

王 萌, 王敬贤, 刘 云, 等. 湖北省三峡库区 1991—2014 年农业非点源氮磷污染负荷分析[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(2): 294–301.

WANG Meng, WANG Jing-xian, LIU Yun, et al. Analysis of nitrogen and phosphorus pollution loads from agricultural non-point sources in the Three Gorges Reservoir of Hubei Province from 1991 to 2014[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(2): 294–301.

湖北省三峡库区 1991—2014 年 农业非点源氮磷污染负荷分析

王 萌¹, 王敬贤^{1*}, 刘 云^{1*}, 李春蕾², 肖文发²

(1. 北京农学院北京林果业生态环境功能提升协同创新中心, 北京 102206; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘 要:为研究湖北省三峡库区农业非点源氮磷污染负荷的时空分布特征, 分析主要农业污染源和重点控制区域, 运用改进的输出系数模型结合入河系数对研究区 1991—2014 年的不同农业源(农村生活、畜禽养殖和农田种植)和不同地区(夷陵、秭归、兴山、巴东)总氮总磷负荷量、排放强度进行估算, 并对时空分布特征进行了分析。结果表明, 1991—2014 年湖北省三峡库区农业非点源污染总氮、总磷年均负荷量分别为 $2\,132.10$ 、 $222.64\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 年均排放强度分别为 1.85 、 $0.19\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。2006 年以前, 总氮、总磷负荷较低, 而后缓慢增加。相比于 1991 年, 2014 年总氮年负荷量降低了 4.22%, 总磷年负荷量增加了 12.30%。从各类污染源贡献来看, 旱地和乡村人口是总氮的主要贡献源, 旱地和猪的养殖是总磷的主要贡献源。从氮磷负荷空间分布看, 巴东县的总氮、总磷负荷最高, 夷陵次之。从排放强度的空间分布看, 巴东县的排放强度最高, 其次是秭归。研究表明, 农田种植和畜禽养殖是总氮、总磷负荷的主要贡献源, 巴东县是农业非点源防治的重点控制区域, 湖北省三峡库区的农业非点源污染防治工作仍需努力。

关键词:农业非点源污染; 输出系数模型; 入河系数; 总氮; 总磷; 时空分布

中图分类号: X592 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2018)02-0294-08 doi:10.11654/jaes.2017-0600

Analysis of nitrogen and phosphorus pollution loads from agricultural non-point sources in the Three Gorges Reservoir of Hubei Province from 1991 to 2014

WANG Meng¹, WANG Jing-xian^{1*}, LIU Yun^{1*}, LI Chun-lei², XIAO Wen-fa²

(1. Beijing Collaborative Innovation Center for Eco-environmental Improvement with Forestry and Fruit Trees, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Institute of Forest Ecological Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: To study the temporal and spatial distribution characteristics of nitrogen and phosphorus pollution loads from agricultural non-point sources and analyze the main agricultural pollution sources and key control regions in the Three Gorges Reservoir Area (TGRA) of Hubei Province, the improved export coefficient model combined with the loss coefficient method was applied. This was based on agricultural data from 1991 to 2014 to estimate total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) pollution loads and emission intensities from different sources (rural life, livestock breeding, and planting) and different districts (Yiling, Zigui, Xingshan, and Badong). Spatial and temporal distribution characteristics were analyzed at the same time. The results showed that from 1991 to 2014, the annual average TN pollution load was $2\,132.10\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, the annual average TP pollution load was $222.64\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, and the annual average TN emission intensities was $1.85\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, the annual average TP emission intensities was $0.19\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. Before 2006, TN and TP pollution loads reduced year by year, and then slowly increased. Compared with 1991, the annual TN pollution loads in 2014 decreased by 4.22% and the annual TP pollution loads

收稿日期: 2017-04-25 录用日期: 2017-09-27

作者简介: 王 萌(1993—), 女, 北京平谷人, 硕士研究生, 从事景观生态过程研究。E-mail: wangmeng9303@126.com

*通信作者: 王敬贤 18611384068@163.com; 刘 云 E-mail: housqly@126.com

基金项目: 2014 国家气象公益行业项目(GYHY201406035); 科技创新服务能力建设-科研基地建设-林果业生态环境功能提升协同创新中心(2011 协同创新中心(市级)PXM2017_014207_000024)

Project supported: The Special Scientific Research Fund of Meteorological Public Welfare Profession of China (GYHY201406035); Beijing Collaborative Innovation Center for Eco-environmental Improvement with Forestry and Fruit Trees (PXM2017_014207_000024)

increased by 12.30%. Dry land and rural population were the main sources of TN pollution loads, while dry land and pig raising were the main sources of TP pollution loads. Badong was the major source of TN and TP pollution loads spatially, followed by Yiling. Based on the spatial distribution of emission intensity, Badong had the highest emission intensity, followed by Zigui. The study found that farmland planting and livestock breeding were the main sources of TN and TP pollution loads, Badong was the key control region of agricultural non-point source pollution, and prevention and control efforts for agricultural non-point source pollution at TGRA of Hubei Province are still required.

Keywords: agricultural non-point source pollution; export coefficient model; loss coefficient; TN; TP; spatial and temporal distribution

农业非点源污染是指在农业生产活动中,化肥、农药、畜禽粪便以及其他有机或无机污染物通过农田的地表径流和渗透,引起的对水体、湖泊、河岸等生态系统的污染^[1]。随着我国农业经济的不断发展,农业非点源污染逐渐成为生态环境污染的重要原因,是全球地表水和地下水环境受到破坏的重要污染源^[2]。《第一次全国污染源普查公报》^[3]显示:2007年,主要污染物总氮全国排放总量为472.89万t,总磷为42.32万t。其中由农业源排放的总氮为270.46万t,总磷28.47万t,分别占总量的57.19%和67.27%。在农业源中,种植业总氮流失159.78万t,总磷流失10.87万t,分别占农业源排放总量的59.08%和38.18%;畜禽养殖业排放总氮102.48万t,总磷16.04万t,占比37.89%和56.41%。可见,农业源是造成环境污染的重要因素,而种植业和畜禽养殖业又是造成农业非点源污染的主要原因。

目前有关农业非点源污染模型主要分为统计性经验模型(如输出系数法、水质水量相关法、平均浓度法等)和机理性过程模型(如CREAMS、GLEAMS、STORM、AGNPS等)两大类。对于大流域尺度而言,农业非点源污染负荷的定量研究完全依靠实地监测是不现实的,这时统计性经验模型由于其较少考虑非点源污染的中间过程和内在机制而受到广泛应用。特别是输出系数模型,不但数据相对容易获取,降低了研究成本,而且为估算大尺度流域非点源污染负荷提供了一种切实可行的方法,对于缺乏监测数据的流域进行农业非点源污染负荷估算,发挥着积极的作用。目前我国学者运用输出系数模型,已经对海河^[4]、密云水库^[5]、长江上游地区^[6]、三峡库区^[7]、洞庭湖流域^[8]等地区进行了非点源污染的研究,并取得了重要成果。然而,以往的研究只考虑到各污染源产生的污染物负荷量,并没有考虑污染物在迁移到接纳水体过程中的损失,因此,有必要引入入河系数,即空间各单元产生的污染物进入接纳水体的比例^[9],来准确估算进入接纳水体中的污染物的量;同时,三峡库区作为我国重要的生态屏障,自20世纪90年代起至今,随着社会的

发展,库区的建成、库区水位的提高,库区移民等一系列变化,农业非点源污染是如何变化的,其空间分布又有何特征,尚未可知。因此有必要对研究区的农业非点源污染进行长时间尺度的估算,以便更好地了解其变化特征、防治面源污染问题。

本研究针对湖北省三峡库区农业非点源污染问题进行研究,通过整合1991—2014年各区县的农业统计数据,运用改进的输出系数模型,引入入河系数对研究区历年的农业非点源污染氮磷负荷量、各类农业污染源的氮磷负荷量以及各个区县的氮磷负荷量进行估算,分析总氮、总磷的时空分布特征,查找主要农业污染源和农业非点源污染重点控制区域,为湖北省三峡库区的农业非点源污染分区防控提供依据,从而为整个三峡库区的农业非点源污染综合防治奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

湖北省三峡库区地处长江中游,地理范围在东经110°04′~111°39′,北纬31°04′~31°34′之间,包括宜昌夷陵区、秭归县、兴山县和恩施州巴东县。研究区总面积约为11 531.62 km²,属于亚热带季风气候,年平均气温14~18℃,年平均降水量1070~1682 mm。土壤类型主要是黄壤、黄棕壤、棕壤、紫土、石灰土、水稻土等。地区植被以亚热带常绿阔叶林为主,森林覆盖率32.87%。《2015年湖北省环境质量状况》^[10]表明,2015年,湖北省三峡库区干流及支流总体水质为优。按照《地表水环境质量评价办法(试行)》^[11],水质符合功能区划标准的断面比例为76.2%,主要超标项目为总磷。同时,研究区化肥施用量逐年增加(图1),2000年以后的年均农药使用量也在2000 t以上,这些都加剧了研究区的农业非点源污染。

1.2 改进的输出系数模型

最初的输出系数模型是20世纪70年代由Omernik等^[12]为了预测静止水体富营养化而建立的。1996年,Johannes等^[13]针对人口(主要是生活污水的排放)、农田种植(耕作不同作物的耕地)、畜禽养殖(不

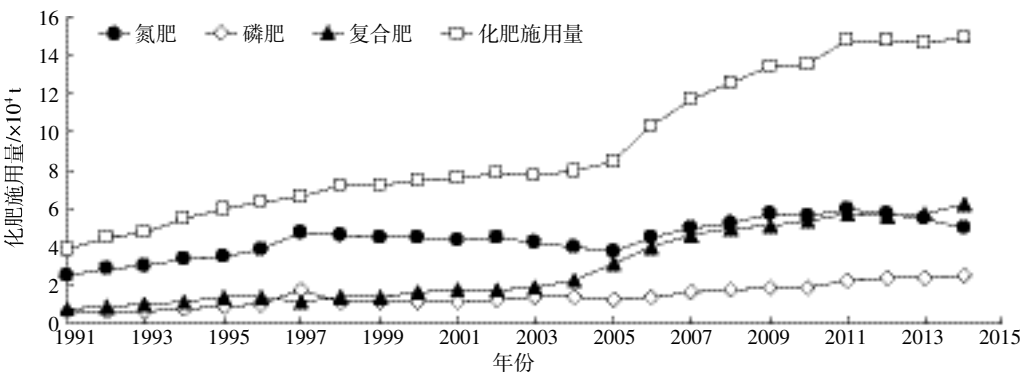


图 1 研究区化肥施用量

Figure 1 The amount of fertilizer at study area

同禽类)和降雨确定了不同的输出系数,并将植物固氮和氮的沉降等考虑到总氮负荷中,建立了更为合理的输出系数模型。此后,我国学者^[14-17]根据不同研究地区的不同地域特征优化了输出系数模型,使其精确性和灵敏性都得到了提高。结合三峡库区非点源污染的相关研究^[6-7,18-26],考虑到不同污染物在迁移过程中的损失量,本文引入入河系数准确估算进入受纳水体中的污染物的量。因此,本文采用的适用于研究区的输出系数模型如下:

$$L=\sum_{i=1}^n\lambda_iE_iA_i$$

式中: L 表示营养盐的输出量,kg; λ_i 为第*i*种污染源的入河系数,无量纲; E_i 为第*i*种污染源的输出系数,kg·hm⁻²·a⁻¹或kg·头(只)⁻¹·a⁻¹或kg·人⁻¹·a⁻¹; A_i 表示第*i*种耕地的面积,hm²,或第*i*种畜禽年末存栏数,头(只),或农村人口数,人。

1.3 数据获取

本文所用数据包括:农村人口数据、畜禽养殖数据(大牲畜、猪、羊和家禽的年末存栏量)、种植业数据和社会经济数据等,主要来源于1991—2014年《宜昌统计年鉴》《恩施统计年鉴》和《湖北农村统计年鉴》。

1.4 不同系数取值

输出系数的选择是运用输出系数模型计算非点源污染负荷的关键,参考三峡库区非点源污染的相关

研究^[6-7,9,18-26]发现,由于同一研究区不同学者的研究中污染源不同,输出系数也不尽相同,本研究尽可能选择与湖北省三峡库区相符或相近的输出系数。其中,人口的输出系数来自杜双^[18]的湖北省三峡库区相关研究;生活污水和生活垃圾的输出系数来自崔超等^[19]关于湖北省三峡库区农村生活源排污系数的计算;畜禽养殖的输出系数参考刘瑞民等^[6]、梁常德等^[7]、马啸^[20]和Ma等^[21-22]的三峡库区相关研究确定;不同土地利用类型的输出系数参考龙天渝等^[9]、崔超等^[19]、杨彦兰等^[24]的相关文献。另一方面,农村人口和畜禽养殖的入河系数参照常丽娟^[25]对于三峡库区非点源污染入河系数的研究结果;生活污水和生活垃圾的入河系数参考张广纳等^[26]关于三峡库区重庆段农村面源污染的研究;降雨期水田和旱地的非点源污染负荷会随着地表径流一起进入水体,因此水田和旱地的入河系数相同^[27]。综上,不同污染源的输出系数和入河系数取值见表1。

2 结果与分析

2.1 农业非点源总氮总磷负荷时间分布

运用改进的输出系数模型模拟了湖北省三峡库区1991—2014年的农业非点源总氮总磷污染负荷,结果见图2。可以看出,研究区总氮和总磷负荷量的变化趋势基本一致,总氮负荷量明显高于总磷负荷

表 1 不同系数取值

Table 1 Different coefficient value

污染源	项目	农村生活/kg·人 ⁻¹ ·a ⁻¹			畜禽养殖/kg·头(只) ⁻¹ ·a ⁻¹				农田种植/kg·hm ⁻² ·a ⁻¹	
		农村人口	生活污水	生活垃圾	大牲畜	猪	羊	家禽	水田	旱地
TN	输出系数	0.98	0.067 5	0.160 6	11.367	0.587	0.388	0.045 9	20.625	18.105
	入河系数	0.337	0.30	0.20	0.307	0.261	0.253	0.120	0.529	0.529
TP	输出系数	0.026	0.007 3	0.032 9	0.487	0.163	0.040 4	0.005 4	2.1	2.3
	入河系数	0.237	0.30	0.20	0.305	0.252	0.252	0.110	0.529	0.529

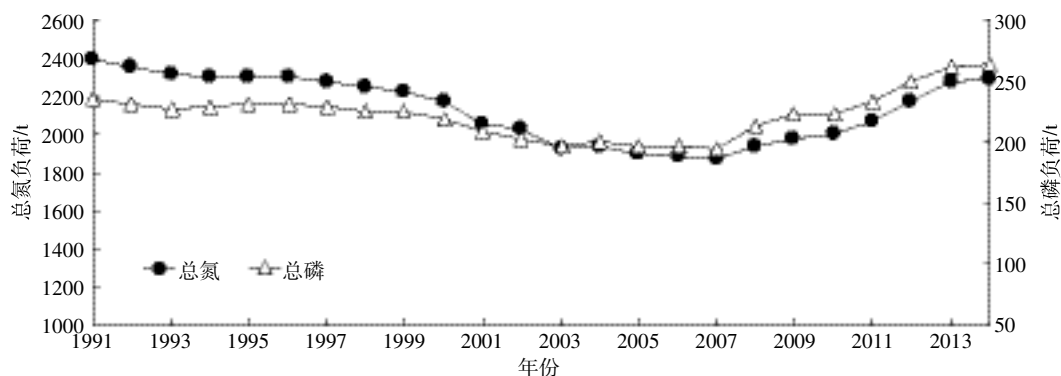


图2 1991—2014年总氮总磷负荷量
Figure 2 TN,TP pollution loads from 1991 to 2014

量。总氮和总磷的年均负荷量分别为2132.10、222.64 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, 年均排放强度分别为1.85、0.19 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 年均总氮总磷负荷比接近10:1, 说明研究区在1991—2014年间总氮污染占主导地位, 应引起相关部门的足够重视。1991年农业非点源总氮和总磷年负荷量为2388.12、234.82 t, 到了2014年, 总氮年负荷量减少到2287.26 t, 降低4.22%; 总磷负荷量有所增加, 为263.71 t, 增幅为12.30%。

湖北省三峡库区1991—2014年农业非点源总氮总磷比如图3所示。结果显示, 2009年以前, 研究区农业污染源总氮总磷比 >9.0 , 2009年以后, 总氮总磷比 <9.0 。研究表明, 大多数藻类旺盛生长的最适宜氮磷比为7:1, 当水体中总氮浓度达 $0.2 \sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上, 总磷浓度 $>0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 就会导致藻华爆发^[1]。

2.2 各污染源总氮总磷负荷分析

湖北省三峡库区各农业污染源氮污染年均负荷贡献见图4。结果显示, 农业污染源氮污染贡献率依次为旱地 $>$ 乡村人口 $>$ 大牲畜 $>$ 水田 $>$ 养猪 $>$ 其他。总氮负荷的近50%来源于农田种植, 农村生活和畜禽养殖对总氮负荷的影响相近。各农业污染源磷污染年均负荷贡献见图5, 依次为旱地 $>$ 养猪 $>$ 水田 $>$ 其他, 因此, 总磷负荷主要来源于农田种植和猪的养殖, 其他牲畜和农村生活对磷污染的贡献较小。总体而言, 农田种植和畜禽养殖对湖北省三峡库区氮磷负荷贡献

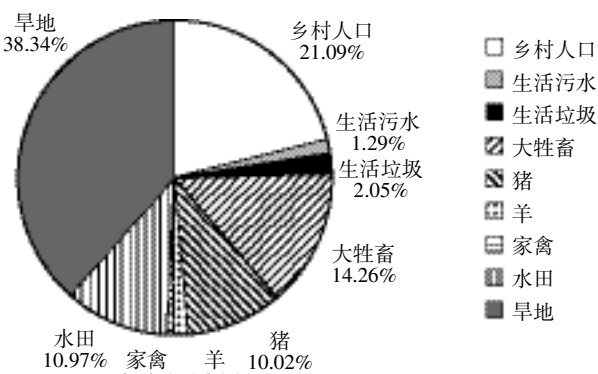


图4 各污染源总氮负荷年均贡献率
Figure 4 The mean annual contributions rate of TN from different pollution sources

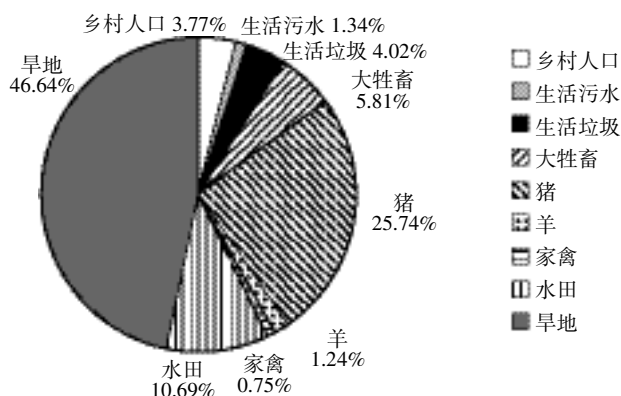


图5 各污染源总磷负荷年均贡献率
Figure 5 The mean annual contributions rate of TP from different pollution sources

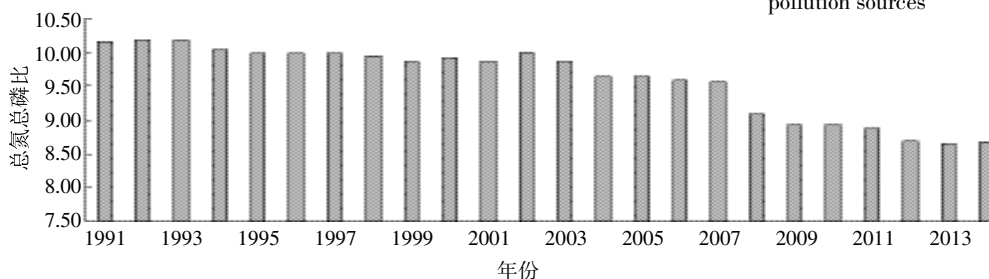


图3 1991—2014年总氮与总磷的比值
Figure 3 The ratio of TN and TP pollution loads from 1991 to 2014

最大,这与蔡金洲等^[28]对湖北省三峡库区农业非点源污染源的研究结论一致。

农村生活产生的氮磷负荷量逐年减小(图6和图7),主要原因是随着城镇化快速发展,农村人口从151.51万减少到126.57万,同时生活水平得到提高,污水处理设施得到改善,垃圾治理也趋于合理化,因而生活污水和生活垃圾的氮磷排放量有所降低。

畜禽养殖对氮磷负荷的贡献率逐年增加。1991—2014年间畜禽养殖对氮磷排放贡献分别从最初的24.46%、27.12%增加到31.72%、42.89%。湖北省三峡库区畜禽养殖主要以生猪为主,从各个区县的统计年鉴来看,生猪存栏量由1991年的107.82万头发展到2014年的218.54万头,增幅为102.69%。研究区内生猪养殖模式主要是散养,畜禽粪污处理方式干清粪,在圈旁堆腐后直接返田,这个过程氮磷流失严重,随着畜禽养殖数量和规模日益扩大,畜禽养殖业污染对氮磷负荷的贡献日益增加。

农田种植对氮负荷的贡献率差异不太明显。1991—2014年间,水田和旱地的面积分别从2.555万、

9.873万 hm^2 减少到1.876万、9.112万 hm^2 。但是氮肥施肥量却增加了一倍,因而对氮污染贡献差异不大。相比之下,农田种植产生的磷污染则明显降低,从63.24%逐年降低到49.94%。

2.3 年均总氮总磷负荷空间分布

从年均总氮总磷排放量分布来看(图8),总氮排放量依次为巴东>夷陵>秭归>兴山。巴东($732.78\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)和夷陵($665.66\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)为农业非点源氮污染重点控制区域。由于农田种植为氮的主要污染源,两个区县氮肥的年均施用量高达15 595.6、14 658.7 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$,秭归和兴山的年均施肥量则为10 829.0、3 016.7 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$,明显低于前两个区县,因此巴东和夷陵的氮负荷量高于另外两区县。总磷排放量为巴东>夷陵>秭归>兴山。巴东($78.61\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)和夷陵($66.05\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$)为农业非点源磷污染重点控制区域。

湖北省三峡库区农业非点源污染总氮总磷排放强度如图9所示。从排放强度的跨度来说,总氮的排放强度较总磷排放强度大,分别为1.22~2.19 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和0.12~0.23 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。从排放强度的行政区划

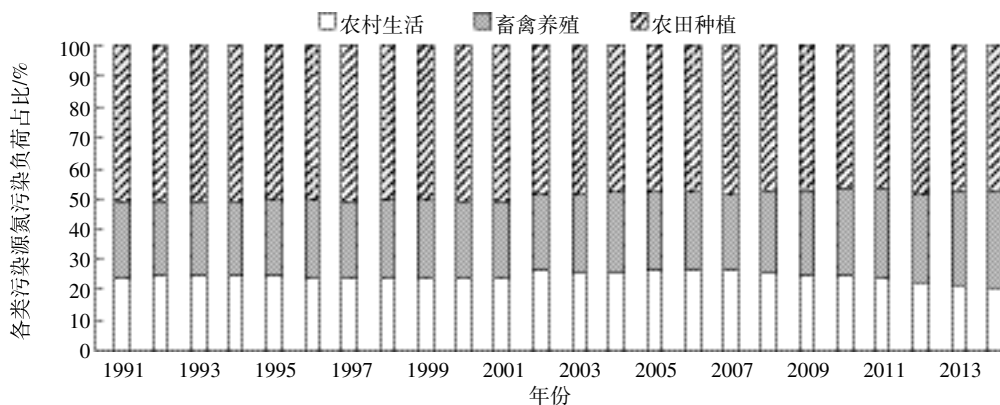


图6 1991—2014年各类污染源氮污染负荷组成年际变化特征

Figure 6 Variation characteristic of annual TN pollution loads from different sources from 1991 to 2014

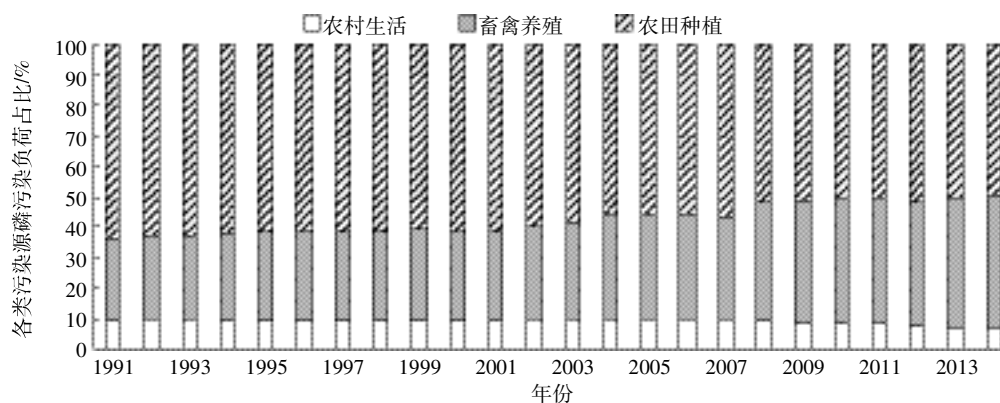


图7 1991—2014年各类污染源磷污染负荷组成年际变化特征

Figure 7 Variation characteristic of annual TP pollution loads from different sources from 1991 to 2014

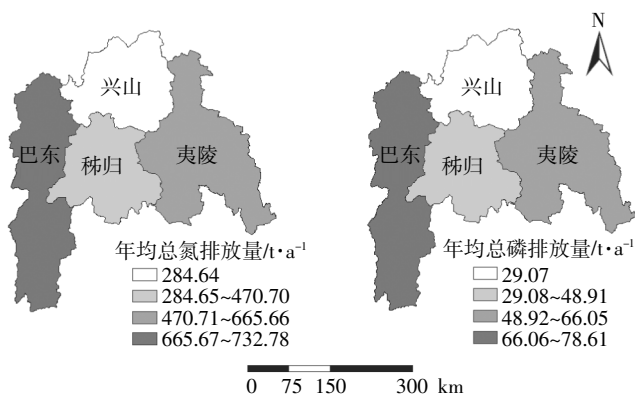


图8 各区县总氮总磷年均排放量空间分布

Figure 8 The spatial distribution of mean annual TN and TP emissions from different districts

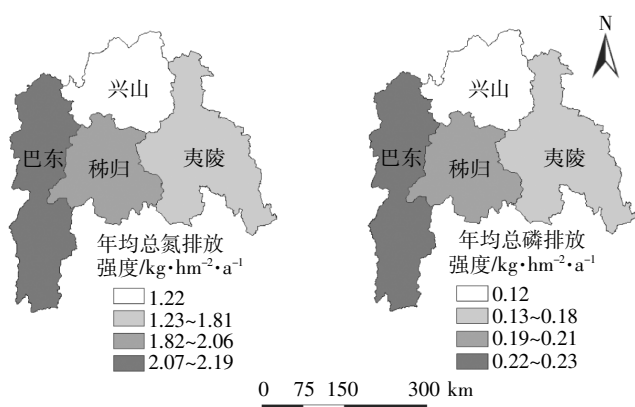


图9 各区县总氮总磷年均排放强度

Figure 9 The spatial pattern of mean annual TN and TP emission intensities from different districts

来看,巴东和秭归的总氮排放强度最高,分别为 2.16、2.02 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;巴东和秭归的总磷排放强度也是最高,分别为 0.23、0.21 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

3 讨论

1991—2014年湖北省三峡库区农业非点源总氮总磷负荷以2006年为时间节点,呈现先降低后升高的趋势,这个时间正是三峡水库蓄水前后,据资料显示,三峡库区于2003年6月蓄水至135 m,2006年10月蓄水至156 m,研究^[29-30]表明,三峡库区蓄水后比蓄水前水质超标污染状况有所缓解,由于蓄水后水库的蓄水澄清作用,水中悬浮物沿程沉降,污染物浓度降低,使水质评价结果趋好;研究区主要污染源是农田种植(水田和旱地),这跟该地区的地形、种植模式以及土地利用类型都有关系,根据第一次全国污染源普查^[3],不同情况下肥料流失不同。湖北省三峡库区多为坡地,单位面积氮磷肥年均使用量分别为 38.24、12.16 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,易发生农田种植的氮磷流失;巴东

是一个农业大县,截至2014年,农村人口41.56万,大牲畜养殖数为49 733万头,比最低值高出近8倍,年均猪养殖数47.61万头,由于没有得到及时科学的无害化处理,绝大部分直接排入河流水库等水体,是水体富营养化的主要来源之一^[31]。同时巴东县的旱地较夷陵等其他区县多,化肥施用量逐年增加,因而造成的氮磷污染也多,成为非点源氮磷污染重点控制区。

本文针对湖北省三峡库区1991—2014年的农业非点源污染问题进行研究,结果显示主要贡献源是种植业和畜禽养殖业,这与其他学者研究^[18-21, 28]结果相似。然而,崔超等^[19]对兴山县香溪河流域进行了氮磷排放研究,发现氮磷年均排放量分别为1 145.2、56.5 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,排放强度分别为44.5、2.14 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,本研究所得排放强度低于同类研究,主要是因为本文将污染源分为农村生活、畜禽养殖和农田种植3类,对生活污水这一污染源没有考虑不同年份间污水处理方式的差异,同时在农田种植中只针对水田和旱地进行了氮磷负荷量的估算,由于数据获取的局限性并没有将其他土地利用类型考虑在内,而林地、草地、园地、建设用地等的面积又占据很大比例,对农业非点源污染负荷也有不可忽视的影响,因此造成排放量和排放强度较同类研究低;另一方面,本文引入了入河系数,与同样引入入河系数的龙天渝等^[9]对三峡库区非点源污染的研究结果(2002—2012年间,年均总氮负荷2.6~4.2 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,总磷负荷0.432~3.186 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)相近,略低于其结果同样是因为本文没有考虑其他土地利用类型和降雨侵蚀力的影响。另外,关于重点控制区的结果也与其他学者不同,蔡金洲等^[28]对2007年湖北省三峡库区的农业面源污染进行了研究,发现4个区县中夷陵区为防控重点控制区域,杜双^[18]、马啸^[20]、Ma等^[21-22]在研究中也得出同样结论。主要原因是本文在数据获取过程中均使用的各地区统计年鉴,包括《宜昌统计年鉴》和《恩施州统计年鉴》,在数据搜集过程中发现同一名称的数据在各个地区统计年鉴上的数值和《湖北农村统计年鉴》的数值不同,为保证数据的精确可靠性,本研究选择了各个地区统计年鉴上的数据,因此计算结果可能有差异;同时,原始数据中巴东县的各项统计数据基本略高于夷陵区,因此结果有所不同。

为了更好地防治湖北省三峡库区农业非点源污染,必须从源头上削减氮磷污染负荷量。针对畜禽养殖产生的非点源污染,建议合理选择畜禽养殖

场、优化畜禽养殖技术、使用生态养殖饲料、对畜禽粪便产生的污染及时采取有效措施进行控制,如采用微生物发酵、高温堆肥等方式变废为宝,使资源得到最大化的利用。针对农田种植产生的非点源污染,首先要改进施肥技术,提倡应用新型肥料,同时对农药进行减量控制,优先选择生物措施或物理措施,合理轮作,减缓污染。针对农村生活产生的非点源污染,要完善生活污水、生活垃圾的处理措施,如建立沼气池、垃圾分类站等,杜绝污染物直接进入水体。与此同时,将非点源污染的危害通过网络、电视等媒介多宣传,提高农村人口的环保意识,也能够减少污染现象。

4 结论

(1)1991—2006年总氮、总磷排放量逐年递减,2006—2014年总氮、总磷排放量逐年增加;总氮和总磷的年均负荷量分别为 $2\,132.10$ 、 $222.64\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,年均排放强度分别为 1.85 、 $0.19\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

(2)种植业源(对研究区总氮、总磷年均贡献率分别为 49.31% 、 57.33%)和养殖业源(对研究区总氮、总磷的年均贡献率分别为 26.25% 、 33.54%)为总氮、总磷的主要污染源。

(3)1991—2014年,巴东县总氮负荷量为 $732.78\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 、排放强度 $2.16\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;总磷负荷量为 $78.61\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,排放强度为 $0.23\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,高于其他3个区县,是氮、磷排放重点控制区域。

参考文献:

- [1] 叶平平. 当前农业面源污染现状、特征及对策研究[J]. 资源节约与环境保护, 2016(4): 179–180.
- [2] YE Ping-ping. Current situation, characteristics and countermeasures of agricultural non-point source pollution[J]. *Resource Conservation and Environmental Protection*, 2016(4): 179–180.
- [3] 林更生. 农业面源污染的产生与防治分析[J]. 南方农业, 2016, 10(9): 231–232.
- [4] LIN Geng-sheng. Analysis of agricultural non-point source pollution and its prevention[J]. *South China Agriculture*, 2016, 10(9): 231–232.
- [5] 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. 第一次全国污染源普查公报[R]. 北京: 中华人民共和国国家统计局, 2010: 1–16.
- [6] Ministry of Environmental Protection of PRC, National Bureau of Statistics of PRC, Ministry of Agriculture of PRC. Report on the first national pollution census[R]. Beijing: National Bureau of Statistics of PRC, 2010: 1–16.
- [7] 朱梅. 海河流域农业非点源污染负荷估算与评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [8] ZHU Mei. Study on agricultural NPS loads of Haihe Basin and assessment on its environmental impact[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 刘瑞民, 沈珍瑶, 丁晓雯, 等. 应用输出系数模型估算长江上游非点源污染负荷[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 677–682.
- [12] LIU Rui-min, SHEN Zhen-yao, DING Xiao-wen, et al. Application of export coefficient model in simulating pollution load of non-point source in upper reach of Yangtze River Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(2): 677–682.
- [13] 梁常德, 龙天渝, 李继承, 等. 三峡库区非点源氮磷负荷研究[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(1): 26–30.
- [14] LIANG Chang-de, LONG Tian-yu, LI Ji-cheng, et al. Importation loads of non-point sources nitrogen and phosphorus in the Three Gorges Reservoir[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(1): 26–30.
- [15] 毕雪, 王晓媛. 基于输出系数模型的洞庭湖流域面源污染分析[J]. 人民长江, 2012, 43(11): 74–77.
- [16] BI Xue, WANG Xiao-yuan. Analysis of non-point source pollution load in Dongting Lake Watershed based on export coefficient model[J]. *Yangtze River*, 2012, 43(11): 74–77.
- [17] 龙天渝, 刘敏, 刘佳. 三峡库区非点源污染负荷时空分布模型的构建及应用[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 217–223.
- [18] LONG Tian-yu, LIU Min, LIU Jia. Development and application of non-point source pollution load model of spatial and temporal distribution in Three Gorges Reservoir Region[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(8): 217–223.
- [19] 湖北省环境保护厅. 2015年湖北省环境质量状况[R]. 武汉: 湖北省环境保护厅, 2016.
- [20] Environmental Protection Department of Hubei Province. Report on environmental quality in Hubei Province in 2015[R]. Wuhan: Environmental Protection Department of Hubei Province, 2016.
- [21] 中华人民共和国环境保护部. 地表水环境质量评价办法(试行)(环办[2011]22号)[S]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2011.
- [22] Ministry of Environmental Protection of PRC. Measures for the assessment of surface water environmental quality(for Trial Implementation)([2011]22)[S]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of PRC, 2011.
- [23] Omemik J M. The influence of land use on stream nutrient levels[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 1976.
- [24] Johnes P J, Heathwaite A L. Modelling the impact of land use change on water quality in agricultural catchments[J]. *Hydrological Processes*, 1997, 11: 269–286.
- [25] 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.
- CAI Ming, LI Huai-en, ZHUANG Yong-tao, et al. Application of modified export coefficient method in polluting load estimation of non-point source pollution[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004(7):40-45.
- [15] 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.
- [16] 李兆富, 杨桂山, 李恒鹏. 基于改进输出系数模型的流域营养盐输出估算[J]. 环境科学, 2009, 30(3):668-672.
- LI Zhao-fu, YANG Gui-shan, LI Heng-peng. Estimated nutrient export loads based on improved export coefficient model in Xitiaoxi Watershed[J]. *Environmental Science*, 2009, 30(3):668-672.
- [17] 徐立红, 邢波, 叶潞洁, 等. 基于流域降雨强度的氮磷输出系数模型改进及应用[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16):159-166.
- XU Li-hong, XING Bo, YE Lu-jie, et al. Improvement of export coefficient model for N and P based on rainfall intensity and its application[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(16):159-166.
- [18] 杜双. 三峡库区湖北段农业非点源氮磷污染负荷研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.
- DU Shuang. Research on loads from nitrogen and phosphorus loss in ANPS in the Three Gorges Reservoir at Hubei region[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2011.
- [19] 崔超, 刘申, 翟丽梅, 等. 兴山县香溪河流域农业源氮磷排放估算及时空特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(5):937-946.
- CUI Chao, LIU Shen, ZHAI Li-mei, et al. Estimates and spatio-temporal characteristics of nitrogen and phosphorus discharges from agricultural sources in Xiangxi River Basin, Xingshan County[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(5):937-946.
- [20] 马啸. 三峡库区湖北段污染负荷分析及时空分布研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- MA Xiao. Analysis and spatio-temporal distribution of pollution loading in Hubei section of Three Gorges Reservoir Area[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012.
- [21] Ma X, Li Y, Zhang M, et al. Assessment and analysis of non-point source nitrogen and phosphorus loads in the Three Gorges Reservoir Area of Hubei Province, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2011, 412/413:154-161.
- [22] Ma X, Li Y, Li B L, et al. Nitrogen and phosphorus losses by runoff erosion: Field data monitored under natural rainfall in Three Gorges Reservoir Area, China[J]. *Catena*, 2016, 147:797-808.
- [23] 崔超, 刘申, 翟丽梅, 等. 香溪河流域土地利用变化过程对非点源氮磷输出的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1):129-138.
- CUI Chao, LIU Shen, ZHAI Li-mei, et al. Effect of land use/cover changes on nitrogen and phosphorus losses via non-point source pathway in Xiangxi River Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(1):129-138.
- [24] 杨彦兰, 申丽娟, 谢德体, 等. 基于输出系数模型的三峡库区(重庆段)农业面源污染负荷估算[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(3):112-119.
- YANG Yan-lan, SHEN Li-juan, XIE De-ti, et al. Estimation of pollution loads from agricultural nonpoint sources in Three Gorges Reservoir Area (Chongqing) based on the export coefficient modeling approach[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2015, 37(3):112-119.
- [25] 常丽娟. 基于改进的输出系数模型对三峡库区非点源氮磷污染负荷的模拟研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
- CHANG Li-juan. Study on the nitrogen and phosphorus load of non-point source pollution in Three Gorges Reservoir Area by using the improved export coefficient model[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.
- [26] 张广纳, 邵景安, 王金亮, 等. 三峡库区重庆段农村面源污染时空格局演变特征[J]. 自然资源学报, 2015, 30(7):1197-1209.
- ZHANG Guang-na, SHAO Jing-fa, WANG Jin-liang, et al. Spatial and temporal variations of agricultural non-point source pollution in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(7):1197-1209.
- [27] 程红光, 郝芳华, 任希岩, 等. 不同降雨条件下非点源污染氮负荷入河系数研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(3):392-397.
- CHENG Hong-guang, HAO Fang-hua, REN Xi-yan, et al. The study of the rate loss of nitrogenous non-point source pollution loads in different precipitation levels[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(3):392-397.
- [28] 蔡金洲, 范先鹏, 黄敏, 等. 湖北省三峡库区农业面源污染解析[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7):1421-1430.
- CAI Jin-zhou, FAN Xian-peng, HUANG Min, et al. Sources analysis of agricultural non-point source pollution in the Three Gorges Reservoir Area of Hubei Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(7):1421-1430.
- [29] 余明星, 邱波, 夏凡, 等. 三峡水库蓄水前后干流水质特征与变化趋势研究[J]. 人民长江, 2011, 42(23):34-38.
- YU Ming-xing, QIU Bo, XIA Fan, et al. Research on water quality characteristics and variation of mainstream of Yangtze River before and after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. *Yangtze River*, 2011, 42(23):34-38.
- [30] 吕平毓, 米武娟. 三峡水库蓄水前后重庆段整体水质变化分析[J]. 人民长江, 2011, 42(7):28-32.
- LÜ Ping-yu, MI Wu-juan. Analysis on general variation of water quality in Chongqing reach after impoundment of Three Gorges Reservoir[J]. *Yangtze River*, 2011, 42(7):28-32.
- [31] 孙天娥. 浅析巴东县农业面源污染现状与控制对策[J]. 农业科技通讯, 2017(1):19-21.
- SUN Tian-e. Current situation and control countermeasures of agricultural non-point source pollution in Badong[J]. *Agricultural Science and Technology Newsletter*, 2017(1):19-21.