren-fang, et al. Mitigation of nonpoint source pollution in rural areas: From control to synergies of multi ecosystem services[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 607/608: 1376–1380.

[2] 祁俊生. 农业面源污染综合防治技术[M]. 成都:西南交通大学出版社, 2009.

QI Jun-sheng. Comprehensive prevention and control of agricultural non-point source pollution[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2009.

[3] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业部. 全国污染源普查公报[R]. 2010.

Ministry of Environmental Protection, People's Republic of China, Na-

表5 2015年江西省11地市农村相关数据
Table 5 Rural related data of 11 cities in Jiangxi Province in 2015

地市 City	乡村人口 Rural population	水资源总量 Total water resources/10 ⁹ m ³	每一农业劳动力生产的主要农产品 Major farm products produced by per rural laborer/kg				
			棉花 Cotton	油料 Oil-bearing	糖料 Sugar	肉类总产量 Total output of meat	水产品产量 Output of aquatic products
南昌 Nanchang	1 508 149	92.28	3.17	182.50	63.45	535.31	586.27
萍乡 Pingxiang	648 649	42.12	0.04	164.58	2.45	579.66	161.71
鹰潭 Yintan	509 994	56.15	—	118.57	127.65	603.92	235.89
宜春 Yichun	3 041 513	224.35	11.11	208.87	121.51	602.89	347.44
新余 Xinyu	368 096	35.39	13.19	76.52	4.65	364.95	214.41
抚州 Fuzhou	2 198 241	265.92	3.57	68.36	243.89	401.46	212.13
上饶 Shangrao	3 536 192	365.49	4.60	160.99	98.44	255.83	424.62
赣州 Ganzhou	4 657 391	367.79	0.01	54.13	6.28	382.50	164.60
九江 Jiujiang	2 385 881	188.69	99.61	252.87	17.00	242.22	513.11
景德镇 Jingdezhen	598 296	81.67	8.29	188.53	240.68	301.11	170.84
吉安 Ji'an	2 637 125	281.39	0.25	196.26	53.85	549.44	234.56

- tional Bureau of Statistics of China, Ministry of Agriculture, People's Republic of China. Census bulletin of national pollution sources[R]. 2010.
- [4] 刘 菊, 傅 斌, 王玉宽, 等. 四川山区农村面源污染负荷估算与评价[J]. 农业工程学报, 2016, 32(24): 218-225.
LIU Ju, FU Bin, WANG Yu-kuan, et al. Estimation and evaluation of non-point source pollutants loads in mountainous area of Sichuan[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(24): 218-225.
- [5] 耿润哲, 王晓燕, 焦 帅, 等. 密云水库流域非点源污染负荷估算及特征分析[J]. 环境科学学报, 2013, 33(5): 1484-1492.
GENG Run-zhe, WANG Xiao-yan, JIAO Shuai, et al. Application of improved export coefficient model in estimating non-point source nutrient load from Miyun reservoir watersheds[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, 33(5): 1484-1492.
- [6] 谢颂华, 涂安国, 郑海金, 等. 江西省水环境污染状况及发展趋势研究[J]. 中国水土保持, 2011(12): 31-33.
XIE Song-hua, TU An-guo, ZHENG Hai-jin, et al. Study on the status and development trend of water environment pollution in Jiangxi[J]. *China Soil and Water Conservation*, 2011(12): 31-33.
- [7] Jia Z, Tang S, Luo W, et al. Water quality improvement through five constructed serial wetland cells and its implications on nonpoint-source pollution control[J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2016, 61(16): 2946-2956.
- [8] Zaki U A, Salman S D, GANG Dian-chen. Nonpoint source pollution[J]. *Water Environmental Research*, 2016, 88(10): 1594-1619.
- [9] Rissman A R, Carpenter S R. Progress on nonpoint pollution: Barriers and opportunities[J]. *Daedalus*, 2015, 144(3): 35-47.
- [10] 刘聚涛, 冯 倩, 钟家有, 等. 鄱阳湖流域农村生活区面源污染变化特征及其保护措施[C]. 第三届中国湖泊论坛暨第七届湖北科技论坛, 2013.
LIU Ju-tao, FENG Qian, ZHONG Jia-you, et al. Poyang Lake Basin rural living area non-point source pollution and its protection measures[C]. The Third China Lake Forum and the Seventh Hubei Science and Technology Forum, 2013.
- [11] 柯 坚. 我国农村饮用水安全的法律保障——以环境正义价值及其制度构建为进路的分析[J]. 江西社会科学, 2011(8): 28-33.
KE Jian. Legal protection of rural drinking water safety in China: An analysis based on the value of environmental justice and its system construction[J]. *Jiangxi Social Sciences*, 2011(8): 28-33.
- [12] 刘纪辉. 江西省农业非点源氮潜在负荷的时空分布特征及治理对策[D]. 南昌: 江西师范大学, 2007.
LIU Ji-hui. The spatial-temporal distribution character of agriculture non-point source nitrogen latency load and management in Jiangxi Province[D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2007.
- [13] 曹新富. 我国农村水污染治理的困境及出路[J]. 江西农业学报, 2017, 29(2): 133-136.
CAO Xin-fu. Dilemma and outlet of water pollution control in rural areas of China[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2017, 29(2): 133-136.
- [14] 张 倩. 我国农村水污染防治立法研究[D]. 南昌: 江西理工大学, 2012.
ZHANG Qian. Research on legislation of prevention and control of rural water pollution in China[D]. Nanchang: Jiangxi University of Science and Technology, 2012.
- [15] 刘亚琼, 杨玉林, 李法虎. 基于输出系数模型的北京地区农业面源污染负荷估算[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 7-12.
LIU Ya-qiong, YANG Yu-lin, LI Fa-hu. Estimation of pollution loads from agricultural nonpoint sources in Beijing region based on export coefficient modeling approach[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(7): 7-12.
- [16] Shen Z Y, Qiu J L, Hong Q, et al. Simulation of spatial and temporal distributions of non-point source pollution load in the Three Gorges Reservoir Region[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 493: 138-146.
- [17] Edwin D O, Zhang X L, Yu T. Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 198: 1159-1168.
- [18] Ierodiaconou D, Laurenson L, Leblanc M, et al. The consequences of land use change on nutrient exports: A regional scale assessment in south-west Victoria, Australia[J]. *Journal of Environmental Management*, 2005, 74(4): 305-316.
- [19] Worrall F, Burt T P. The impact of land-use change on water quality at the catchment scale: The use of export coefficient and structural models[J]. *Journal of Hydrology*, 1999, 221(1): 75-90.
- [20] 龙天渝, 梁常德, 李继承, 等. 基于SLURP模型和输出系数法的三峡库区非点源氮磷负荷预测[J]. 环境科学学报, 2008, 28(3): 574-581.
LONG Tian-yu, LIANG Chang-de, LI Ji-cheng, et al. Forecasting the pollution load of non-point sources imported to the Three Gorges Reservoir[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(3): 574-581.
- [21] 王 磊, 香 宝, 苏本营, 等. 京津冀地区农业面源污染风险时空差异研究[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1254-1265.
WANG Lei, XIANG Bao, SU Ben-ying, et al. Spatial-temporal variation of agricultural non-point source pollution risk in Beijing-Tianjin-Hebei Region, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7): 1254-1265.
- [22] 周晓琴, 杨 乐, 杨令飞. 新疆农业面源污染物排放量估算及分析[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1300-1307.
ZHOU Xiao-qin, YANG Le, YANG Ling-fei. Estimation and analysis of emissions from agricultural non-point source pollution in Xinjiang[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7): 1300-1307.
- [23] 江西省水利规划设计研究院. 江西省水利科学研究院, 江西省水文局. 江西省水资源保护规划技术细则[R]. 2013.
Jiangxi Provincial Water Resources Planning and Design Institute, Jiangxi Academy of Hydraulic Research, Jiangxi Provincial Bureau of Hydrology. Jiangxi Province water resources protection planning technical regulations[R]. 2013.
- [24] 刘聚涛, 钟家有, 付 敏, 等. 鄱阳湖流域农村生活区面源污染特征及其影响[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 1012-1018.
LIU Ju-tao, ZHONG Jia-you, FU Min, et al. Study on the characteristics and impact of rural living area pollution in Poyang Lake Basin[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(7): 1012-

- 1018.
- [25] 叶延琼, 章家恩, 李逸勉, 等. 基于GIS的广东省农业面源污染的时空分异研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(2):369-377.
- YE Yan-qiong, ZHANG Jia-en, LI Yi-mian, et al. Spatial-temporal variation of agricultural non-point source pollution based on GIS technology in Guangdong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(2):369-377.
- [26] 江西省统计局. 江西统计年鉴2015[R]. 2016.
- Jiangxi Provincial Bureau of Statistics. Jiangxi statistical yearbook 2015[R]. 2016.
- [27] 江西省环境保护厅. 2015年江西省环境状况公报[R]. 2016.
- Jiangxi Province Environmental Protection Agency. State of Jiangxi environmental status bulletin 2015[R]. 2016.
- [28] 石先罗, 章卫, 付建国. 江西省农业面源污染负荷分布特征的研究[J]. 江西科学, 2016, 34(2):208-212.
- SHI Xian-luo, ZHANG Wei, FU Jian-guo. The research of agricultural non-point source pollution load distribution in Jiangxi Province[J]. *Jiangxi Science*, 2016, 34(2):208-212.
- [29] 胡博, 罗良国, 武永锋, 等. 环竺山湾湖小流域种植业面源污染减排潜力研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(7):1368-1375.
- HU Bo, LUO Liang-guo, WU Yong-feng, et al. Potential of mitigating nonpoint source pollution from farmlands around Zhushan bay in Tai Lake watershed[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(7):1368-1375.
- [30] 刘坤, 任天志, 吴文良, 等. 英国农业面源污染防治对我国的启示[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(5):817-823.
- LIU Kun, REN Tian-zhi, WU Wen-liang, et al. Prevention and control of agricultural non-point source pollutions in UK and suggestions to China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(5):817-823.
- [31] 张文东, 许仕, 庐俊. 江西省农业面源污染空间分布格局[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(16):9056-9059.
- ZHANG Wen-dong, XU Shi, LU Jun. Spatial distribution pattern of agricultural non-point source pollution in Jiangxi Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2012, 40(16):9056-9059.
- [32] 吴超雄. 江西省农业非点源污染评价与控制研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012.
- WU Chao-xiong. Research on evaluation and controlling measure system of agriculture non-point source pollution in Jiangxi Province[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2012.