

付 强, 吴根义, 潘 鹏, 等. 2000—2014 年河南畜养产污核算及规律分析[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1323–1329.

FU Qiang, WU Gen-yi, PAN Peng, et al. Analysis of livestock and poultry waste generation from 2000—2014 in Henan[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7): 1323–1329.

2000—2014 年河南畜养产污核算及规律分析

付 强^{1,2}, 吴根义^{3*}, 潘 鹏^{2,4}, 王万同¹

(1.河南师范大学旅游学院, 河南 新乡 453007; 2.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3.湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; 4.环保部环境工程评估中心, 北京 100012)

摘 要:为研究省域畜养产污规律,在构建畜养产污核算、农田消纳、承载负荷模型的基础上,以河南省为例分析了河南省主要畜种的产污量和单位面积的 N、P 消纳量及承载负荷。结果表明,河南省 2014 年畜养产污粪便、尿液、COD、TN、TP、Cu、Zn 分别为 6 307.53 万、6 165.88 万、1 315.67 万、80.67 万、12.60 万、0.16 万、0.48 万 t;2000—2014 年河南省畜养产污存在着阶段性规律,TN 与 TP 的增长相对较快,但目前已趋于稳定;2014 年河南省单位面积农田 N、P 的承载负荷分别为 0.33 和 0.25,引导三分之一的作物种植面积用于畜养产污的还田利用就能够满足当前河南省畜养产污的消纳需求。研究方法对接污染源普查核算工作,综合考虑各畜种的养殖周期、养殖阶段和在省域的结构变化,能够探索出不同畜养污染物在研究期内的变化差异性。

关键词:畜养产污;农田消纳;承载负荷;河南

中图分类号:X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2017)07-1323-07 **doi:**10.11654/jaes.2017-0646

Analysis of livestock and poultry waste generation from 2000—2014 in Henan

FU Qiang^{1,2}, WU Gen-yi^{3*}, PAN Peng^{2,4}, WANG Wan-tong¹

(1.College of Tourism, Henan Normal University, Xinxian 453007,China; 2.Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3.College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 4. Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China)

Abstract: This paper focused on the analysis of livestock and poultry waste generation (LPWG) in Henan Province. Using previously established estimation models, this paper analysed the amount of waste, the rate of their application to land, and the loading capacity of cropland in order to study the characteristics of provincial animal waste generation. Based on the farming data from Henan Statistical Yearbook, Henan Survey Yearbook, and Henan Rural Statistical Yearbook, the amount of manure, urine, total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), chemical oxygen demand (COD), Cu, and Zn from LPWG was calculated. In addition, the application rate and loading capacity of nitrogen and phosphorus per unit field area were calculated. The results shew that the characteristics of the amount of LPWG in Henan Province varied their own laws in different stages during 2000—2014. This paper divided this period into two stages: stage I (2000—2005) and stage II (2006—2014), consistent with the studies of Fu Qiang (2012) and Yang Fei (2013) on national scales. Total nitrogen and total phosphorus increased relatively quickly as compared to the other pollutants, and they increased steadily in stage II. The level of TP, TN, and Zn increased faster than that of the other pollutants throughout the period, and Cu increased faster than the other pollutants in stage II. In 2000—2014, the level of TN, TP, Cu, and Zn increased by approximately 60%, and the loading capacity of manure, urine, COD, TN, and

收稿日期:2017-05-04

作者简介:付 强(1980—),男,河南新乡人,副教授,主要从事空间统计方法的领域应用研究(农业面源、社会经济空间分析)。E-mail:fuq@lreis.ac.cn

* 通信作者:吴根义 E-mail:wugenyi99@163.com

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(41501435);河南师范大学基金项目(qd14215,qd15148)

Project supported: The Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China(41501435); The Henan Normal University Foundation (qd14215, qd15148)

TP increased by approximately 40%. Meanwhile, the average annual growth of TN and TP was approximately 4% and 3%, respectively. These results suggested that several considerations can facilitate the formulation of reasonable and sustainable strategies of Henan Province. Firstly, the stage of fast increment(stage I) of LPWG in Henan Province was over, and the current stage of increment(stage II), which was relatively stable, would continue for a long time. The formulation of regulations and governance policies should adapt to the current stage and last for a long time. Secondly, the animal waste management in Henan Province should focus on TN, TP, Cu, and Zn, because these pollutants increased at a higher rate. Thirdly, the loading capacity of nitrogen and phosphorus per unit field area was no more than 0.33 and 0.25, respectively from 2000—2014. Accordingly, only one-third of the cropland is needed to meet the disposal of animal wastes from live-stock and poultry farming in Henan Province.

Keywords: livestock and poultry waste generation; amount applied per unit field area; loading capacity; Henan Province

随着中国经济的高速增长,国民经济各行业都得到了快速发展,但随之而来的环境问题也日益凸显。根据我国环保部2017年发布的《2016中国环境状况公报》,中国地表水和地下水水质较差的监测断面(监测井)分别占32.3%和60.1%,中国的水环境污染形势非常严峻。水环境污染根据污染源发生类型分为点源污染和非点源污染^[1]。随着工业源等点源污染控制技术的发展和点源污染得到有效控制,非点源污染成为全球范围的突出问题^[2],且造成水源地污染的主要是农业非点源污染^[3]。2010年全国第一次污染源普查公报显示,农业非点源污染是中国地表水污染的主要来源,而畜禽养殖污染的COD、TN和TP分别占农业污染源的96%、38%和56%^[4]。如何在特定生态、社会、经济环境下发展畜牧业,同时保证区域可持续发展,成为目前急需解决的重要问题^[5]。

近年来国内学者从粪便污染、耕地氮磷负荷、畜禽污染的时空特征等角度研究中国的畜禽养殖污染,研究结果表明:畜禽粪便氮磷污染风险较高的地区主要分布于中国的东部地区^[6],如果不进行政策干预,全国畜禽粪便总污染量将大幅增至2020年的2.98亿t^[7];从畜禽污染发展上看,我国畜禽养殖造成的污染较严峻,污染程度与人均GDP之间存在倒“U”型曲线关系,且已跨过曲线拐点^[8];中国农田消纳畜禽粪便的潜力较大,通过畜禽粪便还田利用能够有效解决粪便污染问题^[9]。在相关学者的省域畜禽养殖污染研究中,全国畜禽粪便TN、TP产生量分别是380.56万t和63.89万t,按畜种生猪占41.2%和34.8%,按省域河南居全国第二(分别占13.7%和13.3%)^[9-10]。

河南省是农业大省,全省粮食产量约占全国的十分之一,畜产品产量近几年则一直位居首位^[11]。畜牧业在河南农村经济和农民收入中占有重要地位,河南省已经形成以黄河滩区为主的黄河滩区绿色奶业示范带,以商丘、周口、南阳、驻马店、平顶山为主的中原

肉牛、肉羊产业带,以许昌、漯河、驻马店等为主的京广铁路沿线生猪产业带,以新乡、安阳、鹤壁为主的豫北蛋肉鸡产业带^[12]。与此同时,畜牧业废弃物污染已成为环境污染的重要来源,部分地市畜牧污染已超过农田的消纳和承受能力^[13]。河南省生猪基本采用干清粪,堆积发酵后施肥;肉鸡多数为地面平养,有垫料,一次清出堆积发酵施肥;蛋鸡为笼养,干清粪;肉牛、奶牛多为散栏式饲养,干清粪,晾晒后用于双孢菇种植等^[12]。如何科学估算畜牧污染物产生量、制定引导其资源化利用的管理和治理政策已成为河南亟待解决的问题。

然而,对接污染源普查畜种和普查污染物的畜禽养殖业污染物产生量(简称畜牧产污,下文提到的畜牧均包含畜和禽)核算研究不多,多数文献针对特定畜种^[14]、单污染物或较少污染物指标^[15]进行排污分析,河南省畜牧产污研究更鲜有研究^[16]。农田消纳与承载负荷的研究文献主要结合具体研究区域实际^[10],寻求潜在的规律性问题,而目前针对河南省域的畜牧产污农田消纳和承载负荷问题也鲜有研究。鉴于此,本研究借助环保部《畜禽养殖业源产排污系数手册》的分畜种产污系数,从畜牧产污角度分析河南近年来的畜牧产污粪便、尿液、COD、TN、TP、Cu、Zn等污染物的规律,及河南省畜牧氮磷的农田消纳与承载负荷,旨在探索一种对接污染源普查工作的省域畜牧产污分析方法,同时为河南省畜牧产污管理政策的制定提供依据。

1 数据来源与核算方法

1.1 数据来源

本研究畜禽养殖产污的核算品种选取猪(生猪、能繁母猪)、牛(肉牛、奶牛)、鸡(肉鸡、蛋鸡),养殖量基础数据来源于2001—2015年河南统计年鉴、调查年鉴、河南农村统计年鉴等,其中生猪、肉牛、肉鸡为

出栏量,能繁母猪、奶牛、蛋鸡为存栏量。在进行畜禽粪便的农田消纳量和农田承载负荷核算时,耕地面积应反映当年的种植情况,因此选用河南统计年鉴的农作物总播种面积指标。

1.2 畜养产污核算方法

畜禽养殖产污核算以第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册的日产污系数为核算基数,核算粪便、尿液、TP、TN、COD、Cu、Zn 等污染物的产生量,核算模型为:

$$P_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m L_i \cdot \theta_{ijk} \cdot T_{ij} \quad (1)$$

式中: P_k 为污染物产生量; L_i 为第*i*种畜禽养殖量; θ_{ijk} 为第*i*种畜禽第*j*养殖期第*k*种污染物的日产污系数; T_{ij} 为第*i*种畜禽第*j*饲养周期。

饲养周期核算:生猪保育期 70 d、生猪育肥期 95 d、母猪 365 d、奶牛育成期 1.5 a、奶牛产奶期 4.5 a、肉牛养殖期 1 a、蛋鸡育雏育成期 140 d、蛋鸡产蛋期 1 a、肉鸡养殖期 55 d。在畜禽养殖产污污染物核算过程中,将畜禽养殖周期按照统计年鉴数据统计周期(1 a)内的养殖天数进行折算。

1.3 畜养产污农田消纳及承载负荷分析方法

借鉴杨世琦等^[10]的相关研究,引入畜禽粪便的农田消纳量(一定区域农田单位面积分摊的畜禽粪便产生数量或氮、磷产生数量)和农田畜禽粪便承载负荷(一定区域的畜禽粪便的农田容纳量与畜禽粪便安全消纳容量的比值),分析河南畜养产污粪便的农田消纳及承载负荷,相关计算模型如下:

$$GAPF = \sum_{i=1}^n \frac{M}{S} \quad (2)$$

式中: $GAPF$ 为农田消纳量; M 为畜禽粪便量或氮磷产生量; S 为耕地面积或播种面积。本研究选取河南省作物总播种面积。

$$MCL = \frac{GAPF}{SC} \quad (3)$$

式中: MCL 为承载负荷; SC 为畜禽粪便安全消纳容量。当 MCL 取值为 0、1 和大于 1 分别代表零负荷、满负荷和超负荷。 SC 取值标准参考欧盟标准,氮 $170 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,磷 $35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[17]。

2 结果与分析

2.1 畜养产污量核算结果分析

根据 2000—2014 年河南省畜禽养殖产污核算结果(表 1),河南省畜禽养殖污染物产生总量逐年增加,2000 年为最低值,2014 年为最高值,中间略有波动。为横向对比,本研究借助 Z 标准化方法消除量纲影响,将畜养产污核算值转换成均值为 0,方差为 1 的数列,转换后的时间序列数据如图 1。通过 2000—2014 年河南省畜养产污 Z 标准化结果,整个时间段内河南畜禽养殖产污总量呈增加趋势,但明显以 2006 年为界分成两个阶段,即阶段 I (2000—2005) 和阶段 II (2006—2014),与杨飞^[18]、付强^[19]等对全国畜养规律的研究一致。

2006 年之前的畜牧业全面发展阶段(1996—2006 年),畜牧业发展成为中国农业发展的重点,畜

表 1 2000—2014 年河南畜养产污量核算(万 t)

Table 1 LPWG in Henan during 2000—2014

年份	粪便	尿液	COD	TN	TP	Cu	Zn
2000	4 565.11	4 427.25	915.37	50.77	7.93	0.10	0.30
2001	4 967.69	4 822.78	997.87	55.41	8.69	0.11	0.33
2002	5 178.73	5 027.12	1 041.88	58.22	9.10	0.12	0.34
2003	5 405.21	5 275.25	1 091.79	61.84	9.64	0.13	0.37
2004	5 697.87	5 593.78	1 155.16	66.07	10.32	0.13	0.39
2005	6 046.98	5 967.17	1 231.86	71.31	11.16	0.14	0.43
2006	5 151.72	5 019.60	1 055.15	62.57	9.61	0.13	0.37
2007	5 295.63	4 983.92	1 079.07	62.10	9.79	0.12	0.37
2008	5 545.25	5 285.08	1 135.30	66.33	10.46	0.13	0.39
2009	5 835.85	5 533.00	1 199.21	70.59	11.13	0.14	0.42
2010	6 090.73	5 743.14	1 256.35	74.47	11.74	0.14	0.44
2011	6 055.81	5 720.77	1 250.70	74.34	11.73	0.14	0.44
2012	6 149.55	5 870.15	1 276.58	77.07	12.11	0.15	0.46
2013	6 212.70	5 998.77	1 293.44	78.84	12.35	0.15	0.47
2014	6 307.53	6 165.88	1 315.67	80.67	12.60	0.16	0.48

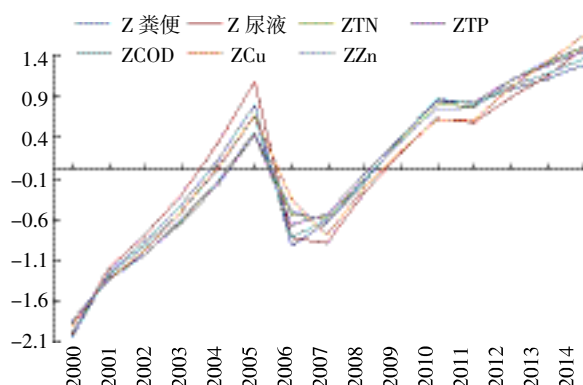


图1 2000—2014年河南畜养产污量Z标准化

Figure 1 Z-Score of LPWG in Henan during 2000—2014

牧业养殖方式向规模化、专业化和集约化转变,依靠科技加快畜牧业结构优化和产业化经营步伐^[18],期间中国规模化畜禽养殖处于慢速增长阶段^[19]。畜牧业现代化发展阶段(2007年一至今),畜牧业的综合生产能力和整体科技水平得到显著增强和提高,畜牧业向技术集约型、资源高效利用型、环境友好型转变,畜产品有效供给和质量安全得到保障,畜牧业发展的生态环境得到有效管理控制,总体上向现代畜牧业生产体系发展^[18],期间中国规模化畜禽养殖处于快速增长阶段^[19]。

粪便产生量,在阶段Ⅰ,从4 565.11万t增加到6 046.98万t,增加约32.5%,年均增加6.5%。在阶段Ⅱ,从5 151.72万t增加到6 307.53万t,增加约22.4%,年均增加2.8%。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养粪便产生量增加约38.2%,年均增加约2.7%。

尿液产生量(表1),在阶段Ⅰ,从4 427.25万t增加到5 967.17万t,增加约34.8%,年均增加7%。在阶段Ⅱ,从5 019.60万t增加到6 165.88万t,增加约22.8%,年均增加2.9%。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养产污尿液产生量增加约39.3%,年均增加约2.8%。

COD产生量,在阶段Ⅰ,从915.37万t增加到1 231.86万t,增加约34.6%,年均增加6.9%。在阶段Ⅱ,从1 055.15万t增加到1 315.67万t,增加约24.7%,年均增加3.1%。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养产污COD产生量增加约43.7%,年均增加约3.1%。

总氮(TN)产生量,在阶段Ⅰ,从50.77万t增加

到71.31万t,增加约40.5%,年均增加8.1%。在阶段Ⅱ,从62.57万t增加到80.67万t,增加约28.9%,年均增加3.6%。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养产污TN产生量增加约58.9%,年均增加约4.2%。

总磷(TP)产生量,在阶段Ⅰ,从7.93万t增加到11.16万t,增加约40.7%,年均增加8.1%。在阶段Ⅱ,从9.61万t增加到12.60万t,增加约31.2%,年均增加3.9%。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养产污TP产生量增加约58.8%,年均增加约4.2%。

Cu产生量,在阶段Ⅰ,从0.10万t增加到0.14万t,增加约40.8%,年均增加8.2%。在阶段Ⅱ,从0.13万t增加到0.16万t,增加约25.4%,年均增加3.2%。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养产污Cu产生量增加约56.3%,年均增加约4.0%。

Zn产生量,在阶段Ⅰ,从0.30万t增加到0.43万t,增加约41.7%,年均增加8.3%。在阶段Ⅱ,从0.37万t增加到0.48万t,增加约29.0%,年均增加3.6%。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养产污Zn产生量增加约60.5%,年均增加约4.3%。

2.2 河南畜养产污农田消纳及承载负荷核算结果分析

2000年以来河南畜养产污粪便的农田消纳及承载负荷核算结果如表2。

在阶段Ⅰ,河南省畜养产污TN的农田消纳值从2000年的38.65 kg·hm⁻²提升到2005年的51.22 kg·hm⁻²,增加约32.5%,年均增加约6.5%。相应的,其承载负荷从0.23提高到0.30。在阶段Ⅱ,河南省畜养产污TN的农田消纳值从2006年的44.71 kg·hm⁻²提升到2014年的56.11 kg·hm⁻²,增加约25.5%,年均增加约3.2%。相应的,其承载负荷从0.26提高到0.33。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养产污TN的农田消纳增加约45.2%,年均增加约3.2%,其承载负荷从0.23提高到0.33。

在阶段Ⅱ,河南省畜养产污TP的农田消纳值从2000年的6.04 kg·hm⁻²提升到2005年的8.02 kg·hm⁻²,增加约32.7%,年均增加约6.5%。相应的,其承载负荷从0.17提高到0.23。在阶段Ⅱ,河南省畜养产污TP的农田消纳值从2006年的6.86 kg·hm⁻²提升到2014年的8.76 kg·hm⁻²,增加约27.7%,年均增加约3.5%。相应的,其承载负荷从0.20提高到0.25。从2000—2014年整个时间段看,河南省畜养产污TP的农田消纳增加约45.1%,年均增加约3.2%,其承载负荷从0.17提高到0.25。

表2 2000—2014年河南畜养粪便的农田消纳及承载负荷
Table 2 GAPF and MCL of LPWG in Henan during 2000—2014

年份	$\frac{\text{TN}}{\text{GAPF/MCL}}$ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$		$\frac{\text{TP}}{\text{GAPF/MCL}}$ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	
2000	38.65	0.23	6.04	0.17
2001	42.21	0.25	6.62	0.19
2002	43.58	0.26	6.81	0.19
2003	45.19	0.27	7.05	0.20
2004	47.92	0.28	7.48	0.21
2005	51.22	0.30	8.02	0.23
2006	44.71	0.26	6.86	0.20
2007	44.08	0.26	6.95	0.20
2008	46.89	0.28	7.40	0.21
2009	49.78	0.29	7.85	0.22
2010	52.26	0.31	8.24	0.24
2011	52.14	0.31	8.22	0.23
2012	54.04	0.32	8.49	0.24
2013	55.04	0.32	8.62	0.25
2014	56.11	0.33	8.76	0.25

3 增长规律及对策分析

根据河南省畜养产污、农田消纳及承载负荷的计算结果,将阶段Ⅰ、阶段Ⅱ及全阶段各污染物增长率整理如图2,有如下规律:

第一,各污染物及TN、TP农田消纳在阶段Ⅰ的增长率普遍高于各自在阶段Ⅱ的增长率,这种情况在年均增长率上更加显著(阶段Ⅰ年均7%左右,阶段Ⅱ年均3%左右)。阶段Ⅰ处于中国畜牧业全面发展阶段,规模化畜禽养殖慢速增长,在注重规模增长的同时忽视了专业化和污染物的处理,导致该阶段畜养产污的增长率偏高。阶段Ⅱ处于中国畜牧业现代化发展阶段,科技因素的引入带来了规模化、专业化的成熟发展,该阶段畜养产污得到一定治理,增长率较阶段Ⅰ有所下降。

第二,TN、TP、Cu、Zn在阶段Ⅰ和整个时段的增长率高于其他污染物,阶段ⅡTN、TP与Zn的增长率高于其他污染物。

第三,在整个时段,TN、TP、Cu、Zn增长在60%左右,粪便、尿液、COD、TN与TP的农田消纳增长40%左右。TN、TP年均增长约4%,其余年均增长约3%。

方法层面,本研究在进行污染物产生量核算时采用的核算系数,区分了不同畜种的养殖周期、每个畜种养殖过程的不同阶段,加上不同畜种在研究时段内的结构化变动,各个污染物按照系数单独核算,是一

个综合的矩阵核算方法。规律二和规律三的不同污染物变化的差异性体现了这种综合计算的优势。

针对以上规律,在制定河南省域畜养产污应对策略时,可做以下考虑:

第一,河南省畜养产污阶段性明显,高增长的阶段Ⅰ已经过去,目前处于相对稳定增长的阶段Ⅱ,且持续时间较长。管理、治理政策的制定也应适应其当前阶段增长规律,持续一定时期。

第二,在治理畜养污染物时,有的放矢,主要瞄准增长率较高的TN、TP、Cu、Zn,重点是TN与TP的处理。氮磷是作物生长所需的重要养分,经过堆肥处理的畜禽粪便是高效的天然有机肥料。根据袁彩凤等^[12]的研究,2007年河南省粪便综合利用率为82%,堆沤还田利用占48%,双孢菇种植利用占25%,沼气化利用占9%。在现有畜禽粪便消纳方式的基础上,引导果园、菜地施用畜禽粪便有机肥,引导生态农场优先施用,形成大田为主、设施农业和生态农场为辅,其他方式补充的农田消纳模式。

第三,养殖量与作物种植的农田面积均有不同程度的变化,作物种植面积的增加能够在一定程度上缓

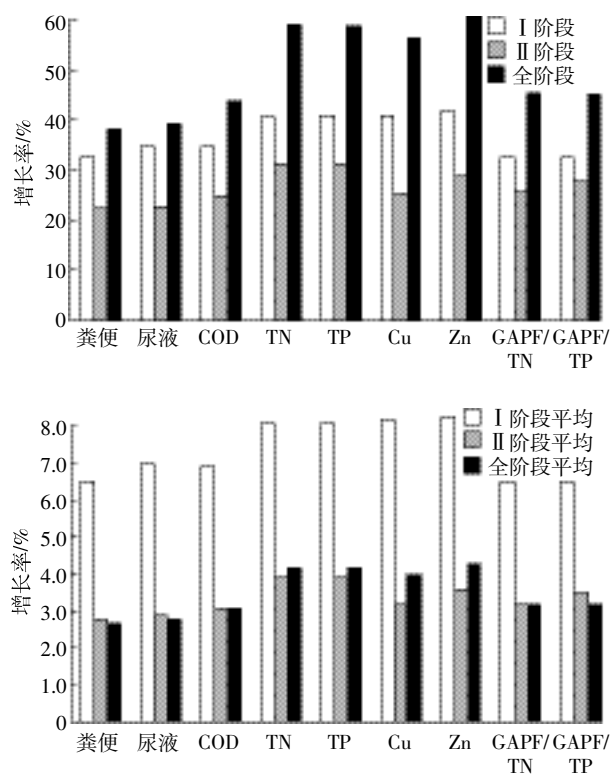


图2 2000—2014年河南省畜养产污增长特征

Figure 2 Growth characteristics of LPWG in Henan during 2000—2014

解 TN、TP 的排放。当 MCL 取值为 1 时为满负荷,而按照目前的状况,河南省畜养粪便 TN 的最大 MCL 值为 0.33,TP 的最大 MCL 值为 0.25。因此,只要河南省三分之一的作物种植面积用于畜养产污 TN 的消纳,四分之一的农田面积用于 TP 的消纳就足够了。总体上,引导三分之一的作物种植面积用于畜养产污的农田消纳可满足畜养产污资源利用需要。

需要说明的是,本研究是根据核算结果的理论化解释,未考虑到畜禽粪便清扫、堆积过程中的氮损失率,若考虑相关学者研究中给出的清扫和堆积中的氮损失率^[20],河南省畜养产污的氮消纳会进一步降低。

4 结论

经过河南省畜养产污核算、农田消纳及承载负荷计算、增长规律和对策分析等的研究,本研究探索了对接污染源普查畜种和污染物的省域畜养产污核算方法,以河南省为例的省域畜养产污研究也得到了一些可供相关研究人员和管理人员参考的研究结论,总结如下:

第一,本研究中的省域畜养产污核算方法,基于第一次全国污染源普查畜禽养殖业源的产排污系数,以不同畜种、不同养殖周期的天数为基准核算产污量,核算结果的基本规律与相关学者前期研究一致,能够为省域畜养产污尤其是河南省畜养产污规律的相关研究提供借鉴。

第二,河南省畜养产污核算结果表明,2000—2014 年河南省畜养产污存在阶段性特点。2006 年之前的阶段 I,各污染物的增长率普遍较快;2006 年之后的阶段 II,各污染物的增长率相对较慢。

第三,本研究核算方法综合了各畜种养殖周期、养殖阶段和在研究时段内的结构化变动,能够探索出不同畜养污染物在研究期内的变化差异性,结果表明河南省畜养产污增长速度存在着差异性。从污染物增长率来看,TN、TP、Cu 和 Zn 增长最快,在 2000—2014 年整个时段均超过其他污染物。

第四,现阶段,河南省畜养产污 TN 和 TP 的农田消纳和承载负荷压力不大,在不考虑土壤环境自身的 N、P 含量情况下,以全部畜养污染物产生量为农田消纳的核算基准,则引导三分之一的作物种植面积用于畜养产污的农田消纳就能够满足畜养产污资源利用的需要。考虑到土壤养分情况、交通运输成本等因素,河南省畜养污染物的消纳需要政策引导和空间配额

优化。

参考文献:

- [1] Shrestha S, Kazama F, Newham L T H. A framework for estimating pollutant export coefficients from long-term in-stream water quality monitoring data[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2008, 23(2): 182–194.
- [2] Shen Z Y, Liao Q, Hong Q, et al. An overview of research on agricultural non-point source pollution modelling in China[J]. *Sep Purif Technol*, 2012, 84: 104–111.
- [3] 柳建国. 畜禽粪便污染的农业系统控制模拟及系统防控对策[D]: 南京: 南京农业大学, 2009.
LIU Jian-guo. Research on prevention and control system of livestock and poultry excreta[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [4] Fu Q, Zhu Y Q, Kong Y F, et al. Spatial analysis and districting of the livestock and poultry breeding in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(6): 1079–1100.
- [5] 宋福忠. 畜禽养殖环境系统承载力及预警研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
SONG Fu-zhong. Study on the carrying capacity of regional environmental system for livestock-poultry raising and its precaution[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [6] 朱建春, 张增强, 樊志民, 等. 中国畜禽粪便的能源潜力与氮磷耕地负荷及总量控制[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(3): 435–445.
ZHU Jian-chun, ZHANG Zeng-qiang, FAN Zhi-min, et al. Biogas potential, cropland load and total amount control of animal manure in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(3): 435–445.
- [7] 仇焕广, 廖绍攀, 井月, 等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2766–2774.
QIU Huan-guang, LIAO Shao-pan, JING Yue, et al. Regional differences and development tendency of livestock manure pollution in China[J]. *Environment Science*, 2013, 34(7): 2766–2774.
- [8] 孟祥海, 周海川, 张俊飏. 中国畜禽污染时空特征分析与环境库兹涅茨曲线验证[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(11): 104–108.
MENG Xiang-hai, ZHOU Hai-chuan, ZHANG Jun-biao. Spatial and temporal characteristics and EKC verification for livestock pollution[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(11): 104–108.
- [9] 杨世琦, 韩瑞芸, 刘晨峰. 中国畜禽粪便磷的农田消纳量及承载负荷研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(32): 111–116.
YANG Shi-qi, HAN Rui-yun, LIU Chen-feng. The given amount and loading capacity of phosphorus from livestock and poultry manure in China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(32): 111–116.
- [10] 杨世琦, 韩瑞芸, 刘晨峰. 省域尺度下畜禽粪便的农田消纳量及承载负荷研究[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(7): 142–151.
YANG Shi-qi, HAN Rui-yun, LIU Chen-feng. Study on the given amount per unit field and load capacity of livestock and poultry manure at provincial scale[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(7): 142–151.
- [11] 史本广, 王盘洲, 田军辉. 基于投入产出理论的河南农业纵向比较

- 分析[J]. 河南农业大学学报, 2011, 45(6): 721-725.
- SHI Ben-guang, WANG Pan-zhou, TIAN Jun-hui. A vertical comparative analysis on Henan agriculture with input-output theory[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2011, 45(6): 721-725.
- [12] 袁彩凤, 张飞, 张粉, 等. 河南省畜禽养殖污染对环境影响研究[J]. 中国人口、资源与环境, 2012, 22(5): 44-48.
- YUAN Cai-feng, ZHANG Fei, ZHANG Fen, et al. Impact of livestock and poultry pollution on the environment in Henan Province[J]. *China Population, Resource and Environment*, 2012, 22(5): 44-48.
- [13] 赵丽莉, 朱远航, 宋俊杰, 等. 河南省畜禽养殖废弃物污染现状及防治对策[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(22): 5446-5448, 5495.
- ZHAO Li-li, ZHU Yuan-hang, SONG Jun-jie, et al. Current situation and preventing countermeasures of the livestock and poultry waste in Henan Province[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(22): 5446-5448, 5495.
- [14] 仇焕广, 井月, 廖绍攀, 等. 我国畜禽污染现状与治理政策的有效性分析[J]. 中国环境科学, 2013, 33(12): 2268-2273.
- QIU Huan-guang, JING Yue, LIAO Shao-pan, et al. Environmental pollution of livestock and the effectiveness of different management policies in China[J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(12): 2268-2273.
- [15] 董晓霞, 李孟娇, 于乐荣. 北京市畜禽粪便农田负荷量估算及预警分析[J]. 中国畜牧杂志, 2014, 50(18): 32-36.
- DONG Xiao-xia, LI Meng-jiao, YU Le-rong. Farmland load and environmental risk assessment of livestock manure in Beijing[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2014, 50(18): 32-36.
- [16] 张飞. 县域畜禽污染防治对策研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.
- ZHANG Fei. Study on county livestock pollution prevention strategy [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2010.
- [17] 耿维, 胡林, 崔建宇, 等. 中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 171-179.
- GENG Wei, HU Lin, CUI Jian-yu, et al. Biogas energy potential for livestock manure and gross control of animal feeding in region level of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(1): 171-179.
- [18] 杨飞, 杨世琦, 诸云强, 等. 中国近30年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 1-11.
- YANG Fei, YANG Shi-qi, ZHU Yun-qiang, et al. Analysis on livestock and poultry production and nitrogen pollution load of cultivated land during last 30 years in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(5): 1-11.
- [19] 付强, 诸云强, 杨红新, 等. 2002—2009年中国规模化畜禽养殖量区域差异及政策建议[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 185-191.
- FU Qiang, ZHU Yun-qiang, YANG Hong-xin, et al. Regional differences of livestock and poultry breeding output in scale and policy suggestions during 2002—2009 in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(18): 185-191.
- [20] 常志州, 靳红梅, 黄红英, 等. 畜禽养殖场粪便清扫、堆积及处理单元氮损失率研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(5): 1068-1077.
- CHANG Zhi-zhou, JIN Hong-mei, HUANG Hong-ying, et al. Nitrogen loss during cleaning, storage, compost and anaerobic digestion of animal manures in individual treatment unit[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(5): 1068-1077.