DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2018.05.02

基于 GIS 的鄂州市氮、磷农业面源污染时空分布研究

翟正丽[1], 许立祥[1,2], 周祖昊[1], 刘佳嘉[1]
(1. 中国水利水电科学研究院,北京 100038; 2. 华北水利水电大学,河南 郑州 450011)

摘 要: 近年来,鄂州市农药、化肥的不合理施用以及畜禽粪便的不适当处理,造成农业面源污染日益严重。以统计数据为基础,结合 GIS 技术,对鄂州市 2015、2020、2030 年农业面源污染中的氮、磷入河量进行分析。结果表明,农药、化肥源中的总氮入河量由 2015 年的 2850.40 t 下降到 2020 年的 2382.02 t 再到 2030 年的 1590.74 t,总磷入河量由 2015 年的 1305.59 t 下降到 2020 年的 850.78 t 到 2030 年的 503.84 t。畜禽养殖源中的总氮入河量由 2015 年的 618.17 t下降到 2020 年的 313.17 t 再到 2030 年的 604.37 t,总磷入河量由 2015 年的 351.71 t 下降到 2020 年的 45.59 t 再到 2030 年的 145.75 t。空间上,葛华新城、涂家垴镇的化肥、农药污染削减明显,主城区、葛华新城、东沟镇、沼山镇、杨叶镇的畜禽养殖污染削减明显。畜禽养殖源 2030 年比 2020 年污染物入河量增加,这是因为在 2020 年以前,非规模养殖场关停,规模畜禽养殖逐年增加。利用 GIS 对污染物入河量的展布,从空间上,能够清晰地反映不同水平年鄂州市污染物入河量的效果,为鄂州市有针对性的农业面源污染的防治提供依据。

关键词: 农业面源污染; 总氮; 总磷; 污染物入河量; GIS; 鄂州市
中图分类号:X522 **文献标识码**: A **文章编号**: 1672-643X(2018)05-0008-06

Study on spatial-temporal distribution of agricultural nitrogen and phosphorus non-point source pollution in Ezhou city based on GIS

ZHAI Zhengli[1], **XU Lixiang**[1,2], **ZHOU Zuhao**[1], **LIU Jiajia**[1]
(1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, *Beijing* 100038, *China*;
2. *North China University of Water Conservancy and Hydropower*, *Zhengzhou* 450011, *China*)

Abstract: In recent years, the unreasonable use of pesticides and chemical fertilizers and the improper of livestock and poultry manure in Ezhou City have resulted in agricultural non-point source pollution become increasingly serious. Based on statistical data and GIS technology, the amount of nitrogen and phosphorus in agricultural non-point source pollution in Ezhou in 2015, 2020 and 2030 was analyzed. Results showed that the total nitrogen intake of pesticides and chemical fertilizers decline from 2850.40 tons in 2015 to 2382.02 tons in 2020 to 1590.74 tons in 2030, and the amount of total phosphorus into the river will decline from 1305.59 tons in 2015 to 850.78 tons in 2020 to 503.84 tons in 2030. The total nitrogen input from livestock and poultry breeding sources will decline from 618.17 tons in 2015 to 313.17 tons in 2020 and 604.37 tons in 2030. The total phosphorous input from the river will decline from 351.71 tons in 2015 to 45.59 tons in 2020 and 145.75 tons in 2030. Spatially, the chemical fertilizers and pesticides in Gehua New Town and Tujianao Town were significantly reduced, main cities, Gehua New Town, Donggou Town, Zhaoshan Town, and Yangye Town have significantly reduced pollution of livestock and poultry. In 2030, the livestock and poultry breeding source will increase the amount of pollutants entering the river by 2020. This is because non-scale farms are shut down and the scale of livestock and poultry farming increase year by year before 2020. This paper uses GIS to spread the pollutants into the river. It can clearly reflect the effects of different levels of pollutants entering rivers in Ezhou City in space, which aim to provide a basis for the preven-

收稿日期:2018-03-30; **修回日期**:2018-06-22
基金项目:国家自然科学基金项目(51409274,51679253);国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2012ZX07201-006);国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2008ZX07207-006)
作者简介:翟正丽(1980-),女,北京人,博士,高级工程师,研究方向为水资源与水环境调控。
通讯作者:许立祥(1990-),男,河南信阳人,硕士研究生,研究方向为水文水资源。

tion and control of agricultural non-point source pollution in Ezhou.

Key words: agricultural non-point source pollution; total nitrogen; total phosphorus; pollution quantity of entering river; GIS; Ezhou City

1　研究背景

农业面源污染是指在农业生产过程中不合理的农药、化肥、农膜以及畜禽粪便、生活垃圾等对农业和农村生态环境所造成的大面积污染[1-2]。早在 20 世纪 30 年代,国际上就提出了面源污染这一概念。60 年代,国内外学者们对于面源污染才有了全面的认识并对其进行了研究[3]。70 年代,面源污染开始受到西方国家的广泛关注,并认为农业面源污染是导致地表水体污染的主要原因,为了了解农业面源的物理、化学过程,国外学者开发了农药输移和径流模型等检测与评估模型。80 年代,农业面源污染的研究转向如何管理与控制,从而减轻对地表水的污染负荷。90 年代随着“3S”技术的发展,部分学者将“3S”技术引入到对面源污染的分析当中,从而更好地分析面源污染中的氮、磷等污染物的迁移转化,有助于对面源污染的机理研究。研究表明,氮、磷已经成为农业面源污染当中最重要的污染源。在我国,两者的贡献率已经超过了 57%、67%[4]。近年来,通过对我们国家的 25 个湖泊进行调查,发现氮、磷污染已经成为水体污染的核心问题[5]。黄满湘等[6]研究发现植被覆盖可一定程度上减少氮等污染物的流失。国内在农业面源污染的空间分布上,运用 GIS 技术来分析的案例比较少[7-8]。目前,农业面源污染已经严重影响我国农村生活的生态环境,在新时期,如何加强对面源污染的治理已经成为一个重要的话题。

农业生产收入是鄂州市当地居民的主要收入之一[9]。近年来,随着经济的发展,鄂州市的环境也受到严重的污染,农业面源污染日益严重,已经成为制约鄂州市经济发展的一大瓶颈。因此,对鄂州市农业面源污染的机理研究与治理已经刻不容缓。本文以鄂州市乡镇为计算单元,在分析近 5 年的农药、化肥施用量以及畜禽养殖场的畜禽排泄量的基础上,预测 2020、2030 年农业面源污染的污染情况,并利用 GIS 对全市分乡镇的计算结果进行空间化、数字化的展布,从展布的效果对农业面源污染进行空间、时间的分析,为鄂州市农业面源污染的治理提供参考。

2　资料与方法

2.1　研究区域概况

鄂州市位于湖北省东南部,长江中游南岸,地跨东经 114°32′~115°05′,北纬 30°01′~30°36′,西接“九省通衢”武汉,东连“矿冶之城”黄石,北与黄冈隔江相望,南同咸宁濒湖毗邻。鄂州地理位置极为优越,距省会武汉市仅 60 km,东至上海,西达重庆的水路距离均在 1 100 km 左右。鄂州处于武汉城市圈的核心层,充分享有武汉大都市的经济辐射,部分地区已与武汉形成半小时经济圈,整个鄂州也即将与武汉形成一小时经济圈。

鄂州市现辖鄂城、华容、梁子湖 3 个县级行政区和葛店、鄂州两个经济开发区,以及凤凰、古楼、西山 3 个直管街道。鄂城区辖汀祖、碧石渡、泽林、燕矶、杜山、花湖、杨叶、长港等 8 个镇和花湖新城(花湖镇、杨叶镇、沙窝乡)、主城区(凤凰、古楼、西山直管街道、新庙镇、鄂州开发区);华容区辖葛华新城(华容、庙岭、葛店开发区)、段店镇和临江、蒲团 2 个乡;梁子湖区辖东沟、太和、涂家垴、沼山、梁子等 5 个镇(如图 1)。鄂州市属亚热带季风气候区,初夏多雨,秋伏干旱。全年日照 2 038 h,年平均气温17.1℃,年平均降雨量 1 323.1 mm,降雨总量 18.85×10^8 m^3。

鄂州市水系发达,河网密度 0.381 km/km^2,市级层面上,水域所占国土比重居全国第一位。农田、人口主要分布在 30 m 高程线以下,地市低洼,面源污染容易产生。近年来,鄂州市农业种植中的农药、化肥的施用并不合理,平均施肥量为 1 535.7 ~ 2 057.7 kg/hm^2,远远超出了我国化肥、农药平均使用强度 375 kg/hm^2。此外,养殖场的畜禽粪便的处理方式一般为自然堆积,并未实施雨污分流措施,这对鄂州市的土壤、水体、大气、居民生活环境等都造成了严重的污染。

2.2　数据源

本次研究所需要的耕地、农药、化肥折纯量、畜禽存出栏量等原始数据均来自于 2010 - 2015 年《鄂州市统计年鉴》,部分数据来源于前人发表的文献以及有关部门标准,见表 1。

2.3　研究方法

以鄂州市乡镇为计算单元,以前人研究的成果与国家标准化产污系数为基础,通过 Excel 软件对年鉴中的农药、化肥、非规模养殖畜禽数据进行处理,并将处理后的数据链接到 GIS 当中,利用鄂州市分乡镇 GIS 底图对处理结果按照污染强度进行展布。

对于农药、化肥源,从鄂州市农业局得到 2015

年鄂州市农药、化肥折纯量为 87 464 t,其中氮肥、磷肥、钾肥、复合肥分别为 35 010、25 286、10 540、16 628 t。农药、化肥污染中 TN、TP、氨氮污染的产生系数有关资料以及鄂州市农田径流监测结果表明,氮肥、磷肥在土壤中的平均残留率分别为 30.3%、13.2%,地面径流率分别为 9.5%、5.3%,地下淋溶率分别为 0.54% 和 0.75%[10]。在此基础上计算鄂州市农业面源污染当中的农药、化肥污染入河量,并按照统计年鉴中化肥、农药近 5 年的变化趋势预测 2020、2030 年化肥的折纯量。

表 1 2010 – 2015 年鄂州市耕地及化肥、农药施用量变化

年份	耕地面积/$10^4 hm^2$	化肥、农药折纯量/t	化肥、农药使用强度/(kg · hm^{-2})
2010	5.855	120151	2052.2
2011	5.845	120245	2057.3
2012	5.847	120318	2057.7
2013	5.803	97560	1681.3
2014	5.711	91507	1602.4
2015	5.695	87464	1535.7

对于畜禽养殖源,从《2015 年鄂州市统计年鉴》中查阅到规模、非规模畜禽养殖数量(牛、羊、猪、家禽等存出栏数),2015 年鄂州市牲猪、家禽、牛、羊规模养殖数为 895 950 头、6 790 000 只、8 490 头、15 490 头,牲猪、家禽、牛、羊非规模养殖数为 250 843 头、8 898 325 只、1 330 头、1 152 头。单只畜禽养殖产污系数见表 2,畜禽养殖源污染物的产生可以通过下式估算[11]:

$$W_i = Q_i \cdot a_i \tag{1}$$

式中:W_i 为畜禽养殖源的污染物产生量,t/a; Q_i 为第 i 种畜禽的数量; a_i 为第 i 种畜禽每头(只)粪便中污染物的产生系数,kg/a。

按照《“十三五”环保约束性指标管理办法》中 2015 年主要水污染物总量减排核算细则中有关畜禽粪便排泄系数的数据进行计算,根据鄂州市关于畜禽养殖的规划,到 2020 年,非规模畜禽养殖场由于污染入河量较大,应采取关停措施,2020、2030 年规模养殖场的养殖规模按照近 6 年畜禽养殖变化趋势预测,并按照排泄系数计算污染物的产生量。畜禽养殖入河系数通过查阅文献以及对鄂州市部分畜禽污染物入河调查,综合确定后取 0.002,非规模入河系数来源于 2000 年全国污染调查中长江区非点源污染入河系数[12],其中 COD_{Cr} 系数为 0.136,氨氮系数为 0.1,TN 系数为 0.19,TP 系数为 0.112。

表 2 蓄禽养殖氮、磷产污系数表

畜禽种类	排泄物	每头(只)的排泄物产生量/(kg · a^{-1})	排泄物中污染物浓度/(kg · t^{-1} · a^{-1})	
			TP	TN
牲猪	猪粪	398	1.18	4.37
	猪尿	656.7	0.40	8.00
牛	牛粪	7300	3.41	5.88
	牛尿	2650	0.52	3.30
羊	羊粪	950	2.60	7.50
家禽	家禽粪	26.2	10.40	2.80

3 结果与分析

3.1 农药、化肥污染

随着农业的发展,鄂州市农药、化肥的施用量呈逐年减少的趋势,本次对未来水平年化肥、农药施用量按 2010 – 2015 年农用化肥、农药折纯率 – 6.15% 计算,由统计数据显示,2015 年为鄂州市化肥、农药施用量最低的一年,现阶段鄂州市耕地面积为 56 953.33 hm^2,平均施肥量达到 1 535.7 kg/hm^2,严重超出发达国家为防止化肥、农药对水体造成污染而设置的 225 kg/hm^2 的警戒线。可见,鄂州市化肥、农药的施肥情况存在着严重的不合理情况,不合理的施肥导致氮、磷等富营养化物质随着降雨后的径流流入河湖、水库等,给鄂州市地表水造成了严重的污染,更为严重的是,根据国内学者的有关研究,当氮素的施肥量超过 150 ~ 200 kg/hm^2 时,化肥、农药中的氮素很有可能会溶于雨水和灌溉水中进入到河流和湖泊中,或者通过通过地下淋溶的方式转移到地下水中引起硝酸盐污染[13]。针对目前鄂州市化肥、农药的不合理施用情况,鄂州市农业部门有必要有针对性的提出各种不同农作物的合理施肥建议,从而减轻化肥、农药对鄂州市水体的污染。2015 年鄂州市化肥、农药产生的总氮、总磷入河总量分别为 2 850.04、1 305.59 t;2020 年总氮、总磷入河总量分别为 2 382.03、850.78 t;2030 年总氮、总磷入河总量分别为 1 590.74、503.84 t。

3.2 畜禽养殖污染

由鄂州市分乡镇规模养殖场、非规模养殖畜禽数量以及《“十三五”环保约束性指标管理办法》中 2015 年主要水污染物总量减排核算细则中有关畜禽粪便排泄系数得出 2015 年畜禽养殖总氮、总磷的产生量,结合 2000 年全国污染调查中长江区非点源污染入河系数得出总氮、总磷的入河量。《中国中长期食物发展战略》、《全国畜牧业发展第十三个五年规划》等都

要求畜禽养殖业仍要继续增长,满足更多的需求[14],2015 –2030 年畜禽养殖业必定对水体环境带来更大的污染负荷。为了减轻未来畜禽养殖对鄂州市环境污染的压力,采取有效措施减少污染。查阅《2015 年鄂州市统计年鉴》,得到近 5 年鄂州市畜禽平均增涨比例,以此预测 2020、2030 年鄂州市分区畜禽数量。猪、羊增长率为 1.2%,牛的增长率为 2.36%,家禽增长率为 1.96%。结果显示,2015 年鄂州市畜禽规模养殖场总氮、总磷入河总量分别为 146.25、55.35 t;非规模养殖场总氮、总磷入河总量分别为 471.93、296.36 t;2020 年畜禽规模养殖场总氮、总磷入河总量分别为 313.17、45.59 t;2030 年畜禽规模养殖场总氮、总磷入河总量分别为 604.37、145.75 t。

4　讨　论

4.1　化肥、农药氮磷入河量分布

未来水平年鄂州市通过减少化肥、农药的施用量,对不同农作物进行合理施肥,能够大幅度的减少污染物的入河量。吕俊[15]通过对杭州市水环境容量的计算,并运用 GIS 对污染物入河量效果进行了展布。本文通过对鄂州市不同水平年农业污染物入河量的计算,运用 GIS 对不同水平年污染物入河量进行展布[16-17],得到 2015、2020、2030 年污染物入河量的效果图,如图 2、3 所示。由展布的效果来看,2015 年化肥、农药源污染主要集中在葛华新城以及涂家垴两处,2020、2030 年通过减少农药、化肥的使用以及对农作物的合理施肥来减少氮、磷污染物的入河。此外,鄂州市积极推广农田氮磷流失拦截工程,通过灌排分离,将排水渠改造为生态沟渠,针对不同灌区的排水特点,合理设计生态沟渠的规模与形式,对农田损失的氮磷养分进行有效拦截,以控制氮、磷污染物的入河量。未来水平年总氮、总磷的入河量大幅度减少,表明鄂州市对减少化肥、农药源中的氮、磷污染物入河量的措施是行之有效的。

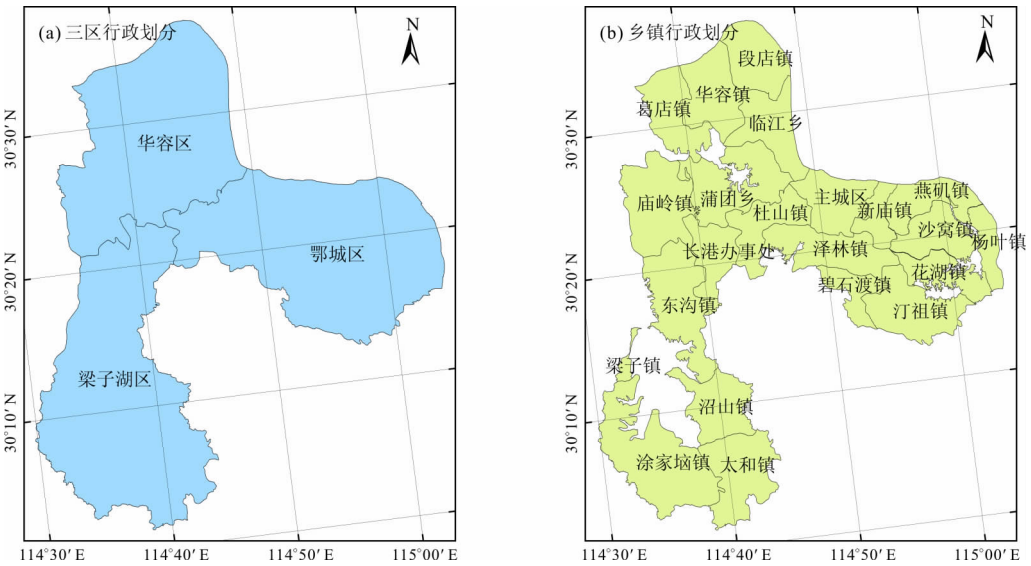

图 1　鄂州市三区及乡镇行政划分

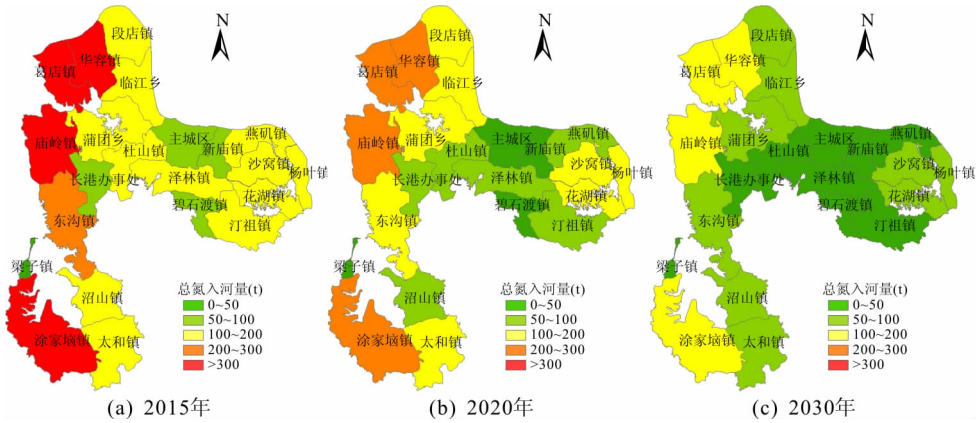

图 2　鄂州市不同水平年农药、化肥总氮入河量效果图

4.2 畜禽养殖氮磷入河量分布

通过对不同水平年蓄禽养殖业污染物入河量计算,运用GIS对入河量的结果进行展布得到2015、2020、2030年蓄禽养殖源污染物入河量的效果图,如图4、5所示。

从展布的效果来看,2015年畜禽养殖源污染物主要集中在葛华新城、太和、沙窝、杨叶、花湖几个乡镇,这是由于这几个乡镇非畜禽养殖数量较多,2020、2030年在规模养殖场养殖规模继续扩大的条件下,鄂州市通过对非规模养殖场采取关停措施,能够有效的减少畜禽排泄物中总氮、总磷的入河量。在规模养殖增加的前提下,畜禽养殖污染物入河量明显减少,说明鄂州市的非规模养殖业对水体污染占畜禽养殖业的比重较大,未来水平年鄂州市采取的关停非规模养殖场的措施对于缓解污染物入河量有着显著的效果。

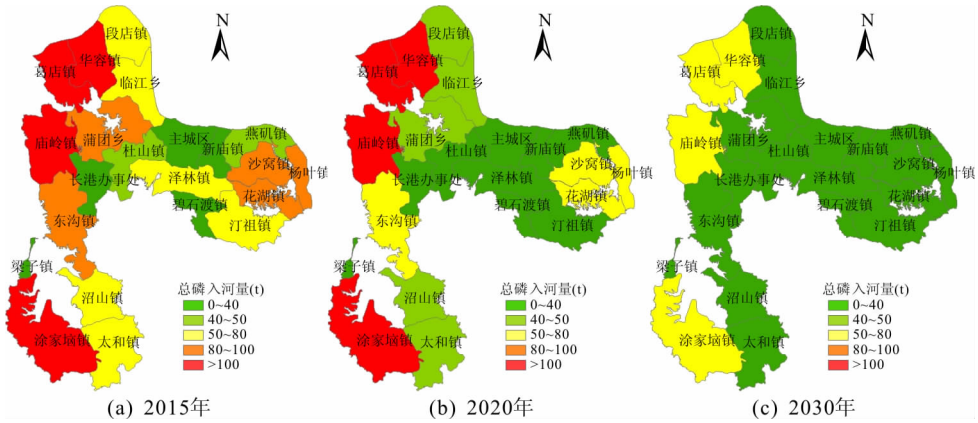

图3 鄂州市不同水平年农药、化肥总磷入河量效果图

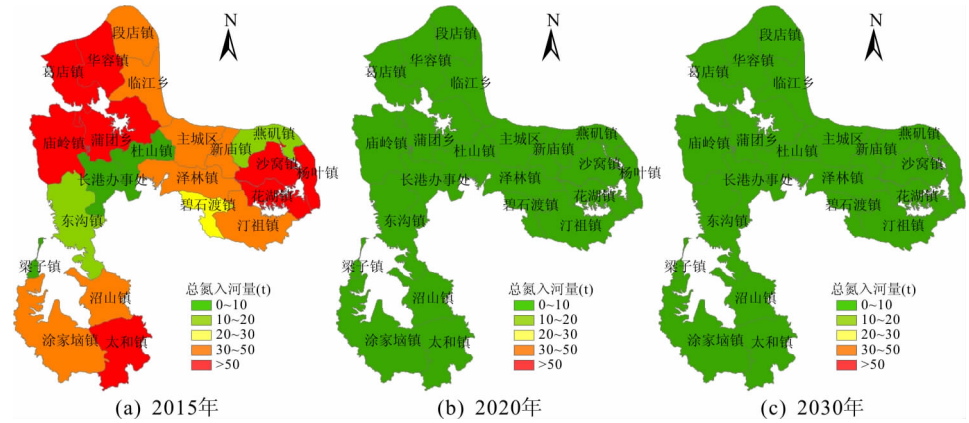

图4 鄂州市不同水平年畜禽养殖总氮入河量效果图

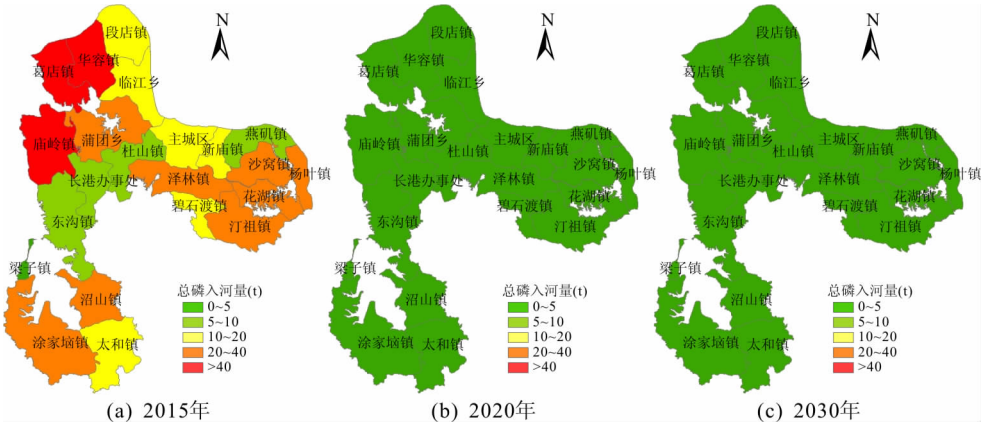

图5 鄂州市不同水平年畜禽养殖总磷入河量效果图

5 结 论

(1)从时间尺度上来看,在合理施肥的条件下,逐年减少农药、化肥的施用量,未来水平年能够大幅度减少污染物中氮磷的入河量;从空间尺度上,葛华新城、涂家垴镇的农药、化肥污染物在未来水平年削减最多。

(2)未来水平年鄂州市在保证畜禽产量增加的条件下,采取关停非规模养殖场的措施,能够减少畜禽排泄物中氮磷污染物的入河量。

(3)畜禽养殖业 2030 年比 2020 年污染物入河量略有增加,这是由于规模养殖的畜禽数量上逐年增加。

本文以鄂州市农业污染源为研究对象,详细论述了农业的污染源的产排过程,希望为鄂州市农业面源污染的防治提供帮助。

参考文献:

[1] 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.

[2] 谭绮球,苏柱华,郑业鲁. 国外治理农业面源污染的成功经验及对广东的启示[J]. 广东农业科学,2008(4):67 - 71.

[3] LU Jun, GONG Dongqin, SHEN Yena, et al. An inversed Bayesian modeling approach for estimating nitrogen export coefficients and uncertainty assessment in an agricultural watershed in eastern China [J]. Agricultural Water Management, 2013,116:79 - 88.

[4] 张玉珍,洪华生,曾 悦,等. 九龙江流域畜禽养殖业的生态环境问题及防治对策探讨[J]. 重庆环境科学,2003,25(7):29 - 31 + 34 + 61.

[5] 邬 伦,李佩武. 降雨—产流过程与氮、磷流失特征研究[J]. 环境科学学报,1996,16(1):111 - 116.

[6] 黄满湘, 章 申, 唐以剑,等. 模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程[J]. 土壤与环境,2001,10(1):6 - 10.

[7] 姜世英,韩 鹏,贾振邦,等. 南水北调中线丹江口库区农业面源污染 PSR 评价与基于 GIS 的空间特征分析[J]. 农业环境科学学报,2010,29(11):2153 - 2162.

[8] KIN M, GILLEY J E. Artificial neural network estimation of soil erosion and nutrient concentrations in runoff from land application areas [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008,64(2):268 - 275.

[9] 李朝阳. 鄂州农村环境质量状况调查及对策措施分析[C]// 河湖水生态水环境专题论坛论文集,2011.

[10] 王 丹. 三峡库区氮、磷面源污染负荷模拟及水质评价[D]. 重庆:西南大学,2016.

[11] 崔海波. 流域水环境安全防控评价指标体系[D]. 济南:山东大学,2015.

[12] 张 远,张 明,王西琴. 中国流域水污染防治规划问题与对策研究[J]. 环境污染与防治,2007,29(11):870 - 875.

[13] 黄 丽, 项雅玲, 袁锦方. 三峡库区农田的化肥面源污染状况研究[C]// 全国农业环境科学学术研讨会. 2007:362 - 367.

[14] 农业部办公厅关于印发《全国节粮型畜牧业发展规划(2011 - 2020 年)》的通知[J]. 饲料广角,2012(2):7 - 13.

[15] 吕 俊. 基于 GIS 的杭州市水环境容量计算及总量分配系统研究[D]. 南京:河海大学,2007.

[16] AND D L C, VAUGHAN P J, LOAGUE K. Modeling nonpoint source pollutants in the Vadose Zone with GIS [J]. Environ. Sci. Tech, 1997, 31(8):15113 - 15121.

[17] FRASER R H, BARTEN P K, TOMLIN C D. SEDMOD: a GIS based method for estimatin distributed sediment delivery ratios[C]// Symposium on Geographic Information Systems and Water Resources, American Water Resources Association, 1996:137 - 146.