

# 河南省沙颍河流域畜禽养殖污染负荷研究

席磊, 程璞, 邓红雨, 刘太宇

(河南牧业经济学院, 河南 郑州 450011)

**摘要:** 为了解河南省沙颍河流域畜禽养殖业对环境的污染状况, 在流域内平顶山、漯河、许昌、郑州、周口 5 市所辖区域选择猪、鸡、牛的典型养殖场, 分季节采集污水和粪尿, 进行化学需氧量(COD)、氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )含量检测, 计算排污系数, 结合各市耕地面积, 估算畜禽粪便耕地负荷, 采用畜禽粪便负荷警报分级方法评价畜禽养殖环境污染状况。结果表明: 沙颍河流域内畜禽养殖量占河南省畜禽养殖总量的 25.19%, 畜禽个体排污系数以牛最大, 其次是猪、鸡, 流域内年产生畜禽污染物总量为 7 529.414 万 t, 各市畜禽污染物产生量大小依次为: 周口、平顶山、许昌、郑州、漯河; 流域内单位耕地面积平均畜禽粪便负荷为 33.07 t/hm<sup>2</sup>,  $\text{NH}_3\text{-N}$  耕地负荷为 43.47 kg/hm<sup>2</sup>; 畜禽粪便负荷警报值在 0.51~1.19, 警报值级别为 II~IV 级, 其中以平顶山最为严重。说明河南省沙颍河流域内 5 市的畜禽养殖污染物已经对环境构成了不同程度的污染。

**关键词:** 沙颍河流域; 畜禽养殖; 排污系数; 污染负荷; 警报值

中图分类号: S811.7 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2014)10-0135-06

## Study on Pollution Load of Livestock Industry in Shaying River Watershed of Henan

XI Lei, CHENG Pu, DENG Hong-yu, LIU Tai-yu

(Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450011, China)

**Abstract:** In order to investigate the pollution status of livestock industry in Shaying river basin which is located in Henan province, the research selected typical livestock farms in Pingdingshan, Luohe, Xuchang, Zhengzhou and Zhoukou within the basin. Waste water and feces were collected seasonally. The COD and ammoniacal nitrogen content were detected, so that the discharge coefficient could be calculated. Combining with the scale of livestock and arable area of the cities, the amount of livestock excrements and farmland pollution load were calculated. Then the pollution status of livestock and poultry breeding industry of existing scale was evaluated according to feces load alarm classification method. Combined with the local effective cultivated area of Henan statistical yearbook, the pre-warning value was used to evaluate the assessment for pollution situation of livestock industry. The results showed that the amounts of livestock industry within Shaying river basin made up 25.19% of all in Henan. The discharge coefficient of cattle is the largest, followed by pig and chicken. There were 75.294 14 million tons livestock manure from breeding per year. Zhoukou tops the list of pollutants production of five cities, followed by Pingdingshan, Xuchang, Luohe and Zhengzhou. The average waste loading of livestock within the basin was 33.07 t/ha; The average ammoniacal nitrogen loading was 43.47 kg/ha. The pre-warning value of livestock manure load in five cities were 0.51—1.19 respectively, while the

收稿日期: 2014-05-15

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07010-004)

作者简介: 席磊(1971-), 男, 河南商丘人, 副教授, 博士, 主要从事畜禽健康养殖与环境控制工作。E-mail: xileihn@163.com

alert level of them were II—IV. In conclusion, the environment of Shaying basin has been polluted in varying degrees.

**Key words:** Shaying river basin; animal husbandry; discharge coefficient; waste load; pre-warning value

畜牧业在农业中的比重达到 50% 以上是农业现代化的重要标志之一<sup>[1]</sup>。但畜牧业的快速发展引起的环境污染已成为制约畜牧业发展的瓶颈。畜禽生产的清粪冲洗及粪便露天堆放,致使一些污染物进入水体<sup>[2]</sup>,造成地下水和地表水质量下降<sup>[3-6]</sup>,危及农产品安全,破坏生态环境<sup>[7-8]</sup>。研究表明,饲养 1 头猪、1 头牛、1 只鸡,每年所产生的粪污、臭气的污染负荷,分别相当于 8~10 人、30~40 人、5~7 人的污染排放量<sup>[9]</sup>。

沙颍河流域是淮河流域的最大支流,流经河南省平顶山、漯河、许昌、郑州、周口等 5 个主要省辖市,是河南省粮食核心区的主要组成部分。近年来,这 5 市的规模化畜禽养殖场和养殖小区越来越多,截至 2009 年底,该流域已有集约化畜禽养殖场 1 000 余个,在河南省畜牧业中占有重要地位<sup>[10]</sup>。超负荷的畜禽养殖对沙颍河流域环境的污染,不仅破坏淮河流域的生态系统,而且造成巨大的经济损失,影响区域的和谐发展。目前,我国多个地区已经开展了有关畜禽养殖分布和畜禽粪便污染负荷评估的研究,但多局限于以省为研究界限、以市为研究单元<sup>[11-15]</sup>,且有关河南省境内的沙颍河流域沿线畜禽污染负荷的研究尚未见报道。本研究以河南省境内的沙颍河流域作为研究区域,通过对流域内畜禽养殖场(小区)的养殖规模、主要污染物产生量以及排放量进行调研统计,测算畜禽养殖排污系数,并结合当地有效耕地面积,采用畜禽粪便耕地负荷警报值,对沙颍河流域内畜禽养殖污染状况进行评价,旨在为制订流域内畜禽养殖污染治理与规模养殖政策、建立畜禽养殖环境准入规范提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 数据收集

采用实地调查和收集查阅资料的方法对沙颍河流域规模化畜禽养殖场、养殖小区和一些散养农户分别进行调查,了解养殖规模、粪污排放情况等。

### 1.2 样品采集

畜禽养殖场污水、粪便等样品的采集方法均参照文献<sup>[20]</sup>进行。2011 年 6 月至 2012 年 5 月,在平顶山、漯河、许昌、郑州、周口分别选择典型的猪、鸡、牛 3 个畜种的规模化养殖场、养殖小区和养殖专业户各 2 个,为了考虑季节和稳定运行的影响,分

春、夏、秋、冬 4 个季节对各监测点的污水、粪便进行采样,每季节连续采样 5 d,保证 3 d 有效采样,污水与粪便样品每天上午和下午各采样一次。为了采样的代表性,将每天上、下午分别收集的动物鲜粪便、污水混合均匀共取 3 个样品(其中固体粪便 2 个,污水样品 1 个),每个固体粪便样品约 0.5 kg,每个污水样品约 0.5 L,分头收集动物尿液。所有样品送河南省高校动物营养与饲料检测中心进行测试分析。采样同时详细记录采样畜种的数量及生长情况、污水及粪便产量。

### 1.3 检测指标

水污染物的检测指标包括污水产生量、化学需氧量(COD)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)含量等;固体污染物检测指标包括粪便产生量、含水率、全氮含量等。各指标检测方法为:COD 采用重铬酸钾法测定,NH<sub>3</sub>-N 含量采用蒸馏滴定法测定,含水率采用真空烘箱法测定,全氮含量采用有机肥料中全氮含量测定法进行测定。

### 1.4 畜禽养殖排污系数计算

按照《全国畜禽养殖业源产排污系数测算实施方案》从基础调查入手,采用典型养殖类型监测和理论计算相结合的方法,周年监测采样点的粪便和污水的产量及其特征污染物种类、浓度等,畜禽养殖排污系数参照文献<sup>[20]</sup>中的公式进行计算,公式如下:

$$FD_{i,j,k} = [QF_{i,j} \times CF_{i,j,k} \times (1 - \eta_F) + QU_{i,j} \times CU_{i,j,k}] \times (1 - \eta_{T,k}) \times (1 - \frac{WU}{WP}) + QF_{i,j} \times CF_{i,j,k} \times \eta_F \times (1 - \eta_U)$$

其中, $FD_{i,j,k}$ 为排污系数,mg/(头·d); $QF_{i,j}$ 为粪产量,kg/(头·d); $CF_{i,j,k}$ 为第*i*种动物第*j*生产阶段粪便中第*k*种污染物的含量,mg/kg; $\eta_F$ 为粪便收集率,%; $QU_{i,j}$ 为尿液产量,L/(头·d); $CU_{i,j,k}$ 为第*i*种动物第*j*生产阶段尿中含有第*k*种污染物的质量浓度,mg/L; $\eta_{T,k}$ 为第*k*种污染物处理效率,%; $WU$ 为污水利用量,m<sup>3</sup>/d; $WP$ 为污水产生量,m<sup>3</sup>/d; $\eta_U$ 为粪便利用率,%。

### 1.5 畜禽粪便负荷估算

为了便于不同畜种进行统一分析比较,采用畜禽单元(AU)对畜禽养殖数据进行标准化换算,每个畜禽单元等于 454 kg 畜禽活体质量<sup>[21-22]</sup>。按照文献<sup>[9]</sup>的方法将不同生长时期、不同种类的禽畜,

转换为已知排泄系数猪的相应量,进行畜禽粪污产生量估算。按照文献[23]的方法估算沙颍河流域各市畜禽粪便耕地负荷,计算公式为: $q=Q/S$ ,式中 $q$ 为畜禽粪便耕地负荷 $[\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})]$ , $Q$ 为当地当年产生畜禽粪污总量 $(\text{t}/\text{a})$ , $S$ 为耕地面积 $(\text{hm}^2)$ 。一般畜禽污染物流失率为 $30\%\sim 40\%$ [24],本研究按照 $30\%$ 估算畜禽污染物流失污染负荷。

1.6 警报分级

畜禽粪便负荷警报值( $R$ )与分级标准[20]见表1。 $R=Q/P$ ,其中 $Q$ 为单位面积土地畜禽粪便负荷,单位 $\text{t}/\text{hm}^2$ ;  $P$ 为单位面积土地最大畜禽粪便负荷,单位 $\text{t}/\text{hm}^2$ 。一般认为,每公顷土地能够负荷的畜禽粪便在 $30\sim 45\text{ t}$ ,根据河南省复种指数较高的特点,取最高限度 $45\text{ t}$ [26]。

表 1 畜禽粪便耕地负荷警报值与分级

项目	$\leq 0.4$	$0.4\sim 0.7$	$0.7\sim 1.0$	$1.0\sim 1.5$	$1.5\sim 2.5$	$>2.5$
分级	I	II	III	IV	V	VI
对环境的影响	无影响	稍有影响	较显著	严重	很严重	恶化

2 结果与分析

2.1 畜禽饲养规模

通过调研获得的 2011 年沙颍河流域 5 个省辖市

畜禽养殖状况见表2。由表2可以看出,沙颍河流域5市的畜禽养殖总量较大,占河南省畜禽养殖量的 $25.19\%$ 。在所有的畜禽中,以家禽的养殖数量最大,其次是猪,分别占河南省家禽和生猪养殖量的 $25.03\%$ 和 $29.37\%$ 。

表 2 2011 年沙颍河流域畜禽养殖状况

地区	总计/万头 (只)	大牲畜/万头					猪/ 万头	羊/ 万头	家禽/ 万只	兔/ 万只
		合计	牛	马	驴	骡				
郑州	3 000.8	27.30	24.73	0.49	1.30	0.78	146.63	46.83	2 703.46	76.59
平顶山	3 315.7	83.98	80.35	1.43	1.62	0.58	236.88	105.25	2 829.46	60.09
许昌	2 992.4	52.71	49.09	0.93	1.83	0.86	235.00	82.75	2 538.45	83.44
漯河	2 183.0	14.00	13.03	0.35	0.33	0.29	173.64	20.89	1 762.59	211.92
周口	5 163.3	105.11	103.97	0.35	0.50	0.29	436.93	256.67	4 220.07	144.51
合计	16 655.20	283.10	271.17	3.55	5.58	2.80	1 229.08	512.39	14 054.03	576.55
河南省*	66 117.70	1 081.93	1 030.80	15.71	26.89	8.60	4 185.50	1 940.90	56 149.10	2 760.27

注: \* 数据来自于 2012 年 10 月河南省畜牧局编制的《2011 年河南省市、县畜牧业生产情况及主要生产指标排序》。

2.2 畜禽养殖排污系数

畜禽污染物排放系数,简称排污系数,是指在典型的正常生产和管理条件下,单个畜禽每天产生的原始污染物经处理设施削减或利用后,或未经处理和利用而直接排放到环境中的污染物质[20]。由表3可以看出,各种动物个体排出的各类污染物中,粪便、尿、COD 以及污水量均以牛最大,其次是生猪,再次是家禽;日均 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的排出量依次为生猪>家禽>牛。与畜禽养殖业污染物排放标准(GB 18596—2001)[25]中的规定相比,牛的单位污水排放量比规定中的水冲工艺夏季最高允许排水量( $3.0\text{ m}^3/\text{头}$ )高 $1.66$ 倍;生猪的单位污水排放量与规定中的水冲清粪冬季最高排水量( $2.5\text{ m}^3/\text{头}$ )相接近,是标准中规定干清粪夏季最高允许排水量( $1.8\text{ m}^3/\text{头}$ )的 $1.38$ 倍;家禽

由于采用厚垫料养殖工艺,单位污水排放量远远低于标准规定。

表 3 畜禽养殖日均排污系数

污染物	生猪	牛	家禽
粪便/(g/头)	1 727.78	31 653.33	106.70
尿/(g/头)	2 123.33	17 040.00	
COD <sub>Cr</sub> /(g/头)	15.23	27.57	7.13
NH <sub>3</sub> -N/(g/头)	1.59	0.24	1.35
污水/(m <sup>3</sup> /万头)	24 912	4 982.43	0.42

2.3 畜禽养殖污染物产生量

由表4可以看出,2011 年沙颍河流域内年产生畜禽养殖污染物总量为 $7\,529.414$ 万 $\text{t}$ ,其中年排粪量为 $4\,680.314$ 万 $\text{t}$ ,占排放总量的 $62.160\%$ ;年排

表 4 沙颍河流域 2011 年畜禽养殖染污物产生量

项目	畜禽	地区				
		郑州	平顶山	许昌	漯河	周口
粪/(万 t/a)	猪	98.377	162.661	158.637	112.139	307.919
	牛	315.410	970.260	608.983	161.749	1 214.385
	禽	108.270	112.535	102.111	76.898	169.981
合计/(万 t/a)		522.057	1 245.456	869.731	350.786	1 692.284

续表 4 沙颍河流域 2011 年畜禽养殖染污物产生量

项目	畜禽	地区				
		郑州	平顶山	许昌	漯河	周口
尿/(万 t/a)	猪	120.899	199.900	194.955	137.812	378.412
	牛	169.795	522.322	327.835	87.074	653.742
合计/(万 t/a)		290.694	722.222	522.790	224.886	1 032.154
COD/(万 t/a)	猪	0.867	1.434	1.398	0.988	2.714
	牛	0.275	0.845	0.530	0.141	1.058
	禽	7.235	7.520	6.823	5.139	11.359
合计/(万 t/a)		8.377	9.799	8.752	6.268	15.131
NH <sub>3</sub> -N/(万 t/a)	猪	0.091	0.150	0.146	0.103	0.283
	牛	0.002	0.007	0.005	0.001	0.009
	禽	1.374	1.428	1.295	0.976	2.156
合计/(万 t/a)		1.467	1.585	1.446	1.080	2.449
污水/(m <sup>3</sup> /a)	猪	1 417.770	2 344.197	2 286.212	1 616.099	4 437.587
	牛	4 964.314	15 271.175	9 584.945	2 545.802	19 113.518
	禽	40.589	42.187	38.280	28.828	63.723
合计/(m <sup>3</sup> /a)		6 422.672	17 657.559	11 909.436	4 190.729	23 614.830

尿量为 2 792.746 万 t,占 37.091%;年产生 COD 量为 48.327 万 t,占 0.642%;年产生 NH<sub>3</sub>-N 量为 8.027 万 t,占 0.107%。畜禽污染物产生量大小依次为:周口>平顶山>许昌>郑州>漯河。

#### 2.4 畜禽养殖粪便负荷估算

畜禽粪便负荷量是指单位面积农田承载的畜禽粪污量,间接衡量一个地区畜禽饲养密度及畜禽养殖业布局合理性的重要指标<sup>[27]</sup>。畜禽粪便负荷警报值  $R$  间接反映各地区畜禽粪便负荷承受程度,随着  $R$  值的增大,环境对畜禽粪便负荷量承受能力逐渐降低,畜禽粪便对环境造成的污染威胁性越来越大。估算结果显示(表 5),沙颍河流域内的单位耕地

面积平均粪负荷为 33.07 t/hm<sup>2</sup>,平均 NH<sub>3</sub>-N 负荷为 43.47 kg/hm<sup>2</sup>;平均污染负荷警报值为 0.73,警报级别为Ⅲ级,对环境有较显著影响。其中,平顶山地区污染警报值最大为 1.19,已经处于Ⅳ级水平,畜禽粪便已经对环境构成严重威胁;其次是许昌地区,警报值为 0.83,处于Ⅲ级水平;郑州地区污染最小,处于Ⅱ级。此外,畜禽养殖大量粪污产生的同时,也产生了大量的 COD、NH<sub>3</sub>-N 等污染物,根据表 4 数据,以流失率 30%计算,则 2011 年沙颍河流域内 5 省辖市畜禽粪污的流失污染负荷为 2 258.824 万 t,其中 COD 流失污染负荷为 14.50 万 t,NH<sub>3</sub>-N 流失污染负荷为 2.41 万 t。

表 5 沙颍河流域畜禽粪便污染负荷及污染评价

地区	耕地面积/ km <sup>2</sup> *	猪粪当量/ (万 t/a)	粪负荷/ (t/hm <sup>2</sup> )	NH <sub>3</sub> -N 负荷/ (kg/hm <sup>2</sup> )	警报值	警报级别
郑州	289.91	670.31	23.12	50.57	0.51	Ⅱ
平顶山	302.08	1 613.79	53.42	52.47	1.19	Ⅳ
许昌	305.08	1 136.35	37.25	47.40	0.83	Ⅲ
漯河	165.44	465.48	28.14	65.28	0.63	Ⅱ
周口	783.66	2 218.68	28.31	31.25	0.63	Ⅱ
平均值			33.07	43.47	0.73	Ⅲ

注: \* 耕地数据来自于 2008 年河南省统计年鉴。

### 3 结论与讨论

畜禽粪污是畜禽养殖业面源污染的主要污染源<sup>[28]</sup>。本研究结果表明,河南沙颍河流域内单位耕地面积平均粪负荷为 33.07 t/hm<sup>2</sup>,远高于高定等<sup>[29]</sup>报道的 2006 年全国平均负荷 4.19 t/hm<sup>2</sup>、汪开英

等<sup>[30]</sup>报道的 2007 年浙江省的平均负荷 16.66 t/hm<sup>2</sup>,低于廖诗英等<sup>[31]</sup>报道的 2011 年河南省平均负荷 37.1 t/hm<sup>2</sup>。与袁彩凤等<sup>[21]</sup>报道的 2007 年郑州、平顶山、许昌、漯河、周口 5 市的畜禽粪便污染负荷警报值(分别为 0.28、0.60、0.41、0.38、0.28)相比,本研究结果均提高(分别为 0.51、1.19、0.83、0.63、0.63)。

说明畜禽粪污对河南环境污染的风险有逐年升高趋势,流域内 5 市的畜禽养殖粪污已经对环境构成了不同程度的污染。此外,本研究估算的 2011 年沙颍河流域内 COD 流失污染负荷为 14.50 万 t,  $\text{NH}_3\text{-N}$  流失污染负荷为 2.41 万 t, 远高于李转寿等<sup>[32]</sup>报道 2011 年杞麓湖流域相应指标数据(COD 0.32 万 t;  $\text{NH}_3\text{-N}$  0.02 万 t), 与王园欣等<sup>[33]</sup>报道的 COD 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  是影响沙颍河河南段水质的主要指标结果相一致。

采用猪粪当量负荷及本流域内各地市耕地面积为承载畜禽粪污消纳面积的统计方法,在考虑季节变化的情况下,计算各市畜禽粪便负荷量,因此,研究结果基本符合流域内畜禽养殖污染负荷的实际情况。但由于本研究所得到的畜禽粪便负荷是以各畜种粪污 N 含量为基准转换成猪粪当量的,流域内其他畜种及农村人居粪尿没有纳入本次研究范围,所以估算畜禽粪污产生量与实际情况存在误差。加之畜禽粪污中还含有 P、K、Cu、Zn 以及多种其他有害成分,对周围水体的污染多是以 COD 为主的有机污染,其产生污染的程度还与气候、管理水平、设施配套性以及农田耕地特性、土地复种程度、与水体的距离、粪污贮存处理方式等因素有关。因此,要想真正解决畜禽养殖污染问题,需要进一步就上述问题进行研究与探索。

本研究结果表明,畜禽粪污对沙颍河流域环境的污染和危害,已经成为不可忽视的生态环境问题。笔者认为沙颍河流域环境控制一方面要合理调整流域内畜禽养殖企业结构,建立污染动态监测机制,从饲养模式、配套设备、饲料营养等多方面开展综合研究,从源头控制畜禽粪污对环境的污染;另一方面应大力开展粪污处理与综合利用技术与推广,积极培育发展循环农业经济,实现流域畜牧业的健康持续发展。

本研究结果表明,河南省沙颍河流域内 5 个主要城市的畜禽养殖总量占河南省畜禽养殖量的 25.19%,年产生畜禽污物总量为 7 529.414 万 t,已经对环境构成了不同程度的污染,警报等级均在 II—IV 级,严重程度依次为平顶山>许昌>周口、漯河>郑州,建议加大沙颍河流域畜禽养殖业污染综合治理力度,建立环境准入机制。

#### 参考文献:

- [1] 罗春华. 畜禽养殖污染成因分析及治理对策[J]. 农村经济, 2006(12): 99-102.
- [2] 沈体忠, 刘佑林, 雷代英, 等. 武汉城市圈畜禽粪便资源量及养殖业对环境的潜在影响[J]. 江大学学报: 自然

科学版, 2009, 6(3): 70-74, 78.

- [3] 张克强, 高怀友. 畜禽养殖业污染物处理与处置[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 17.
- [4] Dinar A, Xepapadeas A. Regulating water quantity and quality in irrigated agriculture[J]. Journal of Environmental Management, 1998, 54: 273-289.
- [5] Rejesus R M, Hornbaker R H. Economic and environmental evaluation of alternative pollution-reducing nitrogen management practices in central Illinois[J]. Agricultural, Ecosystems and Environment, 1999, 75: 41-53.
- [6] Schou J S, Skop E, Jensen J D. Integrated agri-environmental modeling: A cost-effectiveness analysis of two nitrogen tax instruments in the Vejle Fjord watershed, Denmark[J]. Journal of Environmental Management, 2000, 58: 199-212.
- [7] 董占荣, 陈一定, 林咸永, 等. 杭州市郊规模化养殖场猪粪的重金属含量及其形态[J]. 浙江农业学报, 2008, 20(1): 35-39.
- [8] 国彬. 农用畜禽废物抗生素的污染特征和环境归宿研究[D]. 广州: 暨南大学, 2009: 1.
- [9] 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.
- [10] 刘世亮, 刘红恩, 杨喜田, 等. 在干旱-半干旱地区砂壤质土壤中消纳利用畜禽粪便的方法: 中国, 102612913A[P]. 2012-08-01.
- [11] 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: 1.
- [12] 王成贤, 石德智, 沈超峰, 等. 畜禽粪便污染负荷及风险评价——以杭州市为例[J]. 环境科学学报, 2011, 31(11): 2562-2569.
- [13] 谭美英, 武深树, 邓云波, 等. 湖南省畜禽粪便排放的时空分布特征[J]. 中国畜牧杂志, 2011, 47(14): 43-48.
- [14] 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, 33(1): 110-116.
- [15] 黄威, 聂耳, 李纪华, 等. 宜兴畜禽粪便污染负荷时空变化研究[J]. 家畜生态学报, 2013, 34(7): 64-69.
- [16] 赵亮, 李向阳, 赵明, 等. 山西省畜牧业立体污染现状及防治对策[J]. 山西农业科学, 2012, 40(8): 888-891.
- [17] 孙继成, 关故章, 何家海, 等. 潜江市畜禽养殖粪便年排放量估算[J]. 现代农业科技, 2014(6): 232-233.
- [18] 王云. 宣城市畜禽养殖污染现状及农业源减排措施[J]. 现代农业科技, 2013(2): 231-232.
- [19] 张昌. 桐盘锦市畜禽养殖场污染状况调查与评价[J]. 现代农业科技, 2008(2): 184-185.
- [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] Kellogg R L, Lander C H, Moffitt D C, *et al.* Manure nutrients relative to the capacity of cropland and pastureland to assimilate nutrients: spatial and temporal trends for the United States[R]. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service and Economic Research Service, 2000; 48-52.
- [22] Saam H, Mark J M, Jackson-Smith D B, *et al.* Use of animal density to estimate manure nutrient recycling ability of Wisconsin dairy farms[J]. *Agricultural Systems*, 2005, 84(3): 343-357.
- [23] 张震, 司友斌, 谷勋刚, 等. 巢湖流域规模化养殖场畜禽粪便污染负荷研究——以居巢区为例[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(15): 7159-7161.
- [24] 王新谋. 家畜粪便学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1997.
- [25] 国家环境保护总局. GB 18596—2001 畜禽养殖业污染物排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [26] 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(5): 44-48.
- [27] 王依贺, 单东方, 赵春江, 等. 北京市大兴区农业面源污染普查数据应用分析[J]. *农机化研究*, 2012(6): 189-193.
- [28] 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.
- [29] 高定, 陈同斌, 刘斌, 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, 25(2): 311-319.
- [30] 汪开英, 刘健, 陈小霞, 等. 浙江省畜禽业产排污测算与土地承载力分析[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(12): 3043-3048.
- [31] 廖诗英, 赵书强. 河南省畜禽粪便污染状况评估[J]. *山东畜牧兽医*, 2013, 34(8): 1-3.
- [32] 李转寿, 杨逢贵, 吴文卫. 杞麓湖流域耕地畜禽养殖污染负荷及环境风险评价[J]. *江西农业学报*, 2013, 25(8): 127-129.
- [33] 王园欣, 左其亭. 沙颍河南段水质变化及成因分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2012, 23(4): 47-50.

(上接第 126 页)

- [2] Borel N, Burgi E, Kiupel M, *et al.* Three cases of post-weaning multisystemic wasting syndrome (PMWS) due to porcine circovirus type 2 (PCV2) in Switzerland[J]. *Schweiz Arch Tierheilkd*, 2001, 143(5): 249-255.
- [3] Choi C, Kim J, Kang L J, *et al.* Concurrent outbreak of PMWS and PDNS in a herd of pigs in Korea[J]. *Vet Rec*, 2002, 151(16): 484-485.
- [4] Dea S, Bilodeau R, Sauvageau R, *et al.* Antigenic variant of swine influenza virus causing proliferative and necrotizing pneumonia in pigs[J]. *J Vet Diagn Invest*, 1992, 4(4): 380-392.
- [5] 林绵芳, 肖怡, 许文珍. 猪圆环病毒病的临床症状与防控对策[J]. *现代农业科技*, 2013(7): 299-300.
- [6] 王小敏, 何孔旺, 张文文, 等. 猪圆环病毒 2 型和猪繁殖与呼吸综合征病毒混合感染的流行病学调查[J]. *华北农学报*, 2012, 27(B12): 390-394.
- [7] 李彬, 马俊杰, 赵静静, 等. 断奶仔猪多系统衰竭综合征中多病原混合感染的流行病学调查[J]. *华北农学报*, 2012, 27(B12): 390-394.
- [8] 樊振华, 王娟萍, 孟帆, 等. 猪细小病毒和猪圆环病毒 2 型多重 PCR 检测方法的建立与应用[J]. *山西农业科学*, 2012, 40(10): 1102-1106.
- [9] Gillespie J, Opriessnig T, Meng X J, *et al.* Porcine circovirus type 2 and porcine circovirus-associated disease [J]. *Vet Int Med*, 2009, 23(6): 1151-1163.
- [10] Mankertz A, Mankertz J, Wolf K, *et al.* Identification of a protein essential for replication of porcine circovirus[J]. *J Gen Virol*, 1998, 79(2): 381-384.
- [11] 郝鑫, 陈焕春, 李川, 等. 猪 II 型圆环病毒 ORF1 基因克隆及在 *E. coli* 中的表达[J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2004, 20(3): 413-417.
- [12] 郭龙军, 陆月华, 黄立平, 等. 猪圆环病毒 2 型 Cap 蛋白核定位信号区抗原表位的鉴定[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(7): 1480-1486.
- [13] Gillespie J, Juhan N M, DiCristina J, *et al.* A genetically engineered chimeric vaccine against porcine circovirus type 2 (PCV2) is genetically stable *in vitro* and *in vivo*[J]. *Vaccine*, 2008, 26(33): 4231-4236.
- [14] Lekcharoensuk P, Morozov L, Paul P S, *et al.* Epitope mapping of the major capsid protein of type 2 Porcine circovirus (PCV-2) by using chimeric PCV-1 and PCV-2[J]. *J Virol*, 2004, 78(15): 8135-8145.
- [15] Liu J, Chen I, Du Q, *et al.* The ORF3 protein of porcine circovirus type 2 is involved in viral pathogenesis *in vivo*[J]. *J Virol*, 2006, 80(10): 5065-5073.
- [16] 杨晓农, 郭万柱, 徐志文, 等. 猪圆环病毒 II 型 ORF3 基因缺失突变毒株对仔猪的致病性及免疫原性研究[J]. *畜牧兽医学报*, 2008, 39(8): 1094-1099.
- [17] 杨晓农, 郭万柱, 徐志文, 等. 基因缺失对猪圆环病毒 II 型感染复制能力的影响[J]. *中国兽医学报*, 2008, 28(9): 991-995.
- [18] 李增魁. 猪圆环病毒 2 型 ORF3 编码蛋白的体外表达[J]. *畜牧与兽医*, 2008, 40(9): 25-30.
- [19] Liu J, Chen I, Kwang J. Characterization of a previously unidentified viral protein in porcine circovirus type-2-infected cells and its role in virus-induced apoptosis [J]. *J Virol*, 2005, 79(13): 8262-8274.