

西安市畜禽养殖结构及土地承载力分析

赵串串, 张 黎, 王 媛*, 高瑞梅, 马志峰

(陕西科技大学资源与环境学院, 西安 710021)

摘 要: 为了探究西安市畜禽粪便污染现状, 对各区县的农田耕地和水质进行环境质量评价。在确定畜禽粪便年排放量的估算方法和畜禽粪便排泄系数的基础上, 估算了 2012 年西安市畜禽粪便年产生量和主要污染物产生量。在了解各农业非点源污染成因的基础上, 针对不同的污染源, 提出了一些初步的控制对策和措施。结果表明, 2012 年西安市畜禽粪便总排放量约为 498.41 万 t, 其中牛和猪的排放量较高, 分别占总量的 46% 和 37%。畜禽粪便污染物 COD、TP 和 TN 产生量分别为 12.52 万 t、8950 t 和 2.8 万 t。西安市部分区县的农田耕地负荷警报值分别达到 II 级和 IV 级, 已不同程度的超过了当地农田耕地的消纳能力, 对环境构成污染威胁。畜禽粪便污染物入河情况十分严重, 各污染源中, 牛尿的污染率指数高达 33.5%; 各污染物中总氮和总磷的污染率指数分别为 52% 和 41.5%。部分地区的畜禽养殖已经对西安市环境构成污染。

关键词: 畜禽养殖; 农田耕地; 水质; 预警; 承载力

中图分类号: X21; X71

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)01-0134-06

Analyses of the livestock and poultry industry and the environmental carrying capacity in Xi'an

ZHAO Chuanchuan, ZHANG Li, WANG Yuan, GAO Ruimei, MA Zhifeng

(College of Resource and Environment, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021)

Abstract: The article was aimed to explore the current livestock and poultry waste pollution and to evaluate its impact on the farmland and water quality in different districts and counties in Xi'an. Based on the estimation method of the amount of livestock manure emissions and animal fecal excretion coefficients, we estimated the amount of the annual livestock manure and main pollutants in Xi'an in 2012. Based on the pollution causes of various agricultural non-point sources, we developed some preliminary control strategies and measures for different pollution sources. The result showed as follows: the total emission of livestock and poultry was about 4.9841 million tons, and the emissions of cattle and pigs relatively high, which accounted for 46% and 37% of the total in Xi'an in 2012. The COD, TN and TP were 125200 t, 8950 t, and 28000 t, respectively. The load alarm value of farmland reached grade IV and II. It has been beyond the absorptive capacity of the local farmland and caused a serious threat to the environment. The pollution of livestock and poultry manure was very serious, and the pollution rate of cow urine was 33.5%. The pollution rates of total nitrogen and total phosphorus were 52% and 41.5%, respectively. Livestock and poultry in some areas in Xi'an have already resulted in the pollution to the environment.

Key words: livestock and poultry industry; farmland; water quality; precaution; carrying capacity

随着经济社会的不断发展和物质生活水平的不断提高, 人们对畜产品的需求成倍增加, 使畜禽养

殖业成为农业发展的支柱产业之一。农村畜禽养殖业从分散的农户养殖逐步转向集约化、规模化的集

收稿日期: 2015-09-11

作者简介: 赵串串, 副教授。

* 通信作者: 王 媛。E-mail: wangyuan_410@sina.com

中养殖区, 呈现出分散的农户养殖、养殖大户和规模化集中养殖区并存的现象, 且养殖规模不断扩大、饲养数量快速增加^[1]。在畜禽养殖业高速发展的大环境下, 畜禽污染也随之增加。畜禽养殖业产生的大量畜禽粪便与污水已成为我国农村面源污染的主要来源, 在一些地区, 畜禽粪尿污染对环境的影响已超过居民生活、农用化肥、乡镇工业和餐饮业, 是造成许多重要水源地江河湖严重污染的主要原因之一^[2-3]。目前对于区域畜禽粪便产生量估算和环境效应已有很多报道^[4-9]。

近年来, 东部发达地区迫于环境保护的压力, 逐渐将畜禽养殖业西移, 西部地区养殖业因而快速发展, 畜禽粪便污染成为西部省份潜在的发展瓶颈亟待解决。陕西省作为我国西部农业大省, 原非传统的畜牧业区。近几年, 陕西调整产业结构, 重点扶持畜牧业, 目前畜牧业已成为陕西农业经济的主要产业。王缠石等^[10]对陕西省畜牧业规模化养殖发展现状进行研究。文凌^[11]对陕西省畜禽养殖污染进行调查并提出了环境监管的措施。朱建军等^[12]对陕西省畜禽粪便的时空分布和氮磷负荷进行研究。西安市作为陕西省的重要城市, 已经成为畜牧业发展的重点区域。随着养殖业的飞速发展, 大量畜禽粪便的无害化或资源化处理必将成为西安市畜牧业规

模化发展的基本前提, 目前有关西安市畜禽粪便的数量分布及利用情况的研究较为少见。因此, 开展西安市农村畜禽养殖污染研究, 探索经济适用的畜禽污染处理技术, 防治农村畜禽养殖污染, 是解决农村环境污染的重要手段之一^[13]。对保护农村环境, 实现畜禽废弃物的无害化处理、资源化利用, 保障畜禽养殖业可持续发展具有重要意义^[14]。

1 材料与方法

1.1 基础数据

畜禽养殖量数据来自《西安统计年鉴 2013》^[15], 该年鉴中统计了 2012 年末牛、猪、羊、家禽的头数。本研究主要考虑灞桥区、未央区、雁塔区、阎良区、临潼区、长安区、蓝天县、周至县、户县和高陵县 10 个区县。

1.2 参数确定

将猪、牛、羊和家禽的存栏量看作是当年中一个相对稳定的饲养量, 在未考虑饲养周期的前提下, 采用存栏量与日排泄系数(单个动物每天排出粪便的数量)计算粪便产生量^[16]。本研究所用的各类畜禽日排泄系数、畜禽粪便中污染物平均含量和入河系数均采用国家环保部公布的数据^[17](表 1 和表 2)。

表 1 畜禽日排泄系数及污染物参数

Table 1 Livestock daily excretion coefficients and parameters for contaminants

指标 Index	牛粪 Cattle manure	牛尿 Cattle urine	猪粪 Pig manure	猪尿 Pig urine	羊粪 Sheep manure	禽粪 Poultry manure
日排泄系数/kg d ⁻¹ Daily excretion coefficient	20	10	2	3.3	2.6	0.125
COD/kg t ⁻¹	31	6	52	9	4.63	45.7
TP/kg t ⁻¹	1.18	0.4	3.41	0.52	2.6	5.8
TN/kg t ⁻¹	4.37	8	5.88	3.3	7.5	10.4

表 2 畜禽粪便污染物进入水体的流失率

Table 2 Wastage rates of livestock waste delivered to rivers

污染物 Pollutant	牛粪 Cattle manure	猪粪 Pig manure	羊粪 Sheep manure	家禽粪 Poultry manure	牛猪尿 Urine
COD	6.16	5.58	5.50	8.59	50
TP	5.50	5.25	5.20	8.42	50
TN	5.68	5.34	5.30	8.47	50

表 3 各类畜禽粪便猪粪当量系数

Table 3 Equivalent coefficient of all kinds of livestock and poultry manure and pig manure

指标 Index	牛粪 Cattle manure	牛尿 Cattle urine	猪粪 Pig manure	猪尿 Pig urine	羊粪 Sheep manure	家禽粪 Poultry manure
N%	0.45	0.80	0.65	0.33	0.80	1.37
换算系数 Conversion factor	0.69	1.23	1.00	0.57	1.23	2.10

1.3 对农田耕地的影响分析

1.3.1 负荷估算 目前,我国畜禽粪便处理的主要方式是作为有机肥料直接还田。单位耕地面积上的畜禽粪污负荷量可用来间接衡量当地畜禽养殖污染状况。由于不同畜禽粪污的养分肥力差异较大,农田耕地对其的吸纳量也有较大差异^[18]。在计算耕地负荷量时,根据各类畜禽粪污不同的含氮量,将其换算成猪粪当量后叠加求和^[19]。本研究结合西安市实际情况对猪粪当量换算系数表进行修正^[20],得到各类畜禽粪污含氮量与其猪粪当量换算系数(表3)。估算公式为:

$$q = \frac{Q}{S} = \sum \frac{X T}{S} \quad (1)$$

式(1)中: q 为畜禽粪便猪粪当量负荷 ($t \text{ hm}^2 \text{ a}^{-1}$);

Q 为各类畜禽粪便猪粪当量总量 ($t \text{ a}^{-1}$); S 为有效耕地面积 (hm^2); X 为各类畜禽粪便量 ($t \text{ a}^{-1}$); T 为各类畜禽粪便换算成猪粪当量的换算系数。

1.3.2 负荷警报值分析 为全面了解各地农田耕地畜禽粪便负荷量是否过载以及对环境是否构成潜在的污染威胁。根据畜禽粪便负荷警报值分级标准^[21]进行评价(表4)。据沈体忠等^[22]的研究结果显示,畜禽粪便作为肥料用于农田的最大适宜施用量为 $45 t \text{ hm}^2 \text{ a}^{-1}$,若高出这一水平就会引起土壤的富营养化,对环境产生影响。估算公式为:

$$r = q/p \quad (2)$$

式(2)中: q 为畜禽粪便猪粪当量负荷 ($t \text{ hm}^2 \text{ a}^{-1}$); p 为有机肥理论最大适宜施用量 ($t \text{ hm}^2 \text{ a}^{-1}$)。

表 4 畜禽粪便负荷警报值分级

Table 4 Classification of livestock manure alarm values

r 区域 r region	≤ 0.4	$0.4 \sim 0.7$	$0.7 \sim 1.0$	$1.0 \sim 1.5$	$1.5 \sim 2.5$	> 2.5
对环境的威胁	I	II	III	IV	V	VI
Threat to the environment	无 Not	稍有 Slightly	有 Influential	较严重 Serious	严重 Grave	很严重 Very severe

1.4 对水质的影响分析

采用等标排放量污染率指数法对各种污染源的污染负荷进行评价^[23],评价因子为 COD、TN 和 TP。

$$P_i = Q_i/S_i \quad K_i = P_i/\sum P_i \quad (3)$$

式(3)中: Q_i 为 i 污染物排入水环境的量($t \text{ a}^{-1}$); S_i 为评价标准 (mg L^{-1}),由于西安市水质功能标准区划中 57%为III类水标准,本论文采用 GB3838-2002 三类水标准(COD 为 20 mg L^{-1} , TN 为 1.0 mg L^{-1} , TP 为 0.2 mg L^{-1})^[24]; P_i 为 i 污染物的等标排放量 ($10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$); K_i 为污染率指数 (%)。

305.11 万 t, 尿液为 193.30 万 t, 粪尿合计为 498.41 万 t。从不同畜禽种类年粪便量看,牛的排放量最大,为 230.85 万 t, 占总排放量的 46%;其次是猪和家禽,为 186.88 万 t 和 53.69 万 t, 分别占总排放量的 37%和 11%;羊最少,为 27.01 万 t, 仅占 5%。可见西安市畜禽养殖粪便排放主要集中在养牛业和养猪业。

从各区域的不同养殖情况可以比较得知,临潼区的畜禽粪便排泄量最大,为 150.13 万 t, 占总排放量的 30.1%, 周至县和蓝田县畜禽粪便产生量较大,为 79.11 万 t 和 78.26 万 t, 分别占总排放量的 15.9%和 15.7%。畜禽粪便污染物 COD 年排放量为 12.52 万 t, 污染物 TP 年排放量为 8950 t, 污染物 TN 的年排放量为 2.8 万 t。临潼区的污染物产生量最大,其次是周至县和蓝田县。

2 结果与分析

2.1 粪便污染物产生量

由表 5 和图 1 可知, 畜禽养殖排放的粪量为

表 5 畜禽粪便产生量

Table 5 The amount of livestock manure

指标 Index	灞桥区 Baqiao	未央区 Weiyang	雁塔区 Yanta	阎良区 Yanliang	临潼区 Lintong	长安区 Chang'an	蓝田县 Lantian	周至县 Zhouzhi	户县 Huxian	高陵县 Gaoling	合计 Total	
牛 Cattle	粪 Feces	92834	41384	1606	129860	529162	53567	322478	226782	80957	59349	1538979
	尿 Urine	46917	20692	803	64930	264581	26784	161239	113391	40479	29675	769489
猪 Pigs	粪 Feces	36636	20168	0	27868	185274	76478	59078	150207	111606	37879	705193
	尿 Urine	60449	33277	0	45982	305702	126188	97479	247842	184150	62500	1163569
羊 Sheep	粪 Feces	11363	541	0	51830	93203	13935	67343	11431	6277	14159	270082
家禽 Poultry	粪 Feces	19970	2920	1141	28237	123416	130989	75012	41455	61731	52013	536883

2.2 农田耕地承受度的警报分级

本研究采用《西安统计年鉴 2013》中公布的各区县年末实有耕地面积作为负载面积，估算得出各区县农田耕地畜禽粪便负荷量。

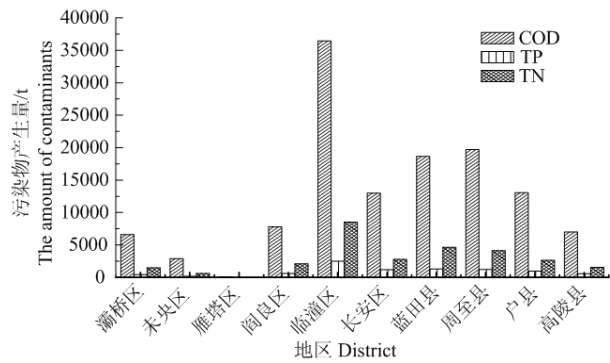


图 1 各区县污染物产生量

Figure 1 The amount of contaminants from the ten districts and counties

从表 6 可以看出，西安市各区县农田耕地畜禽粪便猪粪当量负荷平均值为 22.95 t hm⁻²，但是不同区县之间差异很大，未央区猪粪当量负荷最大，为 66.47 t hm⁻²，其次为临潼区和灞桥区，分别为 29.84

和 23.33 t hm⁻²，雁塔区的猪粪当量负荷最小，为 7.96 t hm⁻²。最大负荷量和最小负荷量之间相差 8.35 倍。农田耕地畜禽粪便负荷量的大小可以间接反映一个地区畜禽的饲养密度，各区县的畜禽饲养密度存在较大差异，且与当地的自然条件和经济发展水平以及饲养习惯等有着密切联系^[25]。虽然未央区的猪粪总量不大，但是单位耕地面积猪粪当量负荷是最大的。由此可知，未央区的畜禽饲养密度最大。

根据警报值分析结果可知，未央区警报值最大为 IV 级，已对环境造成较严重的威胁。其中警报值达到 II 级，对环境构成威胁的有 4 个区县，分别为：阎良区、临潼区、蓝田县和周至县。灞桥区、雁塔区、长安区、户县和高陵县等 4 个区县的农田耕地畜禽粪便负荷警报级别为 I 级，对环境暂未构成威胁。

由此可见，西安市 50% 的区县畜禽粪便负荷量已不同程度的超过了当地农田耕地的消纳能力，对环境构成污染威胁。未央区、阎良区、临潼区、蓝田县和周至县等区县中密集的畜禽养殖场对西安市环境及流域水质直接构成污染威胁。

表 6 农田耕地畜禽粪便负荷量

Table 6 Load capacity of farm livestock manure

区域 District	猪粪总量/10 ⁴ t The total amount of manure	年末常用耕地面积/hm ² Cultivated area year-end	单位耕地面积猪粪当量负荷/t hm ⁻² Unit of arable land equivalent load of pig manure	警报值 Alarm value	级数 Series
灞桥区 Baqiao	24.52	10511	23.33	0.52	I
未央区 Weiyang	9.76	1468	66.47	1.48	IV
雁塔区 Yanta	0.45	564	7.96	0.18	I
阎良区 Yanliang	34.34	15792	21.74	0.48	II
临潼区 Lintong	14.02	46994	29.84	0.66	II
长安区 Chang'an	50.17	44219	11.35	0.25	I
蓝田县 Lantian	76.9	40400	19.03	0.42	II
周至县 Zhouzhi	67.12	33257	20.18	0.45	II
户县 Huxian	44.67	38160	11.71	0.26	I
高陵县 Gaoling	27.32	15244	17.92	0.4	I

表 7 各类畜禽粪便污染源综合评价结果

Table 7 Evaluation results of all kinds of livestock manure pollution

污染物 Pollutant	COD/t a ⁻¹	TP/t a ⁻¹	TN/t a ⁻¹	P _i /×10 ⁶ m ³ a ⁻¹	K _i /%
牛粪 Cattle manure	2938.83	99.88	382.00	1028.34	8.70
牛尿 Cattle urine	2308.47	153.90	3077.96	3962.88	33.52
猪粪 Pig manure	2046.19	126.25	221.43	954.99	8.08
猪尿 Pig urine	5236.06	302.53	1919.89	3694.34	31.25
羊粪 Sheep manure	68.78	36.52	107.36	293.40	2.48
家禽粪 Poultry manure	2107.60	262.19	472.93	1889.26	15.96

合计 Total	14705.93	981.27	6181.57	11823.22	100.00
----------	----------	--------	---------	----------	--------

2.3 对水质影响的评价

选取 COD、总氮和总磷为分析指标,前者代表耗氧物质,后两项为富营养物质。由表 7 可知,2012 年西安市畜禽养殖造成的 COD、TP 和 TN 流失量分别为 14705.93 t、981.27 t 和 6181.57 t。2012 年 COD、TP 和 TN 平均入河流失率分别为 11.7%、11.0% 和 21.7%。以 GB 3838-2002 三类水为评价标准,评价结果表明,牛尿的 P 值最高,占总 P 值的 33.5%,其次是猪尿为 31.3%,第三位是家禽为 16%。

表 8 的数据表明,西安市各区县中,临潼区的污染率指数最高,占总 P 值得 29.4%,其次是周至县和蓝田县分别为 16% 和 15%。由表 9 三污染物的等标排放量结果可知,虽然 COD 的年排放量最大,达 14705.93 t/a,但 P 值最小,仅为 6%。总氮和总磷的污染率指数很高,分别为 52% 和 41.5%。

综上可知,畜禽养殖粪便污染物入河流失情况十分严重,尤其是总氮的流失率已经达 22%,污染率指数最高为 52%。

表 8 各区县畜禽粪便污染物综合评价结果

Table 8 Comprehensive evaluation results of the county livestock manure pollutants

区域 District	进入水环境的污染物/t a ⁻¹ Contaminant entered into water environment			$P_i / \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$	$K_i / \%$
	COD	TP	TN		
灞桥区 Baqiao	779.55	49.04	344.31	628.49	5.32
未央区 Weiyang	360.97	20.59	157.07	278.07	2.35
雁塔区 Yanta	9.95	0.82	4.62	9.22	0.08
阎良区 Yanliang	854.6	59.16	422.05	760.58	6.43
临潼区 Lintong	4225.7	272.78	1898.02	3473.21	29.38
长安区 Chang'an	1490.16	121.19	473.58	1154.04	9.76
蓝田县 Lantian	2021.21	134.84	997.23	1772.49	14.99
周至县 Zhouzhi	2490.01	150.52	1007.02	1884.12	15.94
户县 Huxian	1672.47	112.2	577.77	1222.39	10.34
高陵县 Gaoling	801.3	60.13	299.89	640.61	5.42
合计 Total	14705.92	981.26	6181.56	11823.16	100

表 9 三项指标的等标排放量

Table 9 Equivalent standard discharge amount of 3 pollutants

项目 Project	COD	TP	TN	总计 Total
$Q / \text{t a}^{-1}$	14705.93	981.27	6181.56	21868.76
$P_i / \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$	735.3	4906.35	6181.56	11823.21
$K_i / \%$	6.22	41.5	52.28	100

3 结论

通过对西安市 2012 年各区县畜禽粪便污染物的排放量和入河量的估算,分析畜禽粪便污染物对农田耕地和水质的影响,得到如下结果:

(1) 西安市畜禽粪便污染物 COD 年排放量为 125253 t, 污染物 TN 年排放量为 8950 t, 污染物 TP 的年排放量为 28477 t。临潼区的污染物产生量最大,其次是周至县和蓝田县。

(2) 西安市各区县农田耕地畜禽粪便猪粪当量负荷平均值为 22.95 t/hm²,但是不同区县之间差

异很大。全市已经有阎良区、临潼区、蓝田县和周至县等 4 个区县的农田耕地负荷警报值达到 II 级,对环境构成威胁。未央区警报值最高,达到 IV 级,已经对环境构成较严重的威胁。

(3) 水质评价结果表明,各污染源中,牛尿的污染率指数最高,为 33.5%,其次是猪尿为 31.3%,第 3 位是家禽为 16%。各区县中,临潼区的污染率指数最高,占总 P 值的 29.4%,其次是周至县和蓝田县分别为 16% 和 15%。三污染物中总氮和总磷的污染率指数比 COD 高,分别为 52% 和 41.5%。

因此,根据西安市畜禽粪便污染的特点,畜禽粪便处理政策应该从以下方面考虑:

第一,以预防为主,提高农户对污染的认知程度、政府给予一定的相关信息技术支持和污染治理补贴,这样可以有效提高农户畜禽粪便资源化处理的意愿,并促使其转化为畜禽粪便资源化处理行为。

第二,从技术层面上看,推广畜禽粪便处理的适宜技术。对于警报值为I级的地区,应做好畜禽粪便的还田利用工作。对于警报值为IV级和II级的地区,必须严格控制畜禽粪便产生量,降低畜禽污染排放,采用厌氧发酵生产沼气的办法,减少各区县的畜禽污染物产生量。通过建沼气池,既解决了村庄环境问题,又解决了村庄能源问题,一举两得。

受产业布局的影响,2012年西安市畜禽粪便产生量较高的地区主要集中在西安市南部,尤其是蓝田县和周至县;不同地区各类畜禽粪便比重有较大差异。随着畜禽养殖业的快速发展,畜禽粪便的产生造成严重的环境污染。西安市畜禽粪便处理政策的制定应以预防为主,从技术和区域公平等角度加以综合考虑。

参考文献:

- [1] 江传杰,王岩,张玉霞. 畜禽养殖业环境污染问题研究[J]. 河南畜牧兽医, 2004, 25(12): 33-35.
- [2] 李飞,董锁成. 西部地区畜禽养殖污染负荷与资源化路径研究[J]. 资源科学, 2011, 33(11): 2204-2211.
- [3] CENTNER T J. Developing institutions to encourage the use of animal wastes as production inputs[J]. Agriculture and Human Values, 2004, 21(4): 367-375.
- [4] MALLIN M A, CAHOON L B. Industrialized animal production- A major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems[J]. Population & Environment, 2003, 24(5): 369-385.
- [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: 1-3.
- [6] SHEN Z Y, LIAO Q, HONG Q, et al. An overview of research on agricultural non-point source pollution modeling in China[J]. Separation and Purification Technology, 2012, 84(5): 104-111.
- [7] 彭里,王定勇. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 288-292.
- [8] 郭瑞敏. 辽河流域吉林省部分畜禽养殖污染的负荷估算与好氧堆肥研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014: 15-20.
- [9] 朱梅. 海河流域农业非点源污染负荷估算与评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011: 63-83.
- [10] 王缠石,王韵,芦刚. 陕西省畜牧业规模化养殖发展现状与探索[J]. 畜牧兽医杂志, 2011, 30: 54-56.
- [11] 文凌. 陕西省畜禽养殖污染调查及环境监管[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [12] 朱建春,李荣华,杨香云,等. 陕西畜禽粪便的时空分布氮磷负荷及利用策略[J]. 可再生能源, 2012, 30(12): 117-121.
- [13] ZHANG D W, XU H, WANG G. Study on the pollution in Yellow River[J]. Basin Chinese Yellow River, 2003, 25(10): 12-14.
- [14] 郭新芳,朱跃成,郭建平. 畜禽粪便综合利用与资源节约型生态农业技术研究[J]. 农业现代化研究, 2009, 30(5): 603-605.
- [15] 西安市统计局,国家统计局西安调查队. 西安统计年鉴(2013)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [16] 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.
- [17] 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其防治对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000: 12-20.
- [18] 景栋林,陈希萍,于辉,等. 佛山市畜禽粪便排放量与农田负荷量分析[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(1): 108-111.
- [19] HOAR B R, ATWILL E R, FARVER T B. Estimating maximum possible environmental loading amounts of *Cryptosporidium parvum* attributable to adult beef cattle[J]. Quantitative Microbiology, 2000(2): 21-36.
- [20] 陈生婧. 陕西省畜禽粪便污染及氮磷负荷时空分布特征研究[D]. 西安: 长安大学, 2013: 43-44.
- [21] 刘红艳. 河北省畜禽粪便负荷与警报分级[J]. 农业环境与发展, 2007, 24(1): 75-77.
- [22] 沈体忠,王业鹏,雷代英,等. 武汉城市圈农田畜禽粪便负荷量估算与预警分析-以天门市为例[J]. 湖南农业科学, 2009, 12(2): 134-136.
- [23] 钱秀红. 杭嘉湖平原农业非点源污染的调查评价及控制对策研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2001: 11-14.
- [24] 国家环境保护总局. GB3838-2002 地面水环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [25] 王方浩,马文奇,窦争霞,等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614-617.