

河南省农业面源污染负荷估算及区划

彭舜磊¹, 李 鹏², 王梓臣¹, 耿庆玲¹

(1. 平顶山学院 化学与环境工程学院, 河南 平顶山 467000; 2. 平顶山学院 旅游与规划学院, 河南 平顶山 467000)

摘 要:研究河南省农业面源污染的来源及污染负荷,对河南省农业面源污染治理具有重要意义。采取输出系数模型法,估算了 2014 年河南省农业面源污染物总氮和总磷负荷量。结果表明:2014 年河南省农业面源污染物总氮负荷量是总磷负荷量的 6.7 倍,分别是 3.87×10^5 , 5.73×10^4 t/a。三种不同污染源类型总氮负荷贡献率的大小顺序为:耕地>畜禽养殖>农村生活;总磷负荷贡献率的大小顺序为:畜禽养殖>耕地>农村生活。河南省农业面源污染程度区划可分为 5 个区域:南阳市和驻马店市为重度污染区,周口市、商丘市和信阳市为较重度污染区,新乡市、安阳市、洛阳市、开封市、平顶山市、郑州市、许昌市为中度污染区,濮阳市、三门峡市、鹤壁市、焦作市、漯河市为较轻污染区,济源市为轻度污染区。研究表明,河南省农业面源污染主要来源于耕地、畜禽养殖和农村生活,面源污染在可区划为 5 个区,区划可为河南省面源污染的分区治理提供科学依据。

关键词:估算; 面源污染; 输出系数; 污染负荷; 河南省农业; 区划

中图分类号:X522

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0225-06

Calculations and Regionalization of Agricultural Non-point Source Pollution Load in He'nan Province

PENG Shunlei¹, LI Peng², WANG Zichen¹, GENG Qingling¹

(1. College of Chemical and Environmental Engineering, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000, China; 2. College of Tourism and Planning, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000, China)

Abstract: Study on the sources and loads of agriculture non-point pollution can play an important role in the agriculture non-point pollution control. Output coefficient model was used to estimate the agricultural non-point source pollutants total nitrogen and total phosphorus load in He'nan Province in 2014. The results show that: in 2014, loads of agricultural non-point source pollutants of total nitrogen and total phosphorus in He'nan were 3.87×10^5 t/a and 5.73×10^4 t/a, respectively. The contribution rates of different kinds of pollution of non-point source pollutants to total nitrogen decreased in the order: the cultivated land>livestock farming>rural living; the contribution rates to total phosphorus load decreased in the order: livestock and husbandry>the cultivated land>rural living. Agricultural non-point source pollution degree zones can be divided into five types, Nanyang and Zhumadian cities are the heavily polluted areas; Zhoukou, Shangqiu and Xinyang are the more severe pollution area; Xinxiang, Anyang, Luoyang, Kaifeng, Pingdingshan Zhengzhou, Xuchang are the moderate pollution area; Puyang, Sanmenxia, Hebei, Jiaozuo, Luohe are the lighter pollution areas; Jiyuan City is lightly polluted area. This study suggested that agriculture non-point pollution sourced from farmland, livestock and poultry farming, and rural living, and non-point pollution areas could be classified into five regions, which could provide the scientific basis for the agriculture non-point pollution control.

Keywords: estimation; non-point source pollution; output coefficient; pollution load; agriculture in He'nan Province; regionalization

根据第一次全国污染普查报告,我国农业污染源中的 COD_{Cr}、总氮和总磷排放量分别占总污染物排放

量的 43.71%, 57.19%, 67.27%, 是我国水环境污染物主要来源^[1]。目前农业面源污染是导致地表水富

营养化、地下水硝酸盐超标的主要原因,对区域水环境造成严重威胁^[2]。估算面源污染的方法很多,可总结为 4 类:断面实测总负荷减去点源负荷的方法、水文估算法、数学模型估算法和输出系数法^[3]。前两种方法由于流域汇流复杂,面源污染物与点源污染物难以区分,实际应用困难。很多学者基于当地流域面源污染物的迁移物理过程建立了不同的数学估算模型,对不同自然条件下的流域面源污染进行了估算^[4-7],但是由于受农业数据可获得性和水文资料缺失与否的直接影响,涉及参数过多,计算复杂,不适合大尺度区域面源污染估算。输出系数法巧妙避开了氮、磷元素迁移过程产生的复杂计算,直接建立土地利用状况与面源污染负荷的关系,利用容易获取的土地利用类型数据,就可以直接估算区域的污染物总负荷,计算简单且具有可靠性^[8]。Johnes 等学者 1996 年在输出系数模型中加入了牲畜、人口等因素,建立了更为完善的输出系数模型^[9]。Johnes 输出系数模型所需要的参数少且易获取,计算简单,精度较高,适合大尺度区域农业面源污染的估算,因此得到广泛应用^[10-14]。

在运用 Johnes 输出系数模型估算面源污染物负荷时,确定合理的输出系数是科学估算的关键。输出系数受多种因素影响,引起农业面源污染的因素一般归纳为 3 类:农业用地、畜禽养殖和农村生活污水及废弃物^[8]。面源污染的输出系数一般通过试验的方法确定^[11-14]。如果本地缺乏输出系数实测数据,农业用地的污染物输出系数通过文献调研,采用相似自然条件下临近几个区域输出系数实测值的平均值确定^[8,15-17],畜禽养殖和农村生活污水和废弃物输出系数分别采用环保部推荐的排泄系数和人口输出系数^[8,10,15-17]。

河南省是我国农业大省,农业面源污染形势十分严峻。然而,关于河南省的农业面源污染估算研究相对较少,河南省农业面源污染现状、空间格局以及污染来源如何? 这些问题鲜有文献报道。本文以河南省 18 个地市为核算单元,依据《2015 年河南统计年

鉴》中的 2014 年数据,分析河南省农业农村面源污染的分布特点及成因,并对农业面源污染进行科学区划,提出治理对策,旨在为美丽河南建设和新农村环境整治以及流域水污染治理提供科技支撑。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

河南省地理位置为东经 110°21′—116°39′,北纬 31°23′—36°22′,地处我国华中地区,土地总面积为 16.55 万 km²,辖 18 个地市。气候为典型的大陆性季风气候,年均降水量 800 mm 左右。横跨黄、淮、海、长江四大水系,1 500 多条河流横贯其中。北部、西部和南部主要为丘陵和山地,东部和中部为广袤的平原,是全国重要的粮食主产区^[18]。

1.2 农业面源污染输出系数模型

农业面源污染输出系数模型^[8]计算公式

$$T_j = \sum_{i=1}^m P_i \times A_i \tag{1}$$

式中: T_j 为污染物总负荷量[$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]; A_i 为污染物在该土地利用类型中的输出系数(kg/hm^2)或第 i 种畜禽每头排泄系数(kg/a)或人口每人输出系数(kg/a)等共 m 种; P_i 为研究区域中土地利用类型的面积(hm^2)或第 i 种牲畜数量(头)或人口数量(人)等共 m 种。

1.3 输出系数取值

农业土地类型、畜牧养殖以及农村生活是农业面源污染产生的因素^[8]。河南省是农业大省,农业用地以耕地为主^[19-21],因此,在农业土地利用类型中,我们仅考虑耕地面积。鉴于河南省没有输出系数的实测数据,农业用地的输出系数参考国内相似自然条件下其他区域的研究成果,并取其平均值^[8,14-16];畜禽养殖和农村生活部分的面源污染物输出系数分别采用国家环保总局推荐的排泄系数和人口输出系数^[22]。畜禽养殖业的总氮和总磷输出系数分别取为各自排泄系数的 10%^[8,22]。各输出系数取值见表 1。

表 1 农业用地、畜禽养殖和农村生活输出系数取值

污染物类别	耕地输出系数/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	农村生活输出系数/ [$\text{kg}/(\text{人} \cdot \text{a})$]	畜禽养殖输出系数			
			猪/ [$\text{kg}/(\text{头} \cdot \text{a})$]	牛/ [$\text{kg}/(\text{头} \cdot \text{a})$]	羊/ [$\text{kg}/(\text{只} \cdot \text{a})$]	家禽/ [$\text{kg}/(\text{只} \cdot \text{a})$]
TN	18.00	1.58	6.11	0.45	0.23	0.028
TP	2.50	0.16	1.01	0.17	0.045	0.012

1.4 数据来源

在估算和分析河南省农业面源污染负荷时需要用到的数据有河南省各地市耕地面积、农村人口数量以及牛、猪、羊和家禽数量,这些数据通过查阅《2015 年河南统计年鉴》获取^[23]。

1.5 面源污染区划方法

首先用 R 软件中的 scale 函数对各市农业面源污染的总氮和总磷污染负荷进行标准化,然后采用 K_{means} 均值聚类方法对河南省农业面源进行聚类,聚类最优簇数采用不同 K_{means} 均值聚类簇数个数的贡

簇率,以贡献率变化稳定时对应的簇数作为最优分类簇数,最优分类簇数作为区划的分区个数。用 R 软件做 K_{means} 均值聚类 and 最优簇数划分,用 ArcGIS 10.2 做河南省农业面源污染区划。

2 结果与分析

2.1 河南省各市农业面源污染特征

2.1.1 各地市总氮总磷负荷量 表 2 和表 3 是 2014 年河南省各市不同污染源类型产生的农业面源污染物总氮和总磷的负荷量。全省平均的总氮负荷量是总磷负荷量的 6.7 倍。空间分布上看,南阳、驻马店、周口、商丘和信阳的农业面源污染总氮和总磷负荷量都很高。这些地区耕地面积大,农业人口比较多,农业化程度相对较高。相比较之下,三门峡、鹤壁、济源三市的农业人口和农业用地总面积都比较少,因此农业面源污染总量比较低。河南省耕地、畜禽养殖业面源污染物总氮和总磷负荷的贡献率都较

高:耕地和畜禽养殖业总氮负荷量的贡献率分别为 47.79%和 28.69%,对总磷负荷的贡献率分别为 32.95%和 50.95%。其中南阳、驻马店、信阳、周口、商丘五市的农业面源污染总氮和总磷之和分别占全省总氮、总磷的 52.92%和 52.41%。

2.1.2 不同污染源类型对总氮总磷负荷量的贡献 由表 4 可知,耕地对总氮的输出贡献率接近半数,这三种污染源类型总氮负荷量贡献率的大小顺序为:耕地>畜禽养殖>农村生活。畜禽养殖业的总磷负荷贡献率明显大于耕地和农村生活的贡献率。三种污染源类型总磷负荷贡献率的大小顺序为:畜禽养殖>耕地>农村生活。说明目前河南省耕地和畜禽养殖对面源污染物分别对总氮和总磷的贡献最大。因此为了减少农业环境污染,科学施肥合理密植,发展循环农业,无害化处理畜禽粪便是非常重要的举措。除此之外,农村生活所占氮、磷总负荷比重也不小,农村地区污水和生活垃圾的处理也必须尽快采取相应的措施。

表 2 2014 年河南省农业面源污染物总氮负荷量 kg/a

各市	耕地	大牲畜	猪	羊	家禽	农村生活	合计	氮负荷贡献率/%
郑州市	7448353.9	1475491.7	905319.9	113499.0	882990.5	5337691.8	16163346.8	4.17
开封市	9747506.8	3926738.1	1516057.7	444007.2	1131569.1	4792422.5	21558301.4	5.57
洛阳市	8738782.0	3879642.3	865237.5	167544.7	701956.0	5175383.2	19528545.7	5.04
平顶山市	7761037.8	5068251.1	1510616.7	258204.7	957178.0	4982308.4	20537596.7	5.30
安阳市	10963738.5	2285897.6	928723.5	258853.0	1493296.7	5711034.1	21641543.4	5.59
鹤壁市	2436500.8	302542.8	415242.9	70020.3	1120161.1	1157601.8	5502069.7	1.42
新乡市	11005434.1	3034855.3	1343915.6	196971.3	1330296.1	5448102.4	22359574.8	5.77
焦作市	3945848.2	1188963.2	645975.0	94190.1	647169.1	2603007.7	9125153.3	2.36
濮阳市	5722218.2	1566365.7	639000.0	171215.7	1015845.3	3498522.7	12613167.6	3.26
许昌市	6844582.9	2325142.2	1163834.6	188147.8	740072.0	3702011.1	14963790.6	3.86
漯河市	3841282.9	748963.8	990968.4	48568.2	576429.3	2231501.9	8437714.5	2.18
三门峡市	3573324.0	1994676.7	341466.3	92352.4	251950.0	1762349.1	8016118.5	2.07
南阳市	24721309.8	9833605.1	2687763.6	704600.4	2128389.2	10995211.5	51070879.6	13.19
商丘市	17048421.3	5546291.4	1684890.9	714968.1	2081375.9	8415393.5	35491341.1	9.16
信阳市	20124206.4	3795984.1	1693463.0	239475.3	2511947.9	7057460.2	35422536.9	9.15
周口市	19019785.1	4767516.9	2600100.0	652358.7	2013037.8	9777088.5	38829887.0	10.03
驻马店市	21222635.1	9264849.6	3185312.4	501142.2	2048392.9	7921631.4	44143963.6	11.40
济源市	930664.9	198990.5	211324.5	9680.2	70846.8	498749.1	1920256.0	0.50
总计	185095632.7	61204768.1	23329212.5	4925799.3	21702903.7	91067470.9	387325787.2	100.00
贡献率/%	47.79	15.80	6.02	1.27	5.60	23.51	100.0	

2.2 各市农业面源污染总氮、总磷分布格局

将表 2,表 3 的数据导入 ArcGIS,根据河南省的行政区划,生成河南省各地市面源污染总氮、总磷分布格局(图 1 和图 2)。表 4 是 2014 年河南省各地市不同污

染源类型对总氮、总磷负荷量的贡献率。由图 1,2 可知,南阳、驻马店两市的总氮、总磷的负荷量最高,耕地和畜禽养殖对其总氮、总磷负荷贡献率很高,充分说明了两市耕地面积大,规模化的大型养殖是造成两市总氮、总

磷的负荷量高的主要原因(表 4)。周口、商丘、信阳三市总氮、总磷的负荷量也是比较高的,耕地对这三个地市的总氮、总磷负荷量贡献率最高。表 4 还表明,耕地依然是河南省各市农业面源污染的重要组成部分,同时畜

禽养殖对河南省农业面源污染造成十分显著的影响,尤其是在总磷的负荷量上,各市畜禽养殖的对总磷贡献率均超过了耕地。所以由大规模畜禽养殖业而产生环境污染必须要格外关注,并尽快采取措施。

表 3 2014 年河南省农业面源污染物总磷负荷量 kg/a

各市	耕地	大牲畜	猪	羊	家禽	农村生活	合计	磷负荷贡献率/%
郑州市	759584.6	243902.9	342009.7	22206.3	378424.5	540525.8	2286653.8	3.99
开封市	994052.7	649100.7	572732.9	86871.0	484958.2	485308.6	3273024.1	5.71
洛阳市	891182.7	641315.7	326867.5	32780.5	300838.3	524089.4	2717074.1	4.74
平顶山市	791472.2	837796	570677.4	50518.3	410219.1	504537.6	3165220.6	5.52
安阳市	1118084.2	377865.2	350851.1	50645.2	639984.3	578332.6	3115762.6	5.44
鹤壁市	248474.8	50011.2	156869.5	13699.6	480069.1	117225.5	1066349.7	1.86
新乡市	1122336.3	501670	507701.4	38537.9	570126.9	551706.6	3292079.1	5.75
焦作市	402398.4	196538.9	244035.0	18428.5	277358.2	263595.7	1402354.7	2.45
濮阳市	583552.9	258924.6	241400.0	33498.7	435362.3	354280.8	1907019.3	3.33
许昌市	698011.9	384352.5	439670.8	36811.5	317173.7	374887.2	2250907.6	3.93
漯河市	391734.8	123805.8	374365.8	9502.5	247041.1	225974.9	1372424.9	2.40
三门峡市	364408.3	329725.6	128998.4	18068.9	107978.6	178465.7	1127645.5	1.97
南阳市	2521084.1	1625522.3	1015377.4	137856.6	912166.8	1113439.1	7325446.3	12.79
商丘市	1738601.4	916817.4	636514.3	139885.1	892018.2	852191.7	5176028.1	9.03
信阳市	2052270.6	627486.7	639752.7	46853.9	1076549.1	714679.5	5157592.5	9.00
周口市	1939641.5	788083.8	982260.0	127635.4	862730.5	990084.9	5690436.1	9.93
驻马店市	2164288.5	1531505.4	1203340.2	98049.6	877882.7	802190.5	6677256.9	11.65
济源市	94909.4	32893.7	79833.7	1894.0	30362.9	50506.2	290399.9	0.51
总计	18876089.3	10117318.4	8813257.8	963743.5	9301244.5	9222022.4	57293675.8	100.00
磷负荷贡献率/%	32.95	17.66	15.38	1.68	16.23	16.10	100.0	

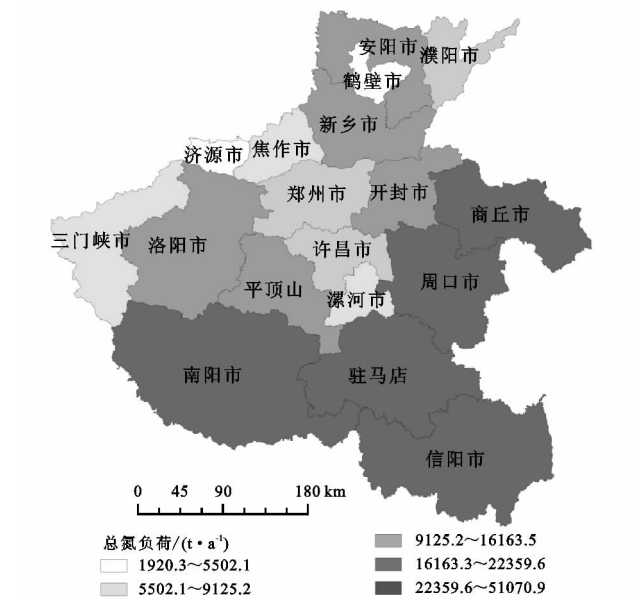


图 1 2014 年河南省各市农业面源总氮负荷量空间分布

2.3 河南省农业面源污染区划

最优分类聚类簇数分析结果表明,河南省农业面源污染聚类,分为 5 类,解释率达到 97%,当分类簇数大于 5 时,解释率的变化趋势趋于平稳,因此河南省面源污染可以区划为 5 种类型(图 3)。南阳市和

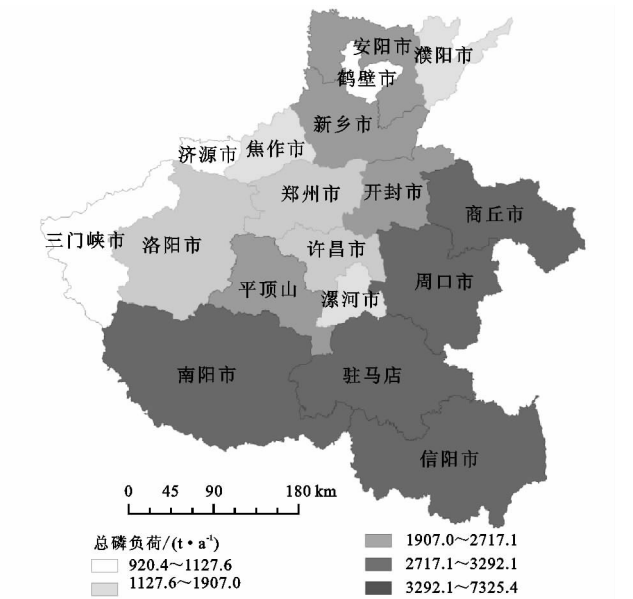


图 2 2014 年河南省各市农业面源总磷负荷量空间分布

驻马店市为重度污染区,周口市、商丘市和信阳市为较重度污染区,新乡市、安阳市、洛阳市、开封市、平顶山市、许昌市、郑州市为中度污染区,三门峡市、鹤壁市、焦作市、漯河市、濮阳市为较轻污染区,济源市为轻度污染区(图 4)。

表 4 2014 年河南省各地市不同面源污染类型对总氮、总磷的贡献率

各市	总氮			各市	总磷		
	耕地	畜禽养殖	农村生活		耕地	畜禽养殖	农村生活
郑州市	46.08	20.89	33.03	郑州市	33.22	43.14	23.64
开封市	45.24	32.56	22.20	开封市	30.37	54.80	14.83
洛阳市	44.75	28.74	26.51	洛阳市	32.80	47.91	19.29
平顶山市	37.75	37.95	24.30	平顶山市	25.01	59.05	15.94
安阳市	50.65	22.96	26.39	安阳市	35.88	45.55	18.57
鹤壁市	44.28	34.68	21.04	鹤壁市	23.30	65.71	10.99
新乡市	49.22	26.41	24.37	新乡市	34.09	49.15	16.76
焦作市	43.24	28.23	28.53	焦作市	28.69	52.51	18.80
濮阳市	45.37	26.90	27.73	濮阳市	30.60	50.82	18.58
许昌市	45.74	29.52	24.74	许昌市	31.01	52.34	16.65
漯河市	45.53	28.03	26.44	漯河市	28.54	54.99	16.47
三门峡市	44.58	33.44	21.98	三门峡市	32.32	51.86	15.82
南阳市	48.41	30.06	21.53	南阳市	34.42	50.38	15.20
商丘市	48.04	28.25	23.71	商丘市	33.59	49.95	16.46
信阳市	56.81	23.26	19.93	信阳市	39.79	46.35	13.86
周口市	48.98	25.84	25.18	周口市	34.09	48.51	17.40
驻马店市	48.08	33.98	17.94	驻马店市	32.41	55.57	12.02
济源市	48.47	25.56	25.97	济源市	32.68	49.93	17.39

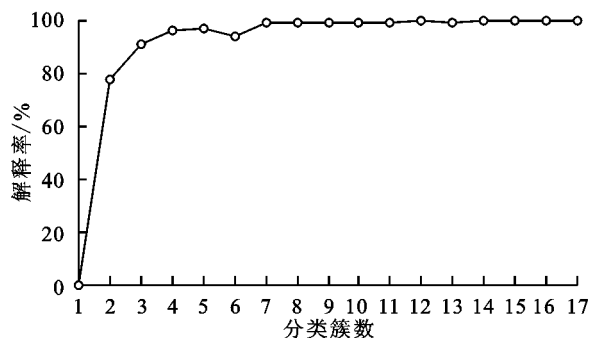


图 3 聚类簇数分析图

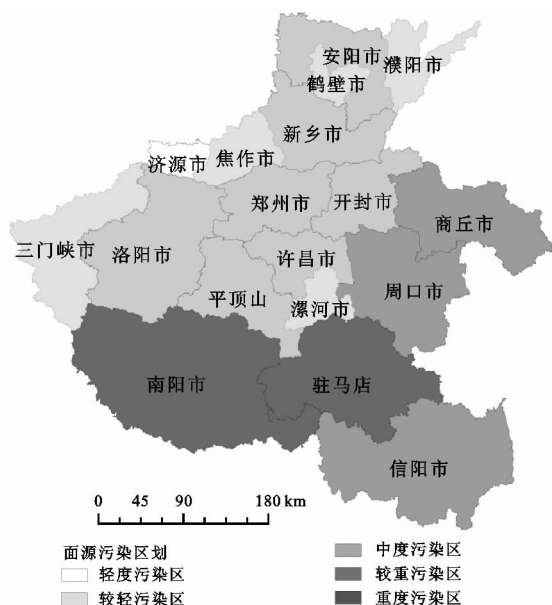


图 4 2014 年河南省农业面源污染区划

3 结论与讨论

本文使用输出系数模型法,估算了河南省 2014 年农业面源污染物总氮和总磷负荷量。2014 年河南省农业面源污染物总氮和总磷负荷量分别是 3.87×10^5 和 5.73×10^4 t/a。各地市的农业面源污染物总氮和总磷负荷量差异较大,南阳、驻马店、信阳、周口、商丘五市的总氮和总磷负荷量较大,农业面源污染总氮和总磷之和占全省总氮、总磷的 52.92% 和 52.41%。

最优分类聚类簇数分析结果表明,河南省农业面源污染可以区划为 5 种类型:南阳市和驻马店市为重度污染区,周口市、商丘市和信阳市为较重污染区,新乡市、安阳市、洛阳市、开封市、平顶山市、许昌市、郑州市为中度污染区,三门峡市、鹤壁市、焦作市、漯河市、濮阳市为较轻污染区,济源市为轻度污染区。

耕地依然是河南省各市农业面源污染来源的重要组成部分,同时畜禽养殖对河南省农业面源污染造成十分显著的影响,尤其是在总磷的负荷量上,各市畜禽养殖的对总磷贡献率均超过了耕地。因此为了减少农业面源污染,科学施肥、发展循环农业和无害化处理畜禽粪便是关键举措^[24-25]。此外,农村地区污水和生活垃圾的处理也必须尽快实施。

参考文献:

- [1] 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/

- OL]. (2010-02-06) [2013-11-29]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/qtjgb/qgqtjgb/201002/t20100211_30641.html.
- [2] 鲍全盛,王华东. 我国水环境非点源污染研究与展望[J]. 地理科学, 1996, 16(1): 66-71.
- [3] 李惠,苏保林. 平原河网地区农业非点源污染负荷估算方法综述[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2009, 45(5/6): 662-666.
- [4] Young R A, Onstad C A, Bosch D D, et al. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watershed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1989, 44(2): 168-173.
- [5] Chung S W, Gassman P W, Kramer L A, et al. Validation of EPIC for two watersheds in southwest Iowa[J]. Journal of Environmental Quality, 1999, 28(3): 971-979.
- [6] Baginska B, Milne-Home W, Cornish P S. Modeling nutrient transport in Currency Creek, NSW with AnnAGNPS and PEST[J]. Environmental Modelling and Software, 2003, 18(8/9): 801-808.
- [7] 陈欣,郭新波. 采用 AGNPS 模型预测小流域磷素流失的分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(5): 44-47.
- [8] 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.
- [9] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modeling approach[J]. Journal of Hydrology, 1996, 183(3/4): 323-349.
- [10] 李娜,韩维峥,沈梦楠,等. 基于输出系数模型的水库汇水区农业面源污染负荷估算[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 224-230.
- [11] 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(1/2): 75-90.
- [12] 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 Environment Management, 2005, 74(4): 305-316.
- [13] Rast W, Lee G F. Nutrient Loading Estimates for Lakes[J]. Journal of Environmental Engineering, 1983, 109(2): 502-517.
- [14] 杜娟,李怀恩,李家科. 基于实测资料的输出系数分析与陕西洋河流域非点源负荷来源探讨[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(4): 827-837.
- [15] 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, 2015, 37(3): 1-9.
- [16] 鲍全盛,王华东. 我国水环境非点源污染研究与展望[J]. 地理科学, 1996, 16(1): 66-71.
- [17] 王全金,徐刘凯,向速林,等. 应用输出系数模型估算赣江下游非点源污染负荷[J]. 人民长江, 2011, 42(23): 31-33.
- [18] 李永文,马建华,王国清. 河南地理[M]. 河南开封: 河南大学出版社, 1999.
- [19] 张桂宾,王安周,耿秀丽. 河南省耕地变化及其人文驱动力研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 65-68.
- [20] 张本昀,申怀飞,郑敬刚,等. 河南省土地利用景观格局分析[J]. 资源科学, 2009, 31(2): 317-323.
- [21] 李谢辉,王磊. 河南省土地利用/覆盖景观格局变化分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 83-89.
- [22] 沈珍瑶,刘瑞民,叶闽,等. 长江上游非点源污染特征及其变化规律[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [23] 河南省统计局. 河南统计年鉴 2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [24] 吴毛琴,钟崇林. 农村环境污染问题的原因及对策[J]. 决策探索, 2007(8): 98-99.
- [25] 沈连峰,梁华新,赵秋义,等. 河南省淮河流域农业非点源污染现状及其控制措施[J]. 河南科学, 2007, 25(6): 1055-1058.

(上接第 224 页)

- [30] Lü Y N, Wang C Y, Wang F Y, et al. Effects of nitrogen addition on litter decomposition, soil microbial biomass, and enzyme activities between leguminous and non-leguminous forests[J]. Ecological Research, 2013, 28(5): 793-800.
- [31] Aponte C, García L, Marañón T. Tree Species Effect on Litter Decomposition and Nutrient Release in Mediterranean Oak Forests Changes Over Time[J]. Ecosystems, 2012, 15(7): 1204-1218.
- [32] Taylar B R, Parkinson O M, Parsons W F J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: A microcosm test[J]. Ecology, 1989, 70(1): 97-104.
- [33] 杨涛. 樟子松林下土壤养分、微生物及酶活性的研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 253-257.
- [34] 朱丽,郭继勋,鲁萍,等. 松嫩羊草草甸碱茅群落土壤酶活性比较研究[J]. 草业学报, 2002, 11(4): 28-34.
- [35] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.