

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.18406

基于种养平衡的河南省畜禽养殖分析及其环境污染风险研究

张英, 武淑霞*, 刘宏斌, 雷秋良, 王洪媛, 翟丽梅

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业农村部面源污染控制重点实验室, 北京 100081)

摘要:为探究河南省畜禽养殖环境污染现状, 利用排污系数法等方法估算了河南省畜禽养殖粪尿负荷量、耕地承载力和水体污染负荷指数等指标, 分析并评价了不同地区畜禽养殖现状的合理性及对环境的污染状况, 以为河南省合理畜禽养殖提供理论依据。结果表明, (1) 河南省 2016 年畜禽粪尿产生总量为 13 101.5 万 t, 以南阳市、驻马店市、周口市、商丘市和开封市产生量最大, 其总和占全省总量的 54.0%。从污染风险看, 河南省平均负荷量为 $16.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 警报值级别处于 II 级, 对环境稍构成污染威胁。(2) 河南省可承载的猪当量为 7 402.4 万头猪当量, 实际养殖已超载 2 047.3 万头猪当量。其中驻马店市、平顶山市、洛阳市、信阳市超载最严重, 占超载总量的 50.1%。(3) 河南省水体的主要污染物为全氮 (TN) 和全磷 (TP), 而化学需氧量 (COD) 的等标排放量相对较少。全省平均扩散浓度达 $128.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 属于严重污染。平均等标污染指数为 $12.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 表现为对水环境有污染。对环境污染最严重的是开封市, 污染指数达 $31.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 对环境污染最小的是信阳市, 污染指数为 $2.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。(4) 从污染负荷来看, 开封市、平顶山市、漯河市的耕地承载负荷大, 水体潜在污染严重, 安阳市和信阳市的污染负荷较低。

关键词: 畜禽养殖; 猪当量; 预警级别; 等标排放量; 污染指数

我国是畜禽养殖大国, 尤其近年来养殖业发展迅速, 在提供肉蛋奶的同时不可避免地产生大量的养殖粪污, 产生一系列的生态环境问题。关于畜禽污染已有较多的研究, 张绪美等^[1-2]研究表明过量的畜禽粪污会改变大气的正常组分, 污染水体而引起水体富营养化, 破坏土壤结构等, 并通过对江苏省畜禽养殖现状调查分析得出全省畜禽粪便污染严重地区大多靠近水体, 对江苏省水环境质量产生威胁。刘晓永等^[3]研究得出近 30 年来全国畜禽粪尿及其氮磷养分资源持续增加, 东北地区、河南、天津、山东、河北增幅明显。刘然然^[4]研究表明 2006 ~ 2015 年 10 年间山东省畜禽粪便耕地和水体污染风险等级均处于 III 级及以上水平, 受到较为严重的污染威胁。河南省是我国的养殖大省, 2016 年河南省猪、牛、羊出栏量分别占全国的 8.77%、10.77% 和 7.06%^[5]。高定等^[6]在 2005 年指出河

南省粪便负荷为 $36.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。耿维等^[7]研究表明 2010 年河南省年粪便总量达 1.87 亿 t, 占全国粪便总量的 8.37%, 居全国第二。

近年来, 畜禽养殖方式发生了较大变化, 以前的农户散养逐渐被养殖专业户和大、中型畜禽养殖场替代, 难以保证周边有充足的土地来消纳养殖废弃物, 加大了对环境的潜在污染, 以地定畜、种养结合等方法成为畜禽养殖污染研究的热点之一。种养结合模式不仅可以减少畜禽粪便污染, 还能提高土壤肥力^[8]。已有研究表明, 河南省畜禽养殖对周围地下水形成的潜在威胁远大于工业、生活污染^[9-11], 但缺乏对各地差异以及对环境影响的定量研究。本文基于等标污染负荷法计算了河南省各地区的畜禽养殖水体负荷污染指数, 并利用排污系数法分析了河南省各地区畜禽养殖粪污提供的氮素, 同时与种植农作物氮需求做了平衡分析^[12], 对各地区畜禽粪尿耕地污染负荷情况进行衡量与评估, 为河南省畜禽养殖与生态环境的协调发展提供理论指导。

1 数据与方法

1.1 数据来源

我国农区的畜禽粪尿主要来源于牛、猪、羊和

收稿日期: 2018-10-15; 录用日期: 2018-11-30

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (任务编号: 1610132019028); 国家重点研发计划项目 (2018YFD0200200); 国家自然科学基金项目 (31572208); 农业部生态保护专项 (2110402); 中英牛顿基金项目 (BB/N013484/1)。

作者简介: 张英 (1994-), 女, 河南省郸城县人, 硕士研究生, 主要研究方向为农业面源污染防控。E-mail: 1733079188@qq.com。

通讯作者: 武淑霞, E-mail: wushuxia@caas.cn。

家禽。本文选取河南省各地区的猪、牛、羊、家禽产生的畜禽粪尿作为研究对象。河南省各地区的畜禽出栏量和存栏量，农作物产量均来自于《2017年河南统计年鉴》^[5]。农作物包括小麦、水稻、玉米、大豆、棉花、蔬菜、瓜果、花生、各类水果、油菜和烟叶等。

1.2 研究方法

1.2.1 畜禽粪尿产生量

生猪的饲养周期确定为 199 d，用出栏量作为饲养量，奶牛、肉牛、羊的饲养周期为 365 d，取年末存栏量作为饲养量，家禽的饲养周期为 210 d，取年末存栏量作为饲养量^[13]。目前对于畜禽的排污系数有不同的意见，本文采用的猪、牛、羊、家禽的排污系数均参考《第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册》^[14]及朱建春等^[13]的研究相结合进行确定，具体数据见表 1。畜禽粪尿量的计算公式为：畜禽粪尿量 = Σ 饲养量 $\times$ 日排污系数 $\times$ 饲养周期。

表 1 畜禽粪污日排污系数

	生猪	奶牛	肉牛	羊	家禽
粪便 ($\text{kg} \cdot \text{头}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	1.18	33.01	13.87	0.87	0.09
尿 ($\text{kg} \cdot \text{头}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	3.18	17.98	9.15	0.87	—

1.2.2 畜禽粪尿耕地负荷及风险评价方法

畜禽粪尿耕地负荷指区域单位面积承载的畜禽粪尿量，用来衡量区域养殖规模是否合理。由于不同类型的畜禽粪便，其肥效养分差异很大，故其农田消纳量差异也很大，因此将各种粪尿统一成猪粪当量，然后叠加成猪粪总量。各畜禽换算成猪粪当量的换算系数为猪粪 1.00，猪尿 0.50，牛粪 0.69，牛尿 1.23，羊粪 1.23，家禽粪 2.51^[15]。将畜禽粪尿猪粪当量的耕地负荷除以农田有机肥理论最大适宜施肥量，其比值即为区域畜禽粪尿负荷量承受程度的警报值 r ，它间接反映各地区畜禽粪尿耕地负

荷承受程度。 r 值越大，畜禽粪尿对环境造成的污染威胁性越大，环境对畜禽粪尿负荷量的承载能力越小。从环境风险的角度考虑，一般以 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为最大理论适宜量^[16]。计算公式为：

①畜禽粪尿耕地负荷量： $q=Q/S=\Sigma X \cdot T/S$

式中， Q —年度粪尿养分总量（万 t）；

S —耕地面积（万 hm^2 ）；

X —各类畜禽粪尿量（万 t）；

T —猪粪当量换算系数。

②警报值计算公式为： $r=q/p$

式中， q —畜禽粪便负荷量（ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）；

p —有机肥最大理论适宜施用量（ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）。

1.2.3 基于种养平衡的畜禽养殖量分析方法

通过科学估算区域畜禽养殖环境可承载猪当量与实际饲养量比较，评价各地区畜禽养殖量是否超量及其程度，并依此指导各地优化调整畜牧业区域布局，促进农牧结合、种养循环发展，加快推进畜禽粪污资源化利用，引导畜牧业绿色发展。猪当量是指用于衡量畜禽氮排泄物的度量单位，1 头猪为 1 个猪当量。2018 年《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》^[12]指出按存栏量折算，100 头猪相当于 15 头奶牛，30 头肉牛，250 只羊，2 500 只家禽。计算公式为：

①土地可承载猪当量总量（以氮量计算）= 区域作物粪肥氮素需求量 / 单位猪当量粪肥氮素供给量

②区域作物养分需求量 = Σ （每种作物总产量 $\times$ 单位产量氮素需求量）

③区域作物粪肥养分需求量 =（区域作物氮素需求量 $\times$ 施肥供给氮素占比 $\times$ 粪肥占施肥比例）/ 粪肥氮素当季利用率

式中，单位猪当量粪肥氮素供给量为 7.0 kg，施肥供给养分占比推荐值为 45%。不同植物单位产量适宜氮养分需求量见表 2。粪肥中氮素当季利用率推荐值为 25%。

表 2 主要作物形成 100 kg 产量需要吸收氮量推荐值

作物类型	小麦	水稻	玉米	大豆	棉花	蔬菜	瓜果	果树	花生	油菜	烟叶
氮 (Nkg)	3	2.2	2.3	7.2	11.7	0.31	0.42	0.51	7.19	7.19	3.85

注：蔬菜、瓜果、果树形成 100 kg 产量需要吸收氮量推荐值为平均值。

1.2.4 水体等标污染负荷

等标污染负荷指把 i 污染物的排放量稀释到相应排放标准时所需的介质量，用以评价各污染源和

各污染物的相对危害程度，是污染评价的常用指标，可以表达污染源本身潜在的污染水平。本文所研究的污染物包括全氮（TN）、全磷（TP）、化学

需氧量 (COD), 其产生量根据畜禽粪尿总量和畜禽粪尿中污染物含量参数来确定。对于畜禽粪尿的流失率, 陈斌玺等^[17], 宋大平等^[18] 都是根据当地现实情况将各种畜禽粪尿流失率均按 30% 考虑, 大多研究是把不同种类畜禽的粪尿流失率分开来考虑, 本文参考史瑞祥等^[19] 和张国印等^[20] 的研究来确定的畜禽污染物参数及流失率, 具体数据见表 3。水资源总量为区域内降水形成的地表水和地下水总量。计算公式如下:

① i 污染物的等标排放量计算公式为: $P_i = c_i / c_0$
式中, P_i —i 污染物的等标排放量 (m^3);
 c_i —i 污染物流失量 ($t \cdot 年^{-1}$);
 c_0 —污染物按 GB 3838-2002 III 类标准系列的
阀浓度 (COD 为 $20\text{ mg} \cdot L^{-1}$, TN 为 $1\text{ mg} \cdot L^{-1}$, TP

为 $0.2\text{ mg} \cdot L^{-1}$)。
② 畜禽粪便污染物产生量 = 年畜禽粪便量 × 畜禽粪便污染物参数。
③ 畜禽粪便污染物流失量 = 畜禽粪便污染物产生量 × 进入水体的流失率。
④ 某地区污染物的等标污染负荷指数 = 该地区污染物的等标排放量 (P_i) / 该地区水资源总量。
⑤ 某地区污染物的等标污染负荷比 = 某地区污染物的等标排放量 (P_i) / 某地区污染物的总等标排放量。当某种污染物的等标污染负荷比越大时, 则说明该污染物的贡献率越大。
⑥ 某地区污染物的扩散浓度 = 该地区污染物的产生量 / 该地区水资源总量。

表 3 畜禽污染物参数及流失率

指标	各类畜禽污染物参数 ($kg \cdot t^{-1}$)			畜禽粪便污染物进入水体的流失率 (%)		
	COD	TN	TP	COD	TN	TP
猪粪	52.00	5.88	3.41	5.58	5.34	5.25
猪尿	9.00	3.30	0.52	50.00	50.00	50.00
牛粪	31.00	4.37	1.18	6.16	5.68	5.50
牛尿	6.00	8.00	0.40	50.00	50.00	50.00
羊粪	4.63	7.50	2.60	5.50	5.30	5.20
家禽粪	45.00	9.80	5.40	8.59	8.47	8.42

2 结果与分析

2.1 河南省各地区畜禽粪尿耕地污染现状

2.1.1 河南省各地区畜禽粪尿总量

近年来, 河南省畜禽养殖规模逐渐增大, 畜禽粪尿产生量增加, 部分地区粪尿基数大且缺乏足够的耕地来容纳, 不可避免地增加了这些地区氮磷从耕地流失到环境的风险。河南省各地区畜禽粪尿排放量如表 4 所示, 由表 4 可知河南省畜禽粪尿排放总量为 13 101.5 万 t, 其中粪便 6 257.0 万 t, 尿 5 799.4 万 t。猪的粪尿产生量最高, 为 5 290.6 万 t, 占畜禽粪污排放总量的 40.4%。从空间分布来看, 南阳市的畜禽粪尿排放量最大, 为 1 970.5 万 t, 占河南省的 15.0%。济源市畜禽粪污排放量最小, 为 86.9 万 t。畜禽粪尿产生量前五名的地区为南阳市、驻马店市、周口市、商丘市和开封市, 该 5 个地区畜禽粪尿产生量总和占河南省总量的 54.0%, 与周

凯等^[11] 的研究一致。
2.1.2 畜禽粪尿污染耕地负荷及预警分析
河南省各地区的耕地负荷量及警报值级别如表 5 所示, 粪尿耕地负荷量最大的地区为开封市, 为 $23.0\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。根据畜禽粪尿耕地负荷量的大小, 把畜禽粪便负荷量分为 6 个等级^[15] 如表 6, 河南省平均负荷量为 $16.2\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 警报值级别处于 II 级, 对环境稍构成污染威胁。全省畜禽粪尿污染程度在空间分布上呈现不均匀分布, 警报值级别达到 III 级的为开封市、平顶山市、漯河市, 对环境构成污染威胁。警报值级别达到 II 级的有洛阳市、鹤壁市、濮阳市、许昌市、三门峡市、南阳市、商丘市、周口市、驻马店市、济源市, 对环境稍构成污染威胁。警报值级别达到 I 级的为郑州市、安阳市、新乡市、焦作市、信阳市, 对环境没有威胁。

表 4 河南省各地区畜禽粪尿产生总量

(万 t)

地区	猪	奶牛	肉牛	羊	家禽	合计
郑州市	201.1	26.9	96.6	22.9	55.2	402.6
开封市	324.3	99.3	357.0	107.0	116.7	1 004.3
洛阳市	202.5	100.1	359.9	50.7	65.2	778.4
平顶山市	309.0	53.8	193.4	73.3	68.8	698.2
安阳市	198.3	17.1	61.6	43.1	94.4	414.5
鹤壁市	107.4	6.4	22.9	16.4	54.1	207.1
新乡市	308.8	43.9	157.7	40.0	80.3	630.7
焦作市	149.6	17.5	62.9	19.4	34.1	283.5
濮阳市	157.0	25.3	90.8	50.6	94.3	418.0
许昌市	333.5	25.0	89.8	42.6	50.9	541.8
漯河市	297.3	16.0	57.6	14.6	57.6	443.1
三门峡市	90.3	51.2	184.2	28.0	19.2	372.9
南阳市	542.7	236.7	850.9	167.4	172.8	1 970.5
商丘市	395.4	82.4	296.0	153.0	162.2	1 089.0
信阳市	367.4	32.7	117.4	52.1	179.6	749.2
周口市	557.9	72.3	259.8	181.3	169.9	1 241.3
驻马店市	693.6	177.7	638.7	113.7	145.8	1 769.5
济源市	54.7	5.2	18.5	3.8	4.8	86.9
总计	5 290.6	1 089.3	3 915.8	1 179.7	1 625.9	13 101.5

表 5 畜禽粪尿耕地负荷量及预警分析

地区	负荷量 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	警报值 r	警报值级别	预警分析
郑州市	11.6	0.4	I	无
开封市	23.0	0.8	III	有
洛阳市	16.8	0.6	II	稍有
平顶山市	19.8	0.7	III	有
安阳市	10.3	0.3	I	无
鹤壁市	17.8	0.6	II	稍有
新乡市	12.1	0.4	I	无
焦作市	13.0	0.4	I	无
濮阳市	15.4	0.5	II	稍有
许昌市	13.7	0.5	II	稍有
漯河市	19.8	0.7	III	有
三门峡市	19.2	0.6	II	稍有
南阳市	17.5	0.6	II	稍有
商丘市	15.2	0.5	II	稍有
信阳市	9.0	0.3	I	无
周口市	13.8	0.5	II	稍有
驻马店市	16.7	0.6	II	稍有
济源市	15.2	0.5	II	稍有
平均	16.2	0.5	II	稍有

表 6 畜禽粪便负荷预警级别

预警值 r	级别	构成的环境威胁
≤ 0.4	I	无
0.4 ~ 0.7	II	稍有
0.7 ~ 1.0	III	有
1.0 ~ 1.5	IV	较严重
1.5 ~ 2.5	V	严重
>2.5	VI	很严重

2.1.3 河南省各地区畜禽养殖现状分析（以猪当量计）

本文依照《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》^[12]，利用猪当量对河南省畜禽养殖现状进行分析，通过作物需要的氮养分计算出各地区种植业可承载的猪当量总量，与其实实际畜禽养殖猪当量总量相比较，用于评价各地区畜禽养殖量是否超量及其程度。河南省畜禽养殖现状如表 7 所示，全省可承载的猪当量为 7 402.4 万头猪当量，实际养殖 9 449.7 万头猪当量，已超出 2 047.3 万头猪当量。从空间分布上看河南省大部分地区畜禽养殖猪当量均已超载，只有安阳和商丘两市还有发展空间，其中驻马店市超载最严重，已超出 298.7 万头猪当量。驻马店市、平顶山市、洛阳市、信阳市 4 个市超载严重，占超载总量的 50.1%。对于上述超载地区应该合理消减畜禽养殖数量。

表 7 河南省畜禽养殖量（以猪当量计算，万头）

地区	耕地可承载猪当量	实际折算猪当量饲养量	差值
郑州市	211.4	293	-81.6
开封市	617.9	690.1	-72.1
洛阳市	249.5	478.6	-229
平顶山市	201.2	492	-290.8
安阳市	466.5	366.1	100.4
鹤壁市	65.1	192.4	-127.3
新乡市	371.7	475.7	-104
焦作市	186.7	225.1	-38.4
濮阳市	238.3	349.8	-111.5
许昌市	173.7	381.4	-207.7
漯河市	149.9	342.4	-192.5
三门峡市	178.3	212.5	-34.2
南阳市	1 123.1	1 243.9	-120.8
商丘市	847.1	815.6	31.5
信阳市	454.5	662.8	-208.2
周口市	954.6	971.8	-17.2
驻马店市	893.9	1 192.7	-298.7
济源市	18.7	63.8	-45.1
总计	7 402.4	9 449.7	-2 047.3

2.2 河南省各地区畜禽养殖水体潜在污染现状

2.2.1 畜禽粪便水体污染负荷

河南省位于黄河中下游，横跨黄河、淮河、海河、长江四大水系，境内 1 500 多条河流纵横交织，黄河横贯中部，境内干流 711 km，流域面积 3.62 万 km²，约占全省面积的 1/5^[21]。多年平均降水量为 784 mm^[22]，水资源相对较匮乏。河南省水资源量自北向南逐渐增加，信阳水资源量较丰富，鹤壁和三门峡水资源较匮乏^[23]。近年来随着畜禽养殖的增加，大量畜禽粪尿的不合理排放，造成了部分水体的污染。

经计算，2016 年河南省畜禽养殖粪尿中主要污染物的流失量、等标排放量、等标污染负荷比、扩散浓度如表 8 所示。河南省 TN、TP 和 COD 流失量总计达 78.14 万 t，其中 COD 流失量较多，占总量的 68.0%；其次是 TN 流失量，占 27.7%；TP 流失量最少，仅占 4.3%。TN、TP、COD 3 种污染物的等标排放量总计为 41.1 × 10¹⁰ m³，TN 的等标排放量最高，占 52.8%，其次是 TP 占 40.7%，COD 的等标排放量最低仅占 6.5%。说明河南省水体的主要污染物是 TN 和 TP，而 COD 相对较少。由于河南省水资源较匮乏，加上污染物排放量较大，故河南省水体平均污染物扩散浓度达到了 128.0 mg · L⁻¹，扩散浓度最高的为开封市达 343.8 mg · L⁻¹，最低的是信阳市为 25.2 mg · L⁻¹。信阳市地处河南省的南部，平均年降水量相对较高，水资源较充沛，故污染物扩散浓度较低。驻马店市和南阳市的污染物对全省的影响最大，二者的等标污染负荷比分别为 13.5% 和 13.4%。对全省影响最小的是济源市，等标污染负荷比仅为 0.8%。

2.2.2 畜禽粪便污染水体等标污染负荷指数

等标污染负荷指数是以数值的形式直接反映一个地区水体污染的严重程度。参考宋大平等^[18]的研究，按照数值大小把畜禽粪便等标污染指数分级如表 9。河南省各市的等标污染指数如图 1，河南省平均等标污染负荷指数为 12.2 mg · L⁻¹，表现为对水环境有污染。对环境污染最严重的是开封市，等标污染负荷指数达 31.9 mg · L⁻¹。对环境无污染的是信阳市，等标污染负荷为 2.3 mg · L⁻¹。其中开封市、濮阳市、许昌市、漯河市的等标污染负荷指数大于 20 mg · L⁻¹，对环境造成了严重的污染。安阳市、焦作市、济源市的等标污染负荷指数均小于 10 mg · L⁻¹，对环境稍有影响。据统计资料显示^[19]，

表 8 河南省畜禽粪便水体污染情况

地区	流失量（10 ³ t）				等标排放量（10 ¹⁰ m ³ ）				等标污染负荷 比（%）	扩散浓度 （mg·L ⁻¹ ）
	TN	TP	COD	合计	TN	TP	COD	合计		
郑州市	7.0	1.2	18.4	26.6	0.7	0.6	0.1	1.4	3.4	146.9
开封市	16.0	2.3	36.6	54.9	1.6	1.2	0.2	2.9	7.1	343.8
洛阳市	12.9	1.6	26.7	41.2	1.3	0.8	0.1	2.2	5.3	182.3
平顶山市	11.7	1.8	29.2	42.8	1.2	0.9	0.1	2.2	5.5	193.6
安阳市	6.5	1.2	18.3	26.0	0.6	0.6	0.1	1.4	3.4	88.4
鹤壁市	3.3	0.7	9.7	13.6	0.3	0.3	0.0	0.7	1.8	196.0
新乡市	11.0	1.8	28.4	41.2	1.1	0.9	0.1	2.1	5.2	107.7
焦作市	5.0	0.8	13.2	19.1	0.5	0.4	0.1	1.0	2.4	100.4
濮阳市	6.2	1.1	16.3	23.6	0.6	0.6	0.1	1.3	3.1	309.1
许昌市	9.9	1.7	27.3	38.9	1.0	0.8	0.1	2.0	4.9	264.7
漯河市	8.3	1.5	24.0	33.8	0.8	0.7	0.1	1.7	4.3	286.6
三门峡市	6.2	0.7	12.3	19.3	0.6	0.4	0.1	1.0	2.5	107.8
南阳市	32.1	4.2	68.1	104.4	3.2	2.1	0.3	5.6	13.4	171.7
商丘市	16.6	2.7	41.0	60.3	1.7	1.3	0.2	3.2	7.8	197.3
信阳市	12.0	2.3	34.1	48.4	1.2	1.1	0.2	2.5	6.3	25.2
周口市	19.6	3.3	51.5	74.4	2.0	1.7	0.3	3.9	9.6	187.0
驻马店市	30.7	4.3	71.4	106.4	3.1	2.2	0.4	5.6	13.5	149.9
济源市	1.7	0.3	4.5	6.4	0.2	0.1	0.0	0.3	0.8	87.4
总计或平均	216.8	33.5	531.2	781.4	21.7	16.7	2.7	41.1	100.0	128.0
总计/合计（%）	27.7	4.3	68.0	100.0	52.8	40.7	6.5	100.0		

注：总计或平均数据中扩散浓度 128.0 mg·L⁻¹ 为平均值，其他项为总计值。

濮阳市、漯河市、许昌市、开封市的水资源总量均处在全省水资源总量较少的地区，由于这些地区畜禽粪尿产生量大而水资源总量少，导致等标污染负荷指数较大，耕地和水体双重污染严重。而南阳市、三门峡市、信阳市虽然畜禽粪污污染物流失量较多，但水资源总量丰富，其等标污染负荷指数较低。尤其信阳市年降水量 1 300 mm 左右，水资源总量占河南省总量的 22%，水资源较丰富，其畜禽粪污等标污染负荷指数较小，对环境的影响也较小。

表 9 水体负荷等标污染指数级别

等标污染指数	级别	污染程度
0 ~ 5	I	无污染
5 ~ 10	II	稍有污染
10 ~ 15	III	有污染
15 ~ 20	IV	污染较严重
>20	V	污染严重

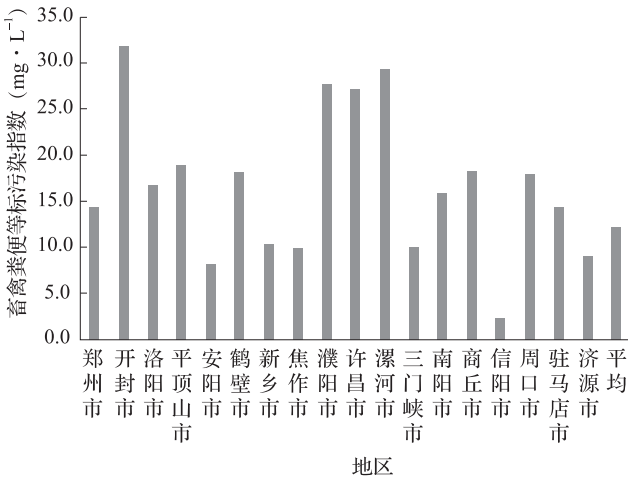


图 1 河南省畜禽粪便等标污染指数

3 结论

（1）河南省 2016 年 畜禽粪尿产生总量为 13 101.5 万 t，其中，南阳市的畜禽粪尿产生量最大，

占河南省的 15.0%。其次为驻马店市、周口市、商丘市和开封市,这 5 个地区的畜禽粪尿产生量占河南省的 54.0%。济源市畜禽粪污排放量最小,为 86.9 万 t。

(2) 河南省耕地平均负荷量为 $16.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 警报值级别处于 II 级,对环境稍构成污染威胁。最高的警报值级别达到 III 级为开封市、平顶山市、漯河市,对环境构成污染威胁。河南省畜禽养殖量超出其可环境承载量达 2 047.3 万头猪当量。其中驻马店市、平顶山市、洛阳市和信阳市超载最严重,占超载总量的 50.1%。

(3) 河南省水体的主要污染物为 TN 和 TP, COD 的等标排放量相对较少。全省平均扩散浓度达 $128.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,已属于严重污染。河南省平均等标污染指数为 $12.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,表现为对水环境有污染。全省环境污染最严重的地区是开封市,污染指数达 $31.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,对环境污染较小的是信阳市,污染指数为 $2.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(4) 从污染负荷来看,开封市、平顶山市、漯河市的耕地承载负荷大,水体潜在污染严重,安阳市和信阳市的污染负荷较低。

参考文献:

- [1] 张绪美. 中国畜禽养殖及其粪便污染与治理现状 [J]. 环境科学与管理, 2009, (12): 35-39.
- [2] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 江苏省畜禽粪便污染现状及其风险评价 [J]. 中国土壤与肥料, 2007, (4): 12-15.
- [3] 刘晓永, 李书田. 中国畜禽粪尿养分资源及其还田的时空分布特征 [J]. 农业工程学报, 2018, 34 (4): 1-14, 316.
- [4] 刘然然. 山东省畜禽粪便污染负荷时空特征及预测 [D]. 济南: 山东师范大学, 2018.
- [5] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2017 年河南统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [6] 高定, 陈同斌, 等. 我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略 [J]. 地理研究, 2006, (2): 311-319.
- [7] 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.
- [8] 徐燕, 彭方明, 霍仕平, 等. 山区旱地猪—沼—粮 (玉米) 循环模式的研究与效益评价 [J]. 中国土壤与肥料, 2018, (4): 159-165.
- [9] 李冬梅, 姜翠玲, 孙敏华. 河南省畜禽粪便污染及耕地负荷时空变化特征分析 [J]. 四川环境, 2014, 33 (5): 34-39.
- [10] 袁彩凤, 张飞, 张粉如, 等. 河南省畜禽养殖污染对环境的影响研究 [J]. 中国人口资源与环境, 2012, (S1): 44-48.
- [11] 周凯, 雷泽勇, 王智芳, 等. 河南省畜禽养殖粪便年排放量估算 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18 (5): 1060-1065.
- [12] 农业部. 畜禽粪污土地承载力测算技术指南 [J]. 甘肃畜牧兽医, 2018, 48 (1): 18-20.
- [13] 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.
- [14] 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 环境保护部南京环境科学研究所. 第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册 [Z]. 北京: 农业部科技教育司, 2009.
- [15] 沈根祥, 汪雅谷, 袁大伟. 上海市郊农田畜禽粪便负荷量及其警报与分级 [J]. 上海农业学报, 1994, (S1): 6-11.
- [16] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [17] 陈斌玺, 刘俊专, 吴银宝, 等. 海南省农地土壤畜禽粪便承载力与养殖环境容量分析 [J]. 家畜生态学报, 2012, 33 (6): 78-84.
- [18] 宋大平, 庄大方, 陈巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价 [J]. 环境科学, 2012, (1): 110-116.
- [19] 史瑞祥, 薛科社, 周振亚. 基于耕地消纳的畜禽粪便环境承载力分析—以安康市为例 [J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38 (6): 55-62.
- [20] 张国印, 茹淑华, 孙世友, 等. 河北省畜禽粪尿产污量估算以及污染风险评估 [J]. 河北农业科学, 2016, 20 (4): 66-71.
- [21] 2011 年河南省水资源公报 [J]. 河南水利与南水北调, 2013, (6): 50-57.
- [22] 张焱. 河南省水资源开发利用存在问题与节水措施 [J]. 河南水利与南水北调, 2016, (7): 50-51.
- [23] 常军, 顾万龙, 竹磊磊, 等. 河南省水资源量分布特征及对降水变化的响应 [J]. 人民黄河, 2010, 32 (7): 78-79.

Analysis on rationality and pollution of livestock industry in Henan Province based on balance between crop-planting and livestock-raising

ZHANG Ying, WU Shu-xia*, LIU Hong-bin, LEI Qiu-liang, WANG Hong-yuan, ZHAI Li-mei (Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key laboratory of Nonpoint Source Pollution Control, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081)

Abstract: In order to explore the situation of environmental pollution of the current livestock industry and provide a theoretical basis for reasonable livestock and poultry breeding, discharge coefficient method was used to estimate the manure and urine load, carrying capacity of arable land and water pollution load index, and the rationality of livestock and poultry breeding status in different regions was analyzed and evaluated in Henan Province. The results show that (1) the total amount of livestock and poultry excrement in Henan Province in 2016 was 131.015 million tons, five regions which include Nanyang City, Zhumadian City, Zhoukou City, Shangqiu City and Kaifeng

[下转第 52 页]