三峡库区湖北段非点源污染氮磷排放时空分布特征

王 萌[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:[目的] 了解三峡库区湖北段非点源污染情况,找到主要污染源和重点控制区,为该区生态环境的建设和治理提供科学支持。[方法] 运用输出系数模型结合降雨侵蚀力影响系数和入河系数模拟计算研究区 1990,2000,2005 和 2010 年的非点源污染氮磷排放总量、各污染源氮磷污染排放量及贡献率以及各地区氮磷排放的时空分布特征。[结果] 三峡库区湖北段 1990,2000,2005 和 2010 年的 TN 排放量在 2 500 t 以上、TP 排放量在 250 t 以上,2000 年达到最高,TN,TP 年均排放量分别为 3 612.78 和 393.75 t/a,年均排放强度为 3.10 和 0.34 kg/(hm^2 · a),研究区非点源污染以氮污染为主。水田和旱地是造成氮污染的主要原因,其次是农村人口;水田和旱地也是磷污染排放的主要贡献源,其次是猪的养殖。[结论] 研究区非点源污染总体呈现两侧高中间低的区域性分布。巴东县为氮磷排放的重点控制区域。

关键词:三峡库区湖北段;非点源污染;氮;磷;输出系数模型;时空分布
文献标识码:A **文章编号**:1000-288X(2018)02-0046-07 **中图分类号**:X503, X52

文献参数:王萌, 刘云, 李春蕾, 等.三峡库区湖北段非点源污染氮磷排放时空分布特征[J].水土保持通报,2018,38(2):46-52.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.008. Wang Meng, Liu Yun, Li Chunlei, et al. Spatio-temporal distribution of pollution loads from agricultural non-point sources nitrogen and phosphorus in Three Gorges Reservoir area of Hubei Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(2):46-52.

Spatio-temporal Distribution of Pollution Loads from Agricultural Non-point Sources Nitrogen and Phosphorus in Three Gorges Reservoir Area of Hubei Province

WANG Meng[1], LIU Yun[1], LI Chunlei[2], XIAO Wenfa[2]
(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 Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing* 100091, *China*)

Abstract: [Objective] In order to understand the non-point source pollution in Three Gorges Reservoir area of Hubei Province to find the main pollution sources and the key control area. [Methods] The non-point source pollutions of nitrogen and phosphorus emissions in 1990, 2000, 2005 and 2010 were calculated with the rainfall erosivity coefficient and simulated by river export coefficient model, the temporal and spatial distribution characteristics of nitrogen and phosphorus emissions of various pollution sources and their contribution rates were analyzed. [Results] TN emissions was more than 2 500 t and TP emissions was more than 250 t, and they both got the highest in 2000. The average annual TN emissions were 3 612.78 t/a and TP was 393.75 t/a, the annual TN and TP emission intensity were 3.10, 0.34 kg/(hm^2 · a). Therefore the study area was mainly nitrogen polluted. Paddy field and dry land were the main causes of nitrogen pollution source, the followed source was rural population. Paddy field and dry land were the main contributions of phosphorus pollution, pig breeding was the next one. [Conclusion] The non-point source pollution in the study area had

收稿日期:2017-08-31 **修回日期**:2017-10-01
资助项目:2014 国家气象公益行业项目"气候和土地利用变化对森林的影响及适应对策"(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)
第一作者:王萌(1993—),女(汉族),北京人,硕士研究生,研究方向为景观生态与环境效应。E-mail:wangmeng9303@126.com。
通讯作者:刘云(1971—),女(汉族),新疆自治区库尔勒市人,博士,教授,硕士生导师,从事景观生态与环境效益研究。E-mail:housqly@126.com。

its spatial distribution characterized by its low pollution in both sides and high in the middle part. Badong district was recognized as the key control area of nitrogen and phosphorus emissions.

Keywords: Three Gorges Reservoir area of Hubei Province; agricultural non-point source pollution; nitrogen; phosphorus; export coefficient model; spatial-temporal distribution

非点源污染(non-point source pollution)又称面源污染,是指由于土地利用活动产生的溶解的或固体的污染物(地面的各种污染物质,如城市垃圾、农村家畜粪便、农田中的化肥、农药、重金属及其它有毒或有机物),从非特定的地点随着降雨和地表径流等进入受纳水体(如水库、湖泊、河流等)而造成的水环境污染[1]。具有分散性、隐蔽性、随机性、潜伏性、累积性、污染物排放和污染途径的不确定性等特点[2]。能够使水体水质恶化、发生富营养化、污染饮用水源,严重影响人们的生活。三峡库区作为长江流域具有重要战略意义的生态屏障地区,也是我国典型的生态脆弱区[3]。三峡水库建成后,河水流速变缓,不利于污染物的扩散自净,加上大量移民活动,致使非点源污染加剧[4],《长江三峡工程生态与环境监测公报》[5]显示,2010 年三峡库区长江干流水质均达到或优于Ⅲ类,库区主要支流水体处于富营养状态的断面比例月平均为 34.0%,比上年增加 7.1%,部分支流有水华现象。因此非常有必要对研究区进行非点源污染的研究。

非点源污染研究领域中模型研究一直是活跃分支并被广泛应用于实际[6]。主要包括统计模型和机理模型,统计模型较少考虑非点源污染的中间过程和内在机制,通过对典型样区的监测实验提取数据,在水文参数、水质参数和景观参数间建立经验关系式[2],如输出系数法、水质水量相关法、平均浓度法等;机理模型根据非点源污染形成的内在机理,通过数学模型对降雨径流以及污染物的迁移转化过程进行模拟[7],如 SWAT,HSPF,AGNPS 模型等。美国是开展非点源污染研究最早的国家,早在 1930 年便开始了研究工作,1936 年制定了第一个非点源污染控制法(至今已进行了多次修订)。但对非点源污染的全面认识和系统研究则始于 20 世纪 60 年代,首先在美、日、英等一些发达国家率先兴起,70 年代以后,在世界各地逐渐受到重视,80 年代非点源污染研究蓬勃发展,90 年代新的污染物成为研究热点。我国非点源污染相关研究起步较晚,始于 20 世纪 80 年代初的湖泊、水库富营养化调查和河流水质规划研究[8],2000 年以后,随着国内外非点源污染模型的引进发展迅速,大批研究者运用各种模型和计算方法在全国不同地区、不同尺度范围内开展了大量应用研究[9]。在这其中,输出系数模型因其结构相对简单、数据获取相对容易以及较少考虑非点源污染复杂的迁移转化过程而在国内得到广泛应用。输出系数模型最初由 Omemik 等人[10]于 20 世纪 70 年代中期预测静止水体的富营养化而建立,当时的模型比较简单,输出系数单一。1996 年 Johnes 等[11]在此基础上针对不同污染源确定了不同的输出系数,使模型更加合理化,灵敏性得到很大提高。2004 年,蔡明等[12]考虑降雨和污染物在迁移过程中的损失对模型进行了改进,并用于渭河流域总氮负荷量的估算,模拟结果更接近监测值。2006 年程红光等[13]对不同降雨条件下非点源污染氮负荷的入河系数进行了研究,提出了非点源污染负荷的“流域损失系数—入河系数”概念。2008 年龙天渝等[14]将输出系数法与 SLURP 分布式水文模型相结合,引入污染负荷系数,对三峡库区的非点源氮磷污染进行估算和分析。同年,丁晓雯等人[15]提出了基于降雨和地形特征的输出系数模型改进,并以长江上游为例进行氮磷负荷估算,结果表明改进之后的模型相对误差减小,精度有所提高。2009 年李兆富等[16]通过实测数据推算获得流域主要土地利用类型的氮磷输出系数,并考虑流域降雨的空间差异,同时与 GIS 融合,构建了半分布式的输出系数模型。2011 年张敏等[17]对蔡明等人的改进模型进一步优化,对研究区每种土地利用类型设置了不同的流域损失系数,并对浙江省安吉县西部小流域非点源污染进行了估算。2015 年徐立红等[18]将流域不同营养源与降雨携带的氮磷产生量“合成”考虑,提出了产污系数,基于流域降雨强度对氮磷输出系数模型进行了改进。2016 年龙天渝等[19]定义了降雨侵蚀力影响系数,提出了入河系数的空间分布式,将二者引入到 Johnes 的年输出系数模型中,构建了非点源污染负荷的时空分布模型,对三峡库区 2002—2012 年总氮总磷负荷进行了模拟。并用小江流域的实测值对该模型进行了验证,结果表明加入降雨侵蚀力影响系数和入河系数后的输出系数模型模拟值与实测值较好的吻合。有研究表明降雨产生的径流对非点源污染物有搬运作用,降雨强度越大,携带走的污染物越多,产生的污染程度越大[20]。且径流的迁移过程主要受土地利用方式的影响,从而影响非点源污染物的输出[21]。因此,在不同的土地利用方式排放的氮磷污染负荷计算中应考虑到降雨径流的影响,本文通过将降雨侵蚀力影响系数引入输出系数模型中,以便更好的模拟不同年份的非点源氮磷污染负荷量。

三峡库区湖北段以农业为主，又地处长江中游，该地区的农业活动排水最终都会流入长江从而影响长江的水质，因此无论是从农业发展的环保性还是地理位置的重要性角度考虑，估算其可能造成的非点源污染都显得尤为必要，这不仅有助于及时有效地了解该地区非点源污染的发展状况，找到有效的防治对策，更有利于整个地区生态环境的建设和治理。考虑到以往的研究只估算了各污染源产生的污染物负荷量，并没有考虑其在迁移到受纳水体过程中的损失以及降雨径流对不同土地利用方式产污的影响，因此本文通过运用改进的输出系数模型，引入入河系数（即空间各单元产生的污染物进入受纳水体的比例[19]）和降雨侵蚀力影响系数，结合 GIS 技术，对三峡库区湖北段 1990，2000，2005 和 2010 年的非点源污染情况进行时空分布模拟研究，估算各年氮磷污染排放量和不同污染源的贡献，以空间化方式将各区县的污染特征进行时空分布及其变化规律分析。

1 研究区概况

三峡库区湖北段地处长江中游，地理范围在东经 110°04′—111°39′，北纬 31°04′—31°34′之间，包括夷陵、秭归、兴山和巴东 4 个区县，均属中亚热带季风气候。夷陵地势西北高，东南低，有山地、丘陵、河谷等多种地貌，土壤包括黄壤、黄棕壤、山地棕壤、紫色土、石灰岩土、潮土和水稻土。年降雨量在 977～1 370 mm 之间，年平均气温 16.11～17.4 ℃。2010 年末，夷陵区土地总面积约为 3.69×10^5 hm^2，其中水田和旱地 5.60×10^4 hm^2。秭归地势西南高东北低，属长江三峡山地地貌，土地总面积约为 2.28×10^5 hm^2，其中水田和旱地 6.00×10^4 hm^2，该地区年降雨量在 950～1 590 mm，年平均气温 18 ℃。兴山地势东西北三面高，南面低，由南向北逐渐升高，土地总面积约为 2.34×10^5 hm^2，其中水田和旱地 2.81×10^4 hm^2，年降雨量在 900～1 200 mm 之间，雨量充沛但时空分布差异大，年平均气温 15.3 ℃左右。巴东地形狭长，西高东低，南北起伏，光、热、水分布垂直差异明显，形成不同的山地型小气候，土地总面积约为 3.35×10^5 hm^2，其中水田和旱地 1.01×10^5 hm^2，年降雨量在 1 200～1 650 mm 之间，年平均气温 16.8 ℃。

2 输出系数法

2.1 数据获取

本研究所采用的数据详见表 1。本研究将 4 期土地利用类型图按照林地、草地、水域、水田、旱地、园地、建设用地和裸地分别进行重分类（附图 1），然后计算出各类土地利用类型的面积。

表 1 研究所用数据清单

数据类型		数据内容	数据来源	备注
空间数据	DEM 影像	高程、坡向、坡度等	数字化地形图	空间分辨率为 30 m
	土地利用图	土地利用类型、空间分布	遥感影像解译	1990，2000，2005，2010 年
	矢量边界图	湖北三峡库区县域边界	—	—
属性数据	气象数据	日最高最低气温、日降雨量、风速、相对湿度和太阳辐射	国家气象信息中心提供	库区内及库区周边气象站点历年的数据
	社会经济数据	农村人口、化肥施用量、畜牧业、农田管理等	湖北统计年鉴、湖北农村统计年鉴	历年三峡库区湖北段各区县统计年鉴、统计报告

2.2 输出系数模型

改进后的输出系数模型不但精度得到提高，相对误差减小，而且更加合理化。

因此本研究参考改进后的输出系数模型[13-14,17,19]对三峡库区湖北段的非点源氮磷负荷进行估算，确定模型为：

$$L=L_i+L_l \tag{1}$$

$$L_i=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i E_i A_i \tag{2}$$

$$L_l=\alpha\sum_{i=1}^{n}\lambda_l E_l A_l \tag{3}$$

式中：L——污染物的输出量（kg）；L_i——第 i 种农村生活源或畜禽养殖源污染物的输出量（kg）；L_l——第 l 种土地利用类型的输出量（kg）；λ_i——第 i 种农村生活或畜禽养殖污染源的流域损失系数，无量纲；E_i——第 i 种农村生活或畜禽养殖污染源的输出系数；A_i——第 i 种牲畜的数量或人口数量，头（只）或人；α——降雨影响系数，无量纲；λ_l——第 l 种土地利用类型的流域损失系数，无量纲；E_l——第 l 种土地利用类型的输出系数；A_l——第 l 种土地利用类型的面积（hm^2）。其中，

$$\alpha=R_i/\overline{R} \tag{4}$$

$$R_i=\sum_{i}^{12}0.287P_i^{1.574} \tag{5}$$

式中：R_i——第 i 年的降雨侵蚀力；$\overline{R}$——流域多年平均降雨侵蚀力；P_i——（≥12 mm，否则以 0 计算）月降雨量。

2.3　不同污染源不同系数的确定

输出系数的选择是运用该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[22-29],本文所用各污染源的输出系数详见表 2。在确定降雨影响系数之前需要先计算出各年的降雨侵蚀力,选取研究区及其周边 13 个气象站点的月降雨数据按照公式(5)计算得到各年的降雨侵蚀力,再按照公式(4)求出各年的降雨影响系数。本研究经过计算得到 1990,2000,2005 和 2010 年降雨影响系数分别为 0.91,1.21,0.89 和 0.99。各污染源的入河系数参考三峡库区及其相似地区的研究结果[30-32]确定。

3　结果与分析

3.1　研究区总氮总磷污染排放量

运用改进的输出系数模型模拟了三峡库区湖北段 1990,2000,2005 和 2010 年的非点源氮磷污染,结果如图 1 所示。由图 1 可知,1990,2000,2005 和 2010 年三峡库区湖北段总氮排放均在 2 500 t 以上,2000 年达到最高,相比于 1990,2010 年的总氮排放量增加了 1 049.44 t,增长了 38.26%,年均总氮排放量为 3 612.78 t/a,年均排放强度为3.10 kg/(hm^2 · a)。研究区 1990,2000,2005 和 2010 年的总磷排放量在 250 t 以上,2000 年达到最高,相比于 1990,2010 年的总磷排放量增加了 156.75 t,增长了 56.61%,年均总磷排放量为 393.75 t/a,年均排放强度为 0.34 kg/(hm^2 · a)。氮磷比约为 9∶1,因此三峡库区湖北段非点源污染以氮污染为主。

表 2　研究区不同污染源的输出和入河系数取值

污染源	类别	输出系数		入河系数	
		TN	TP	TN	TP
农村生活〔kg/(人·a)〕	农村人口	0.98	0.026	0.337	0.237
	生活污水	0.0675	0.0073	0.30	0.30
	生活垃圾	0.1606	0.0329	0.20	0.20
畜禽养殖{kg/〔头(只)·a〕}	大牲畜	11.367	0.487	0.307	0.305
	猪	0.587	0.163	0.261	0.252
	羊	0.388	0.0404	0.253	0.252
	家禽	0.0459	0.0054	0.120	0.110
土地利用/(kg·hm^{-2}·a^{-1})	水田	20.625	2.1	0.529	0.529
	旱地	18.105	2.3	0.529	0.529
	林地	2.5	0.15	0.01	0.01
	草地	6.08	0.80	0.211	0.211
	园地	12.34	2.62	0.267	0.267
	建设用地	13	1.80	0.318	0.318
	裸地	11	0.20	0.296	0.296

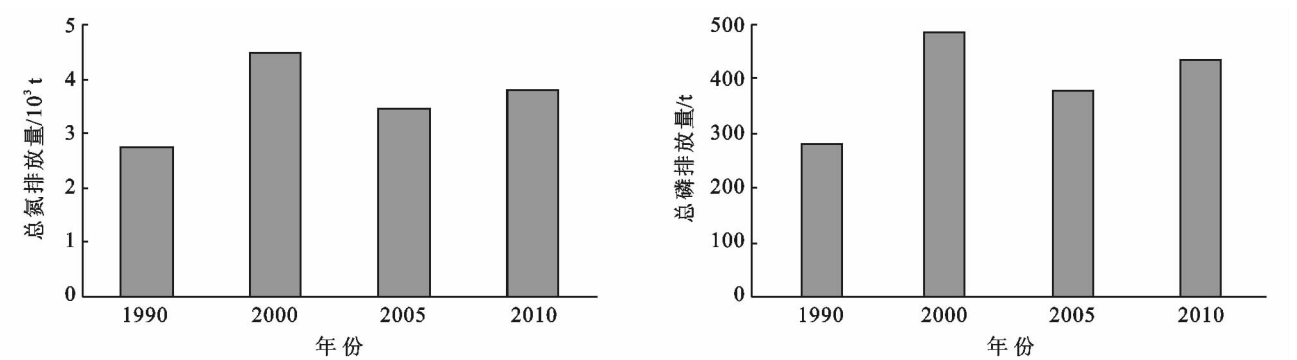


图 1　研究区各年总氮、总磷污染排放量

3.2　各污染源总氮总磷排放特征

1990,2000,2005 和 2010 年三峡库区湖北段各污染源总氮总磷排放量及贡献率详见表 3—4。主要包括农村生活、畜禽养殖和土地利用 3 类污染源。对于氮污染来说,农村人口、生活污水和生活垃圾排放的氮污染量均呈降低趋势,农村生活对氮污染的贡献率从 1990 年的 21.18%减少到 2010 年的13.12%,排放量减少了 83.56 t,可能是由于城镇化快速发展,农村人口数从 1990 年的 1.51×10^6 人减少到 2010 年的 1.30×10^6 人,减少了 2.10×10^5 人,使农村生活排放的氮污染负荷降低;畜禽养殖排放的氮污染负荷总体变化不明显,2005 年畜禽污染排放的氮污染负荷为 4 a 中最低,489.42 t,与 1990 年最高值相差 103.30 t,大牲畜为畜禽排放氮污染的主要贡献源。土地利用活动对氮污染的贡献最大,分别为 1 569.46,3 395.37,2 465.24 和 2 722.06 t,分别占总体的 57.21%,76.11%,71.37%和 71.77%,主要是因为当地居民以农田种植为主要生产方式,水田和旱地的面积不断扩大,根据 4 期土地利用类型图计算得到:1990—2010 年水田和旱地的面积分别增加了 107.86%和 35.57%,导致施肥量和施肥次数增加,造成氮污染排放升高。

对于磷污染来说,农村生活排放的磷污染量基本没有变化,但是对总体的贡献率从 1990 年的 8.19%

降低到4.48%，其中生活垃圾为农村生活排放磷污染的主要贡献源；畜禽养殖排放的磷污染量有所升高，其中猪的贡献率最大；土地利用活动依然是磷排放的主要贡献源，尤其是水田和旱地。综上所述，从各污染源贡献率的角度分析，水田和旱地的土地利用活动是造成氮污染的主要原因，其次是农村人口；水田和旱地也是磷污染排放的主要贡献源，其次是猪的养殖。

表3 研究区各年各污染源氮污染负荷及贡献率

年份	项目	农村生活			畜禽养殖				土地利用类型							合计
		农村人口	生活污水	生活垃圾	大牲畜	猪	羊	家禽	水田	旱地	林地	草地	园地	建设用地	裸地	
1990	总量/t	501.50	30.75	48.77	399.23	166.77	14.86	11.87	591.10	782.41	20.49	95.12	70.81	9.53	0.00	2 743.20
	比例/%	18.28	1.12	1.78	14.55	6.08	0.54	0.43	21.55	28.52	0.75	3.47	2.58	0.35	0.00	1.00
2000	总量/t	454.34	27.86	44.19	334.26	170.95	20.47	13.46	1665.20	1457.51	25.21	9.83	155.97	79.15	2.51	4 460.90
	比例/%	10.18	0.62	0.99	7.49	3.83	0.46	0.30	37.33	32.67	0.57	0.22	3.50	1.77	0.06	1.00
2005	总量/t	431.32	26.45	41.95	258.25	197.59	20.55	13.04	1 211.56	1 058.21	18.53	7.53	115.45	52.40	1.56	3 454.37
	比例/%	12.49	0.77	1.21	7.48	5.72	0.59	0.38	35.07	30.63	0.54	0.22	3.34	1.52	0.05	1.00
2010	总量/t	429.37	26.33	41.76	233.25	283.49	34.13	22.25	1 336.64	1 153.94	20.58	8.43	127.63	73.64	1.21	3 792.64
	比例%	11.32	0.69	1.10	6.15	7.47	0.90	0.59	35.24	30.43	0.54	0.22	3.37	1.94	0.03	1.00

表4 各年各污染源磷污染负荷及贡献率

年份	项目	农村生活			畜禽养殖				土地利用类型							合计
		农村人口	生活污水	生活垃圾	大牲畜	猪	羊	家禽	水田	旱地	林地	草地	园地	建设用地	裸地	
1990	总量/t	9.36	3.33	9.99	16.99	44.71	1.54	1.28	60.18	99.40	1.23	12.52	15.03	1.32	0.00	276.88
	比例/%	3.38	1.20	3.61	6.14	16.15	0.56	0.46	21.74	35.90	0.44	4.52	5.43	0.48	0.00	1.00
2000	总量/t	8.48	3.01	9.05	14.23	45.83	2.12	1.45	169.55	185.16	1.51	1.29	33.12	10.96	0.05	485.81
	比例/%	1.74	0.62	1.86	2.93	9.43	0.44	0.30	34.90	38.11	0.31	0.27	6.82	2.26	0.01	1.00
2005	总量/t	8.05	2.86	8.59	10.99	52.98	2.13	1.41	123.36	134.43	1.11	0.99	24.51	7.26	0.03	378.69
	比例/%	2.13	0.76	2.27	2.90	13.99	0.56	0.37	32.58	35.50	0.29	0.26	6.47	1.92	0.01	1.00
2010	总量/t	7.93	2.82	8.47	9.83	75.25	3.50	2.38	136.09	146.59	1.23	1.11	27.10	10.20	0.02	433.63
	比例/%	1.85	0.66	1.97	2.29	17.53	0.82	0.55	31.38	33.81	0.28	0.26	6.25	2.35	0.01	1.00

3.3 不同地区总氮总磷排放特征及空间分布

从不同地区总氮总磷排放特征来看，除1990年外，各区县氮磷排放量表现为：巴东＞夷陵＞秭归＞兴山，主要是因为2000年以后，巴东县水田和旱地的面积大幅度扩大，而1990年的夷陵区还是宜昌县，农村人口众多。因此巴东为氮磷污染的重点控制区域。各区县各类污染源总氮总磷年均排放量空间分布如图2—3所示。

由图2—3可知，年均总氮排放量顺序依次为：巴东(1 269.68 t/a)＞夷陵(1 061.20 t/a)＞秭归(839.24 t/a)＞兴山(430.77 t/a)。因此巴东是磷污染的重点控制区域。由于土地利用活动为氮污染的主要来源，主要是氮肥的施用，巴东地区年均氮肥施用量为1.40×10^4 t/a，氮排放占研究区年均总氮负荷的35.14%，因此氮排放量较其他3个区县高。年均总磷排放量排序依次为：巴东(137.03 t/a)＞夷陵(116.02 t/a)＞秭归(95.40 t/a)＞兴山(45.28 t/a)。因此巴东也是磷污染的重点控制区域。

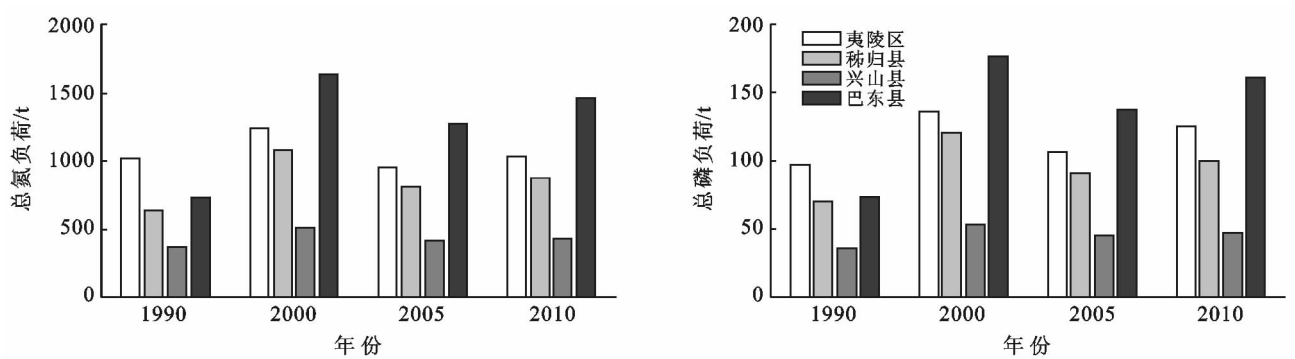


图2 各年各区县总氮总磷负荷量

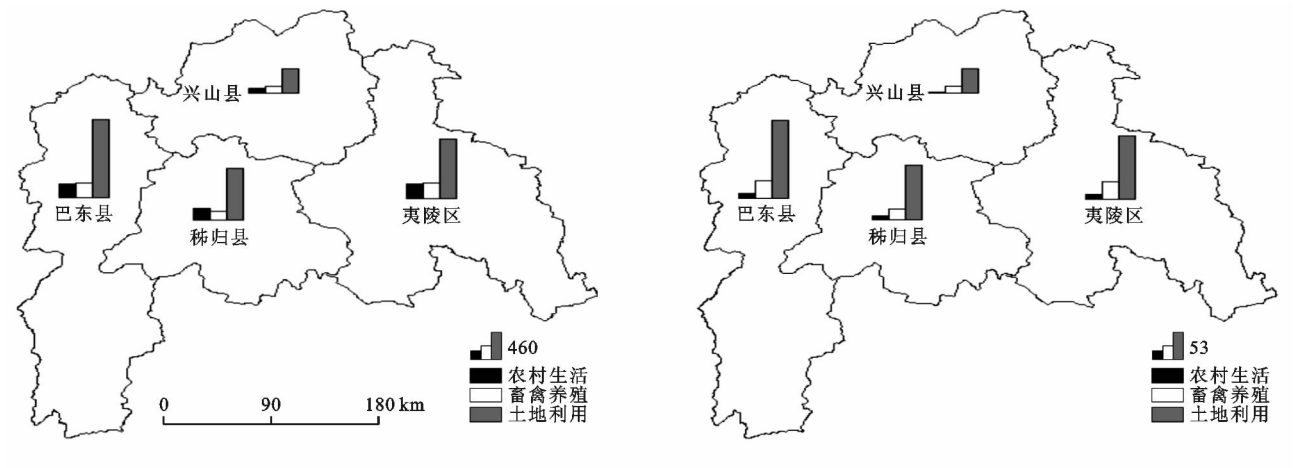


图 3　各区县各类污染源总氮总磷年均排放量空间格局

土地利用活动为磷排放的主要来源,主要原因是农用地面积增加,施肥量和施肥次数增加。巴东地区年均磷肥施用量为2 188.5 t/a。除秭归外,其他 3 个区县来自畜禽养殖源的 TN 排放量均高于农村生活源。兴山县的各类污染源年均 TN 排放量明显低于其他 3 个区县。

4　讨论与结论

1990,2000,2005 和 2010 年,三峡库区湖北段非点源 TN 和 TP 年排放量及排放强度表现为 2000 年最高,1990 年最低。总体呈现上升趋势。土地利用(主要是水田和旱地)和畜禽养殖(主要是猪的养殖)是非点源污染的主要污染源,其中土地利用(主要是水田和旱地)是 TN 的主要污染源,土地利用(主要是水田和旱地)和畜禽养殖(主要是猪的养殖)为 TP 的主要污染源。三峡库区湖北段非点源氮磷污染总体呈现两侧高中间低的区域性分布。巴东县为氮磷排放的重点控制区域。

通过 4 期土地利用图计算得到 2000 年以后水田和旱地的面积均高于 1990 年,尤其是 2000 年居于最高值,在其他项数据相差不大的情况下,这很大程度上决定了该年份的非点源氮磷负荷量达到最大值。造成这种情况的主要原因可能是 1990—2000 年间库区湖北段大力发展农业,且耕地主要以水田和旱地为主。另一方面,1990—2010 年间农村人口有所降低,而作为主要污染源的畜禽养殖数显著增加,2010 年猪的养殖数达到 1.85×10^6 头,明显高于 1990 年的 1.09×10^6 头,结合不同污染源的不同输出系数,导致 2005,2010 年的氮磷排放量升高并高于 1990 年。

不同于以往的研究,为了模拟结果更好地接近实测值,减小误差,本文运用龙天渝等人[19]改进的输出系数模型,即加入入河系数,在土地利用产生的非点源氮磷污染负荷中还加入降雨影响系数,模拟计算了三峡库区湖北段非点源氮磷污染负荷,然而,本文的研究结果相比较之前学者所做的研究结论有出入,主要表现为氮磷排放量最高的区县不一致:杜双[22]经过研究发现 4 个区县中夷陵区的氮磷排放量最高。本研究的结论则是巴东县最高。出现这种问题可能的原因首先是本文在数据统计过程中用的是夷陵区的农村人口数据,在数据搜集过程中发现同一项目《湖北农村统计年鉴》和各地区的统计年鉴数据不一致,为保证数据的精确性和可靠性,本文各项数据均取自地方统计数据,即《宜昌统计年鉴》和《恩施州统计年鉴》。再加上引入了降雨影响系数和入河系数,因此得出的结果和结论不同。其次,根据统计数据显示,除 1990 年外,其他年份巴东县无论是人口数、畜禽养殖数还是土地利用情况都基本略高于夷陵区,因此结果有所不同。

[参　考　文　献]

[1] Line D E, Mclaughlin R A, Osmond D L, et al. Non-point sources[J]. Water Environment Research, 1998, 70(4):895-911.

[2] 马啸. 三峡库区湖北段污染负荷分析及时空分布研究[D]. 湖北 武汉:武汉理工大学,2012.

[3] 马骏,李昌晓,魏虹,等. 三峡库区生态脆弱性评价[J]. 生态学报,2015,35(21):7117-7129.

[4] 程辉,吴胜军,王小晓,等. 三峡库区生态环境效应研究进展[J]. 中国生态农业学报,2015,23(2):127-140.

[5] 中华人民共和国环境保护部. 长江三峡工程生态与环境监测公报[R]. 北京:中华人民共和国环境保护部,2011.

[6] 陈勇,冯永忠,杨改河. 农业非点源污染研究进展[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(8):173-181.

[7] 刘庄,晁建颖,张丽,等. 中国非点源污染负荷计算研究现状与存在问题[J]. 水科学进展,2015,26(3):432-440.

[8] 郑一,王学军.非点源污染研究的进展与展望[J].水科学进展,2002,13(1):105-110.

[9] Shen Zhenyao, Liao Qian, Hong Qian, et al. An overview of research on agricultural non-point source pollution modelling in China[J]. Separation and Purification Technology, 2012,84(2):104-111.

[10] Omemik J M. The Influence of Land Use on Stream Nutrient Levels[M]. US: Environmental Protection Agency, 1976.

[11] Johnes P J, Heathwaite A L. Modelling the impact of land use change on water quality in agricultural catchments[J]. Hydrological Processes, 1997,11(3):269-286.

[12] 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,2004,35(7):40-45.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 丁晓雯,刘瑞民,沈珍瑶.基于水文水质资料的非点源输出系数模型参数确定方法及其应用[J].北京师范大学学报:自然科学版,2006,42(5):534-538.

[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.

[17] 张敏,刘庆生,刘高焕.浙江省安吉县西部小流域非点源污染估算[J].资源科学,2011,33(2):242-248.

[18] 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.

[19] 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.

[20] 俞跃,宋玉梅,唐文浩.模拟降雨条件下万泉河流域农田养分流失特征及面源污染源强研究[J].安徽农业科学,2010,38(17):9158-9160.

[21] 蒋金,安娜,张义,等.水文过程中降雨径流对非点源污染的影响[J].安徽农业科学,2012,40(6):3529-3531.

[22] 杜双.三峡库区湖北段农业非点源氮磷污染负荷研究[D].湖北 武汉:武汉理工大学,2011.

[23] 王明晓.三峡库区降雨侵蚀力研究[D].湖北 武汉:华中农业大学,2011.

[24] 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.

[25] 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.

[26] 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.

[27] 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.

[28] Ma Xiao, Li Ye, Zhang Meng, 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.

[29] 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.

[30] 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.

[31] 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.

[32] 吴一鸣,李伟,李若冰,等.浙江省安吉县西曹溪流域非点源污染负荷研究[J].农业环境科学学报,2012,31(10):1976-1985.