

施常洁,王社芳,戴铄蕴,等. 长三角养殖密集区畜禽养殖污染空间分布特征及污染评估——以如皋市为例[J]. 江苏农业科学,2021,49(1):176-181.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.01.032

长三角养殖密集区畜禽养殖污染空间分布特征及污染评估

——以如皋市为例

施常洁,王社芳,戴铄蕴,刘亚丽,刘波,童仪,罗开洪,罗丹

(南通大学地理科学学院,江苏南通 226007)

摘要:为了有效防治畜禽养殖污染,以江苏省如皋市为研究对象,采用产污系数法和削减排放法核算其畜禽粪便及其污染物(全氮、全磷)的产生量及实际排放量,分析各镇(街道)畜禽粪便污染物(全氮、全磷)的空间分布特征,并进行污染评估。结果表明,2017 年如皋市畜禽粪便及其污染物(全氮、全磷)产生总量分别为 16.904 万、1.039 万、0.221 万 t,畜禽粪便污染物(全氮、全磷)实际排放量分别为 0.615 万、0.132 万 t;从空间分布特征来看,西部以及东部个别地区畜禽粪便污染物产生量相对较大,其余镇(街道)由西向东逐渐减少;如皋市各类畜禽对畜禽粪便及其污染物的贡献大小依次是肉猪、蛋鸡、肉鸡、母猪、羊、奶牛;2017 年如皋市畜禽粪便污染物(全氮、全磷)污染风险指数分别为 0.71、0.44。该结果可以为养殖密集区镇(街道)级别粪污处理及总量控制提供资料参考。

关键词:畜禽养殖污染;耕地负荷;污染风险评估;长三角养殖密集区

中图分类号: X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)01-0176-06

近年来,随着畜禽养殖业的飞速发展,畜禽粪便污染物产生量不断增加,其造成的环境压力日益显现。畜禽粪便污染是农村面源污染的一个主要来源,其产生的氮磷等物质直接排放到水体环境中是导致水体富营养化的重要原因^[1-3]。畜禽养殖粪便及污染物产排量核算与粪污减排潜力评估是环境质量评价、环境规划和环境政策制定的基础依据。产排污系数法是核算畜禽养殖污染产排量的常用方法。我国在第 1 次全国污染源普查期间建立畜禽养殖主要污染源的产排污系数,形成了以大区为单元的畜禽养殖业产排污系数,在大区尺度上具有一定的准确性^[4]。但是,由于粪污收集与处理模式多种多样,现有排放系数相对过于简化,进而影响结果的准确性。此外,相关研究主要聚焦在全国及省(市、区)等宏观尺度区域^[5-9],乡(镇)等微观尺度研究较薄弱^[10],难以反映微观尺度的畜禽粪便

排放与减排潜力的空间差异。而随着我国持续推进污染防治攻坚战,突出问题导向,坚持一切从实际出发,注重精准施策已成为环境管理的新趋势^[11]。长三角地区由于社会经济发达,畜禽集约化养殖水平高,从养殖地域分布看,主要集中于江苏省如皋市的各镇(街道),本研究以镇(街道)为单元估算该区域内农用地的畜禽养殖承载力及当前耕地和果园承载的污染负荷情况,以期为区域内调整养殖业布局、治理环境污染、促进畜禽粪便资源化利用提供决策支持,也为其他生态涵养区畜禽养殖承载力分析提供借鉴。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

如皋市地处长江三角洲(简称长三角)北翼,是长三角畜禽养殖大县,2017 年畜禽养殖量占长三角地区养殖总量的 5.21%^[12-14],近年来畜牧业生产仍在快速发展,畜禽养殖规模不断扩大^[15],如皋市下辖城北街道、如城街道、东陈镇、城南街道、搬经镇、磨头镇、丁堰镇、江安镇、吴窑镇、下原镇、白蒲镇、石庄镇、长江镇、九华镇。

1.2 数据来源及研究方法

1.2.1 畜禽粪便及其污染物全氮、全磷产生量 排

收稿日期:2020-04-08

基金项目:国家生态环境保护规划重点问题研究项目;江苏省大学生创新训练计划(编号:201910304037Z)。

作者简介:施常洁(1998—),女,安徽安庆人,主要从事农业环境治理研究。E-mail:scj112233@yeah.net。

通信作者:刘波,博士,副教授,主要从事农业环境治理研究。Tel:(0513)85015880;E-mail:38760040@qq.com。

污系数法是核算畜禽污养殖污染产量的常用方法^[16],即根据畜禽饲养量(年末存栏数、年内出栏数)、饲养周期、排泄系数进行计算。目前,国内在估算畜禽粪便及其污染物的年产生量时,主要有 4 种计算公式:第一,畜禽粪便及其污染物年产生量 = 年末存栏量 × 日排泄系数 × 365(d),该公式没有考虑畜禽的年内出栏量以及饲养周期,不能准确反映出畜禽粪便及其污染物的年产生量。第二,畜禽粪便及其污染物年产生量 = 年内出栏量 × 日排泄系数 × 饲养周期(d),该公式虽然考虑到饲养周期,但是由于某些役用、蛋奶用和繁殖用途的畜禽在该年份内可能并未出栏,则会导致计算结果偏小。第三,畜禽粪便及其污染物年产生量 = (年末存栏量 + 年内出栏量) × 日排泄系数 × 饲养周期(d),该公式中年末存栏畜禽还未经历 1 个饲养周期,会导致计算结果偏大。第四,畜禽粪便及其污染物年产生量 = 年末存栏量或年内出栏量 × 日排泄系数 × 饲养周期(d),该方法既考虑到年末存栏畜禽,又考虑到年内出栏畜禽,存栏量和出栏量的选取可根据畜禽的主要养殖用途来确定,结合饲养周期以后的计算结果更具有可靠性,因此,本研究选取计算公式如下。

$$Q = \sum_{i=1}^k N_i \cdot T_i \cdot P_i \quad (1)$$

式中: Q 表示畜禽粪便、畜禽粪便污染物产生量,万 t; N_i 表示活动水平,头/羽; T_i 表示饲养周期,d; P_i 表示产污系数,kg/d 或 g/d; i 表示第 i 种畜禽。

本研究选取的畜禽生猪、家禽、山羊和奶牛 4 类为如皋市主要畜禽养殖种类^[17],活动水平数据来自《如皋市统计年鉴 2017》。根据畜禽的主要养殖用途,肉用畜禽(肉猪、肉鸡)选择其出栏量参与计算,役用、蛋奶用和繁殖用途的畜禽(母猪、蛋鸡、山羊、奶牛)采用其存栏量进行计算^[18]。依据原国家环境保护总局公布的畜禽饲养期数据^[19],结合实地调研的结果,确定各类畜禽饲养周期分别为:肉猪 180 d,肉鸡 48 d,蛋鸡、奶牛、母猪、山羊 365 d。

畜禽粪便污染物产污系数是指单位时间内单位活动水平产生的粪便污染物的量,该值受到温度、畜禽种类、养殖方式等多种因素的影响,考虑到这些因素,原农业部科技教育司与第 1 次全国污染普查领导小组办公室于 2009 年公布了《第一次全国污染源普查畜禽养殖业产排污系数与排污系数手册》,其中畜禽粪便、化学需氧量(COD)、全氮、全磷日产生量来自其中确定的华东地区畜禽养殖产

污系数(表 1)。

表 1 畜禽粪便及污染物产污系数

畜禽种类	粪便量 (kg/d)	全氮量 (g/d)	全磷量 (g/d)
肉猪	3.67	25.40	3.21
母猪	6.64	39.60	5.11
肉鸡	0.22	1.02	0.50
蛋鸡	0.15	1.06	0.51
奶牛	46.84	214.51	38.47
山羊	0.87	2.15	0.46

1.2.2 全氮、全磷排放量 目前,相关学者对于畜禽粪便排放量的估算大多采用排泄系数法,在活动水平确定的情况下,获取准确的排污系数是使用该方法计算的关键^[20-22]。根据目前大多数学者所采用的排泄系数^[4,20,22],虽然考虑到区域特征、畜禽种类、饲养阶段、体质量和清粪工艺等因素,但由于粪污收集与处理模式多样就显得相对过于简化,进而影响结果的准确性。王俊能等对畜禽养殖业产排污系数核算体系进行了详细的探讨,发现排泄系数法适用于核算产污量^[23],而对于核算经过不同方式的前端清理、末端处理和利用后才进入环境的实际排放量,应该着眼于其背后的削减量。

通过对文献的比较分析和专家咨询的结果,本研究采用公式(2)进行计算。

$$\begin{aligned} C_i &= Q_i \cdot P_i; \\ C &= \sum C_i; \\ E_b &= Q - C. \end{aligned} \quad (2)$$

式中: C_i 表示不同养殖模式下畜禽粪便污染物的削减量,万 t; Q_i 表示不同养殖模式下畜禽粪便污染物的产生量,万 t; P_i 表示不同养殖模式下粪便、COD、全氮、全磷的削减率; E_b 表示畜禽粪便污染物排放量,万 t; Q 表示畜禽粪便污染物产生量,万 t; C 表示粪便、COD、全氮、全磷各削减分量,万 t。

目前全国畜禽养殖场采取的栏舍清粪方式主要为干清粪、水冲粪和垫草垫料。通过干清粪方式清出粪便的末端处理主要包括粪污储存池、生产有机肥、生产沼气 3 种处理模式,水冲粪方式末端处理主要包括粪污储存池、深度处理、生产沼气 3 种模式,垫草垫料方式末端处理主要包括生产有机肥和无处理/农业利用 2 种模式^[24-26],通过调研得知,南通市也不例外。本研究结合参考文献[27]和 2017 年如皋市的调研数据及环境数据,分析核算出粪便污染物的清粪方式削减率和末端处理削减率(表 2、表 3)。

表 2 规模化畜禽养殖场不同清粪方式污染物削减率分析

清粪方式	削减率(%)	
	全氮	全磷
垫草垫料	75.79	77.91
干清粪	42.05	40.49
水冲粪	23.49	22.32

表 3 规模化畜禽养殖场不同末端处理模式污染物削减率分析

清粪方式	末端处理方式	削减率(%)	
		全氮	全磷
垫草垫料	生产有机肥	82.99	84.73
	无处理/农业利用	82.99	84.73
干清粪	粪污储存池	32.95	32.74
	生产有机肥	60.87	56.61
	生产沼气	53.63	51.29
水冲粪	粪污储存池	24.51	23.88
	深度处理	54.38	50.30
	生产沼气	42.18	38.21

1.2.3 耕地负荷与污染评估

1.2.3.1 畜禽粪便污染物耕地负荷 计算畜禽粪便氮、磷的耕地负荷时,以农田耕地面积作为实际负载面积,单位面积耕地全氮、全磷负荷计算公式为

$$L_{N/P} = \frac{Q_{N/P}}{S} \cdot 10^3 \quad (3)$$

式中: $L_{N/P}$ 表示单位面积耕地全氮(磷)负荷,kg/hm²; $Q_{N/P}$ 表示全氮(磷)排放量,万 t; S 表示耕地面积,万 hm²。

1.2.3.2 耕地氮(磷)环境承载容量 耕地畜禽粪便污染物(全氮、全磷)环境承载容量计算公式如下^[22]

$$T_{N/P} = S \cdot C_{N/P}^a \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

式中: $T_{N/P}$ 表示分析单元的耕地全氮(磷)环境承载容量,t; S 表示评价单元内耕地面积,hm²; $C_{N/P}^a$ 表示耕地的粪肥年施氮(磷)限量标准,kg/hm²,本研究采用的畜禽粪便污染物(全氮、全磷)年限量标准分别为 100、35 kg/hm²^[28-29]。

1.2.3.3 畜禽粪便污染物污染风险指数 耕地畜禽粪便污染物(全氮、全磷)污染风险指数反映评价单元内当前耕地畜禽粪便负荷量相对于该耕地承载粪便容量的饱和程度。计算方法如下:

$$PI = Q/T_{N/P} \quad (5)$$

式中: PI 表示畜禽粪便污染风险指数, $PI > 2.0$ 说明农用地处于高污染风险等级; $> 1.0 \sim 2.0$ 属于较高

污染风险等级; $> 0.5 \sim 1.0$ 属于中污染风险等级; $> 0.25 \sim 0.50$ 属于低污染风险等级; < 0.25 处于无污染风险等级。

2 结果与分析

2.1 畜禽粪便及污染物产生与构成

2.1.1 空间分布特征 根据畜禽粪便、畜禽粪便污染物计算公式,结合畜禽养殖统计数据和第 1 次全国污染普查产污系数,获得如皋市各镇(街道)2017 年畜禽养殖业粪污产生空间分布特征(图 1)。如皋市 2017 年的畜禽粪便及其污染物全氮、全磷产生总量分别为 16.904 万、1.039 万、0.221 万 t。如皋市下辖 14 个镇(街道),西部及东部个别地区畜禽粪便污染物产生量相对较大,其中搬经镇最大,各畜禽粪便污染物产生量均居首位,以粪便为例,搬经镇的产生量是如城街道的 7.06 倍,这是由于其畜禽养殖量大造成的。其次贡献稍大的是城北街道、江安镇和白蒲镇。这 4 个镇(街道)畜禽粪便污染物产生量稳居如皋市前列,各粪便污染物产生总量占如皋市总产生量的比例分别高达 54.38%、55.63%、54.13%、54.57%,其根本原因是 4 个镇(街道)的肉猪养殖数量远超过其他镇(街道)。其余镇(街道)由西向东逐渐减少,其中如城街道的各畜禽粪便污染物产生量最小。城北街道与如城街道虽然在地理位置上相互靠近,但是畜禽粪便污染物产生量却相差甚远。可见,以镇(街道)为基本研究单元更能反映区域畜禽养殖粪便污染物的强空间差异性。

2.1.2 产生构成 由图 2 可知,肉猪畜禽粪便产生量最大,其次是蛋鸡和肉鸡,三者之和占总量的 89.88%,基本承载了如皋市畜禽粪便的排放。肉猪畜禽粪便污染物产生量占比最高,达到 68.17%(全氮),而母猪、奶牛、羊最高仅有 6.69%、1.49%、2.45%。如皋市肉猪和禽类养殖量大,从而导致其粪便污染物产生量高。而羊的养殖基量虽然大于奶牛,但是全氮产生量较小,这与奶牛的全氮日排放系数较大相关。

2.2 畜禽粪便污染物实际排放

按照畜禽粪便污染物排放公式,结合不同清粪方式和末端处理模式下各污染物的削减率以及如皋市 2017 年畜禽粪便的处理情况,获得如皋市各镇(街道)2017 年畜禽养殖业粪污排放量(表 4)。如皋市 2017 年的畜禽粪便污染物全氮及全磷排放总

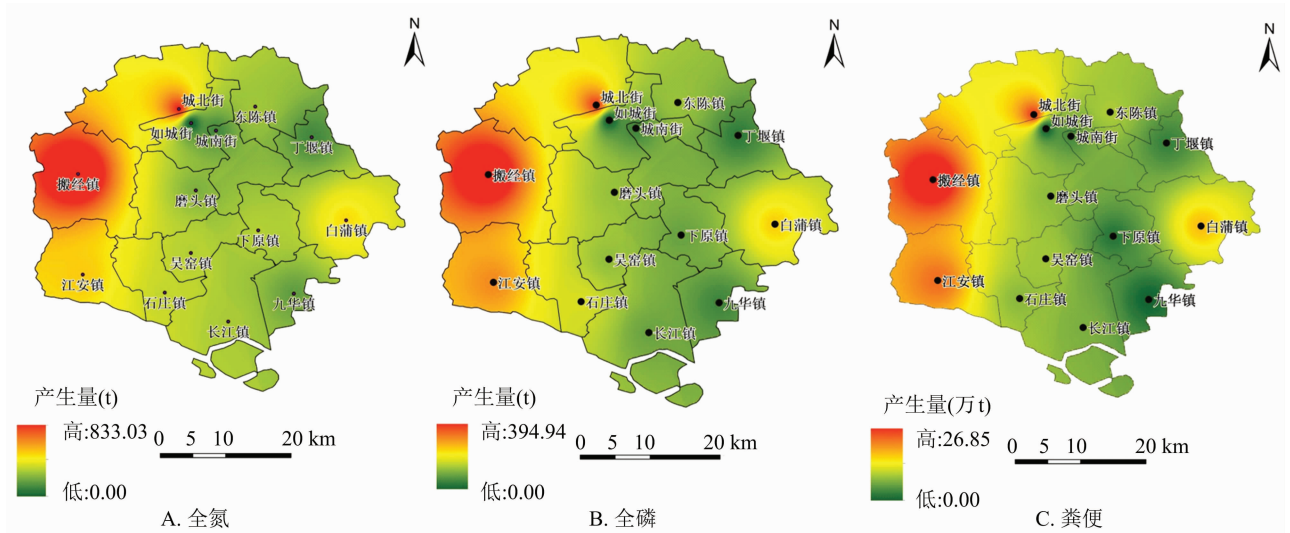


图1 2017 年如皋市畜禽粪便及污染物全氮、全磷、粪尿产生量分布

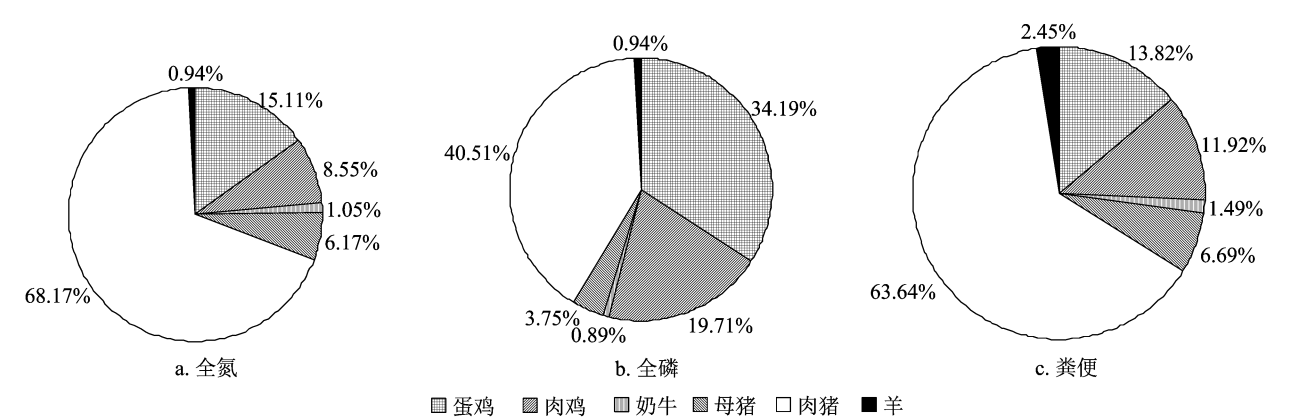


图2 2017 年如皋市各畜禽种类粪便、粪便污染物产生量占比

量分别为 0.615 万、0.131 万 t,经处理后分别较产生量减少了 0.424 万、0.090 万 t,这在一定程度上减轻了对环境的压力。搬经镇畜禽粪便污染物全氮排放量达 0.112 万 t,占 2017 年如皋市排放总量的 18.21%,位居如皋市 14 个镇(街道)之首。分析其原因发现,搬经镇养殖场虽然同其他镇(街道)一样,大多采用干清粪+粪污储存池的处理方式,但由于前端产生量大,因此其排放量也居于首位。

2.3 耕地负荷及污染评估

畜禽粪便有多种处理方式,由于受到交通运输、处理工艺等因素的影响,若没有足够的耕地去消纳它,其中的氮磷养分便得不到充分利用,将对环境造成一定的危害^[10],且耕地消纳了适量的畜禽粪便,能在一定程度上改善由于使用化肥而造成的环境污染问题。2017 年如皋市畜禽粪便处理主要采用干清粪结合粪污储存池的末端处理方式,经过一段时间的发酵作为有机肥料直接还田,以农田耕

表 4 2017 年如皋市各镇(街道) 畜禽粪便污染物排放量

镇(街道)	畜禽粪便污染物排放量(万 t)	
	全氮	全磷
如城街道	0.016	0.003
城北街道	0.089	0.020
城南街道	0.021	0.004
东陈镇	0.044	0.008
丁堰镇	0.024	0.004
白蒲镇	0.063	0.012
下原镇	0.024	0.007
九华镇	0.016	0.005
长江镇	0.040	0.007
石庄镇	0.031	0.010
江安镇	0.070	0.014
搬经镇	0.112	0.025
吴窑镇	0.032	0.006
磨头镇	0.033	0.007
如皋市	0.615	0.131

地面积作为负载面积,结合畜禽粪便污染物经过末端处理后的排放量计算获得单位耕地面积氮和磷的负荷量^[30](表 5)。对于畜禽粪便污染物全氮而言,全市平均负荷量达到 71.48 kg/hm²,低于其限量标准值 100 kg/hm²,全氮的耕地负荷并未超标。规模化畜禽养殖场为了便于运输,大多建在城市边缘地带,造成该类区域畜禽养殖基量较高,且没有足够的土地进行消纳,单位面积的土地畜禽污染物负荷量随之较高,甚至有超过限量标准值的危险。长江镇、江安镇、搬经镇的全氮负荷量分别达到 252.44、111.68、116.46 kg/hm²,其中长江镇的耕地负荷量是安全消纳临界点的 2.52 倍。对于全磷而言,其耕地负荷量为 15.23 kg/hm²,也低于耕地面积的承载量 35 kg/hm² 的安全消纳临界点,且长江镇、江安镇和搬经镇也相对较高。

为了更全面清晰地反映如皋市畜禽粪便污染物(全氮、全磷)耕地负荷对环境带来的污染,对该地区畜禽粪便污染物(全氮、全磷)农田负荷量承受程度进行风险评价(图 3)。2017 年如皋市畜禽粪便污染物全氮污染风险指数为 0.71,处于中污染风险等级,畜禽粪便污染物全磷处于低污染风险等级。整体来看,各镇(街道)畜禽粪便污染物(全氮、全磷)污染风险差异很大,其中南部地区的长江镇高污染指数突出,西部及中部地区紧随其后,北部部分地区尤其是如城街道风险指数较低;局部来看,如皋市畜禽粪便污染物全氮负荷仅有如城街道处于无污染风险等级,处于低污染风险等级的只有城北街道和九华镇,其他 11 个镇(街道)均处于中

表 5 2017 年如皋市各镇(街道)畜禽粪便污染物(全氮、全磷)耕地负荷

镇(街道)	畜禽粪便污染物耕地负荷量(kg/hm ²)	
	全氮	全磷
如城街道	22.30	4.18
城北街道	47.22	10.61
城南街道	62.00	11.81
东陈镇	70.28	12.78
丁堰镇	59.82	9.97
白蒲镇	80.57	15.35
下原镇	61.63	17.98
九华镇	42.33	13.23
长江镇	252.44	44.18
石庄镇	66.10	21.32
江安镇	111.68	22.34
搬经镇	116.46	26.00
吴窑镇	97.23	18.23
磨头镇	61.07	12.95
平均值	71.48	15.23

污染风险及以上等级,其中长江镇的污染风险指数较高,处于高污染风险等级;全磷负荷的污染风险较全氮而言整体偏低,但仍有 6 个镇(街道)的污染风险在中污染风险及以上等级。如果这些镇(街道)中的畜禽粪便不进行合理的处置,单位面积的耕地粪便、全氮、全磷负荷量过高,畜禽粪便污染物就可能通过土壤带来面源污染^[31],当地有关单位应采取相应的措施加以控制,避免其耕地负荷进一步加重。

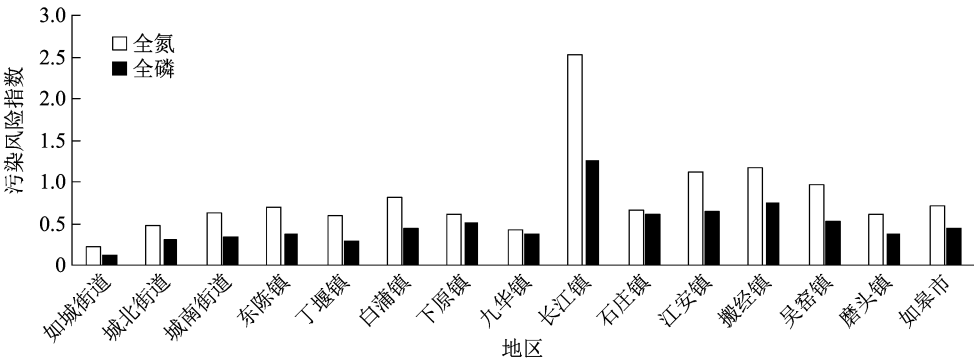


图3 2017 年如皋市畜禽粪便污染物全氮、全磷排放污染风险指数

3 结论

2017 年如皋市畜禽粪便及其污染物全氮、全磷产生总量分别为 1 6.904 万、1.039 万、0.221 万 t。各镇(街道)畜禽粪便污染物产生量差异较大。西

部及东部个别地区畜禽粪便污染物产生量相对较大,其中搬经镇最大,畜禽全磷产生量占全市的 17.88%,其次贡献稍大的是城北街道、江安镇和白蒲镇,其余镇(街道)由西向东逐渐减少,其中,如城街道的各畜禽粪便污染物产生量最小,仅占全市的

2.81%。可见,以镇(街道)为基本研究单元,更能反映区域畜禽养殖承载力的强空间差异性,能有效服务于畜禽养殖差别化管控策略和畜禽粪便处理措施制定。2017 年如皋市各类禽畜对畜禽粪便污染物的贡献大小依次是肉猪、蛋鸡、肉鸡、母猪、羊、奶牛,其中肉猪、蛋鸡和肉鸡三者之和占总量的 89.88%,主要是由三者的养殖基量大造成的。通过对如皋市畜禽粪便进行末端处理,2017 年如皋市的畜禽粪便污染物全氮及全磷排放总量分别为 0.615 万、0.131 万 t,削减率分别达到 40.84%、40.56%,如皋市畜禽养殖业应适当调整养殖模式。2017 年如皋市畜禽粪便污染物(全氮、全磷)的耕地负荷分别为 71.48、15.23 kg/hm²,均未超标,但长江镇、江安镇、搬经镇全氮超标,长江镇全磷超标,须引起重视;污染风险指数分别为 0.71、0.44。整体来看,各镇(街道)畜禽粪便污染物(全氮、全磷)污染风险差异很大;局部来看,长江镇污染风险指数最高,畜禽粪便污染物全氮排放已达到高污染风险等级,全磷处于较高污染风险等级。

参考文献:

- [1]杜天庆,时永杰.我国畜牧业环境问题及其合理解决措施初探[J].中兽医医药杂志,2003(增刊1):27-29.
- [2]李庆康,吴雷,刘海琴,等.我国集约化畜禽养殖场粪便处理利用现状及展望[J].农业环境保护,2000,19(4):251-254.
- [3]张继财.我国农业面源污染现状及防治对策研究[J].新农村(黑龙江),2014(14):44-44.
- [4]庄犁,周慧平,张龙江.我国畜禽养殖业产排污系数研究进展[J].生态与农村环境学报,2015,31(5):633-639.
- [5]丁疆华.广州市畜禽粪便污染与防治对策[J].环境科学研究,2000,13(3):57-59.
- [6]龚俊勇,彭小珍,廖新佛.广东省梅州市农地畜禽粪便环境风险评价[J].生态与农村环境学报,2011,27(3):25-28.
- [7]黄红英,常志州,叶小梅,等.区域畜禽粪便产生量估算及其农田承载预警分析——以江苏为例[J].江苏农业学报,2013,29(4):777-783.
- [8]刘培芳,陈振楼,许世远,等.长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策[J].长江流域资源与环境,2002,11(5):456-460.
- [9]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,1994,10(增刊1):6-11.
- [10]潘瑜春,孙超,刘玉,等.基于土地消纳粪便能力的畜禽养殖承载力[J].农业工程学报,2015,31(4):232-239.
- [11]刘峥延,毛显强,江河.“十四五”时期生态环境保护重点方向和策略[J].环境保护,2019,47(9):37-41.
- [12]江苏省统计局,国家统计局江苏调查总队.江苏省统计年鉴 2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [13]浙江统计局.浙江科技统计年鉴 2018[M].杭州:浙江大学出版社,2018:10-29.
- [14]国家统计局.中国统计年鉴 2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [15]朱荣.如皋市畜禽养殖废弃物资源化利用技术与模式推广[J].中国沼气,2018,36(6):112-115.
- [16]渠清博,杨鹏,翟中威,等.规模化畜禽养殖粪便主要污染物产生量预测方法研究进展[J].农业资源与环境学报,2016,33(5):397-406.
- [17]杜永红,王舜慧.如皋市畜禽粪污综合治理的探索与实践[J].中国畜牧兽医文摘,2015,31(12):7,24.
- [18]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.
- [19]环境保护部自然生态司.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.
- [20]董红敏,朱志平,黄宏坤,等.畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J].农业工程学报,2011,27(1):303-308.
- [21]黄文星.安徽省畜禽业污染源产排污特征与规律研究[D].合肥:安徽农业大学,2011.
- [22]苏文幸.生猪养殖业主要污染源产排污量核算体系研究[D].长沙:湖南师范大学,2012.
- [23]王俊能,许振成,吴根义,等.畜禽养殖业产排污系数核算体系构建[J].中国环境监测,2013(2):143-147.
- [24]隋元成.畜禽养殖场粪污处理的方式[J].当代畜牧,2015,326(10):62-63.
- [25]孙芳芳.畜禽养殖业粪污处理及资源化利用[J].中国畜禽种业,2015,11(2):35-36.
- [26]薛秀忠,迟宁.当前畜禽养殖业粪污处理的几种方式[J].中国畜禽种业,2012,8(9):26-26.
- [27]韦娅俐,田庆华,王维.四川省规模化畜禽养殖污染治理技术水平分析[J].四川环境,2015,34(4):57-62.
- [28]刘艳妮,马臣,于昕阳,等.基于不同降水年型渭北旱塬小麦-土壤系统氮素表现平衡的氮肥用量研究[J].植物营养与肥料学报,2018,24(3):569-578.
- [29]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.
- [30]张绪美,董元华,王辉,等.中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析[J].环境科学,2007,28(6):1311-1318.
- [31]陈海媛,张宝贵,吴树彪,等.大城市周边规模化畜禽养殖粪污的潜在环境污染与治理技术分析[C]//第四届全国农业环境科学学术研讨会,2011:541-547.