

陕西省畜禽粪便负荷量估算及环境 承受程度风险评价

易秀^{1,2}, 叶凌枫¹, 刘意竹¹, 田浩¹, 陈生婧¹

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054;

2. 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要: 在调查陕西省各地(市)畜禽养殖数量、养殖结构的基础上,通过估算各地(市)畜禽粪便排放量及负荷量,评价了各地(市)畜禽养殖业的发展对环境产生的污染压力,为陕西省畜禽养殖业可持续发展及畜禽粪便环境污染防治提供科学依据。研究结果表明:(1)陕西省畜禽养殖饲养量中,家禽饲养量最大,其次分别为猪和羊。(2)2006—2010年陕西省各类畜禽粪便产生量在年际间波动较大,2008处于低谷,之后又快速增长;按年粪便产生量多少排序,依次为牛>猪>羊>家禽>兔。(3)陕西省畜禽粪便农田负荷量总体呈上升的趋势,由2008年的 $10.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 上升到2010年的 $18.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,增长了70.7%;禽粪便警报值由2008年的最小值0.36增加到2010年的0.60,从对环境构成污染威胁的程度看,由不构成污染威胁到对环境稍有污染。(4)2010年,陕西省畜禽粪便COD、BOD总产生量分别为121.25万t和104.09万t;与2008年相比,2010年陕西省各类畜禽污染物排放量COD、BOD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、总氮、总磷分别增长了73.2%、69.4%、76.7%、72.6%、58.2%;据估算,2010年陕西省畜禽粪便淋溶进入水体的COD、BOD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP分别达36.38万t、31.23万t、3.44万t、83.4万t、39.85万t。

关键词: 畜禽粪便污染;猪粪当量;畜禽粪便负荷量;环境风险评价;陕西省

中图分类号: S181.6;X503.221 **文献标志码:** A

Estimations of livestock manure load and risk assessment of environmental tolerance in Shaanxi Province

YI Xiu^{1,2}, YE Ling-feng¹, LIU Yi-zhu¹, TIAN Hao¹, CHEN Sheng-jing¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecology in Arid Areas, Ministry of Education, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: On the basis of investigations on the number of livestock and cultivation pattern, pollution and environmental risks caused by the development of the livestock and poultry industry were evaluated by means of estimating livestock manure discharge amounts and loads in Shaanxi area, providing a scientific basis for sustainable development of livestock and poultry industry and environmental pollution control. Results showed that the number of poultry was the largest, followed by pig and sheep, among the livestock and poultry breeding in Shaanxi Province. The amount of livestock manure excrements had obviously fluctuated from 2006 to 2010, and was at a low level in 2008, but later became increased rapidly. For the annual amounts of livestock manure excrements, the rank was cattle, pig, sheep, poultry and rabbit. The livestock manure loads showed an increasing tendency, which was increased 70.7% from $10.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ in 2008 to $18.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ in 2010. The alarm value of livestock manure loads had been increased from the minimal value of 0.36 in 2008 to 0.60 in 2010, and the degree of pollution threat effects on the environment was changed from none to being subtle. In 2010, the total production number of COD and BOD from livestock manure was $121.25 \times 10^4 \text{ t}$ and $104.09 \times 10^4 \text{ t}$, respectively. Compared with 2008, the discharge of COD, BOD, $\text{NH}_3 - \text{N}$, total nitrogen and total phosphorus from livestock manure in 2010, were increased respectively by 73.2%, 69.4%, 76.7%, 72.6% and 58.2%, respectively. It was estimated that the number of COD, BOD, $\text{NH}_3 - \text{N}$, TN and TP that were leached out from

收稿日期:2014-04-21

基金项目:国家自然科学基金项目(51378067);高等学校学科创新引智计划项目资助(B08039);水利部公益基金项目(201301084)

作者简介:易秀(1965—),女,青海西宁人,教授,博士,主要从事水土资源环境污染防治的教学与科研工作。E-mail: yixiu@chd.edu.cn。

livestock manures into water bodies reached 36.38×10^4 , 31.23×10^4 , 3.44×10^4 , 83.4×10^4 and 39.85×10^4 tons in 2010, respectively.

Keywords: pollution of livestock manure; pig manure equivalent amount; livestock manure load; environmental risk assessment

随着农业经济结构调整与产业化步伐加快,以及我国人民生活水平的日益提高,对畜禽产品需求量不断增长,集约化、工厂化、规模化养殖业迅速发展。但与此同时,由于养殖污水与畜禽粪量大,处理过程不完全,加之环境管理不完善以及缺乏成熟高效的治理技术,使宝贵的粪便资源变成了水环境和土壤环境等的重要污染源,目前已成为我国三大面源污染源之一^[1-3]。近年来,畜禽养殖业带来的环境污染问题越来越受到国内外学者的高度重视^[4-10]。畜禽养殖造成的污染不仅成为公害,也阻碍了畜禽养殖业自身的发展,个别区域甚至出现明显的生态恶化后果。因此规模化畜禽养殖环境管理与污染防治的重要性与紧迫性日显突出。

在我国“十二五”环境保护规划《主要污染物总量减排监测体系建设考核办法》(试行)中,畜牧业被设置为农业污染控制的一个优先目标。本研究在调查陕西省各地(市)畜禽养殖数量、养殖结构的基础上,通过估算各地(市)畜禽粪便排放量及负荷量,分析和阐明各地(市)畜禽养殖业的发展对环境产生的污染压力,为今后养殖业发展规划提供基础数据,也为陕西省畜禽养殖业可持续发展及畜禽粪便污染防治提供科学依据。

1 研究区概况

陕西省位于中国西北地区东部的黄河中游,东经 $105^{\circ}29'$ 至 $110^{\circ}15'$,北纬 $31^{\circ}42'$ 至 $39^{\circ}35'$ 之间,60% 的面积属于黄河流域,土地总面积 20.56 万 km^2 ,占全国土地总面积的 2.145%。陕西境内山塬起伏,河川纵横,地形复杂。以北山和秦岭为界,全省可分为陕北高原、关中平原和秦巴山地三大地貌区。

陕西省畜牧业发展迅速,初步形成了陕南生猪产业带、关中奶畜产业带、陕北羊子产业带。2009 年,陕西省启动的百万头生猪大县工程是推动生猪产业规模化、标准化发展的一个重要举措。2010 年陕西省投资 1.2 亿元新建的奶牛中心以及很多企业投资新建的大型生猪养殖、肉牛养殖场成为行业龙头,这些养殖场已成为陕西省畜牧养殖规模化、集约化、标准化的标志。目前陕西生猪和奶牛的规模化养殖率已达 62% 和 50%。

2 陕西省畜禽粪便排放量的估算

本文以陕西省现有 10 个地(市)的猪、牛、羊、家禽、兔为研究对象,以各地(市)为单元,估算 2006—2010 年猪、牛、羊、家禽、兔的粪便排放量、猪粪当量负荷及其有机污染物含量。

2.1 数据来源

陕西省各地(市)的耕地面积数据来自陕西省统计年鉴;各地(市)畜禽养殖基础数据来自各地(市)的统计年鉴和农业部门的统计数据。收集的数据包括生猪、牛(区分肉牛和奶牛)、羊、家禽和兔的年末存栏数、当年出栏数两部分。

2.2 参数的确定

本研究中涉及的参数包括饲养期、畜禽粪便日排泄系数、畜禽粪便猪粪当量系数和畜禽粪便中养分与污染物含量系数,这些参数的选取参考国内外的有关资料 and 实际调查结果^[11-19]。

2.3 计算公式

2.3.1 畜禽粪便排放量的估算 粪便排放量计算公式为^[12]:

$$Q = N \times D \times P \quad (1)$$

式中, Q 畜禽粪便排放量(kg); N 为饲养量; D 为饲养周期(d); P 为畜禽粪便日排泄系数($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)。

对于畜禽动物的日排泄量国内外尚没有统一的数值,本文中各类畜禽日排泄系数采用国家环保部公布的数据(表 1)^[15]。

表 1 畜禽粪便日排泄系数/ $(\text{kg} \cdot \text{d}^{-1})$
Table 1 Coefficients of manure daily excretion

畜禽种类 Livestock	粪 Feces	尿 Urine
猪 Pig	2	3.3
牛 Cattle	20	10
羊 Sheep	2.6	—
家禽 Poultry	0.1	—
兔 Rabbit	0.15	—

注:“—”表示暂无数据。Note: “—” indicating no data.

2.3.2 农田畜禽粪便负荷量的估算^[20-21] 目前,我国畜禽粪便处理的方式主要是作为肥料直接还田,国外许多发达国家也将农田作为畜禽粪便的负载场所^[20]。所以,计算农田畜禽粪便负荷量时有

效农田耕地面积为实际的负载面积。

$$q = Q_1/S = \sum XT/S \quad (2)$$

式中, q 为畜禽粪便以猪当量计的负荷量($t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); Q_1 为各地畜禽粪尿相当猪粪总量($t \cdot \text{a}^{-1}$); S 为有效耕地面积(hm^2); X 为各地畜禽粪尿量($t \cdot \text{a}^{-1}$); T 为各类畜禽粪尿换算成猪粪当量的换算系数。

2.3.3 畜禽粪便中污染物含量的估算 畜禽粪便中污染物含量的估算公式如下:

$$M = Q \times c \quad (3)$$

式中, M 为畜禽粪便中污染物含量(kg); Q 为各类畜禽粪便排放量(t); c 为各类畜禽粪便中污染物含量($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$)^[19]。

3 结果分析

3.1 畜禽饲养量

从陕西省各地区畜禽养殖的饲养量来看(图1), 家禽的饲养量最大, 其次分别为猪和羊, 牛和兔的比例较小; 从畜禽养殖的比例来看, 2010年家禽所占的比例最大, 占68.9%, 其次为猪, 占15.7%,

羊为第三, 占10.1%, 牛和其它家畜的比例不足6%。家禽、猪和羊共占陕西省地区畜禽养殖比例的94%以上, 所以家禽、猪和羊在陕西地区畜禽养殖业中占主导地位。

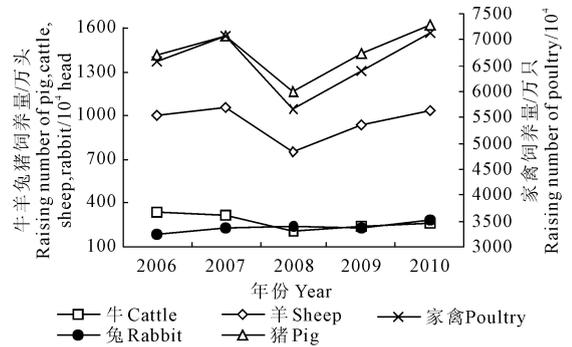


图1 2006—2010年陕西省规模化畜禽养殖概况

Fig.1 The status of scale livestock and poultry breeding from 2006 to 2010 in Shaanxi

3.2 陕西省畜禽粪便排放量

陕西省畜禽养殖以家禽、猪、羊、牛、兔为主, 根据畜禽粪便日排泄量、饲养期, 按粪便排放量计算公式(1), 得出陕西省各类畜禽粪便产生量(表2)。

表2 陕西省各类畜禽粪便产生量/万 t

Table 2 Manure production of all kinds of livestock and poultry in Shaanxi Province/10⁴ t

污染物 Pollutants	畜禽 Livestock	年份 Year				
		2006	2007	2008	2009	2010
粪 Feces	猪 Pig	564.9	617.1	463.3	566.7	648.2
	牛 Cattle	2490.2	2329.9	890.6	1753.7	1956.4
	羊 Sheep	949.5	1001.0	718.0	894.0	987.6
	家禽 Poultry	138.2	148.7	118.9	134.3	149.6
	兔 Rabbit	2.5	3.1	3.3	3.0	3.8
尿 Urine	猪 Pig	932.1	1018.2	764.4	935.1	1069.5
	牛 Cattle	1245.1	1165.0	445.3	876.8	978.2

从表2可以看出, 陕西省各类畜禽粪便产生量在2008年处于低谷, 之后呈现快速增长的趋势。畜禽粪便产生量多少主要是由饲养量的多少来衡量的。兔的粪便产生量变化不大, 猪、牛、羊、家禽变化较大, 主要是近年来环保部门加强环境保护力度以及市场价格调控等原因, 使一些养殖企业在短时期内对饲养量进行调整造成的。2010年猪、牛、羊、家禽、兔粪便产生量较2008年分别增长39.9%、119.7%、37.5%、25.8%、13.2%; 各类畜禽中猪、牛的年粪尿产生量最大, 占全部年粪尿总量的75%以上。按年粪便产生量多少排序, 依次为牛 > 猪 > 羊 > 家禽 > 兔。

3.3 各类畜禽粪便猪粪当量产生量

由于畜禽粪便类型不同、肥效养分和农田消纳量的差异, 如果直接进行叠加估算, 会造成与实际效果产生误差。因此, 根据各类畜禽粪便的不同含氮量, 统一换算成猪粪当量进行叠加。由各类畜禽粪便猪粪当量系数, 可以计算出2006—2010年间陕西省各地(市)年猪粪当量产生量(图2)。

由图2可以看出, 各地(市)猪粪当量产生量铜川市最小, 且变化幅度不大。猪粪当量产生量和波动最大的是榆林市, 2008年的猪粪当量与2006年相比降低了62.1%, 而2010年的猪粪当量比2008年增加了67.9%; 从时间变化看, 全省2006年畜禽粪便猪粪当量为5808万t, 2008年最低, 为3200万t,

之后呈上升的趋势,2010 年猪粪当量为 5 355 万 t,相比 2008 年增长了 67.3%。

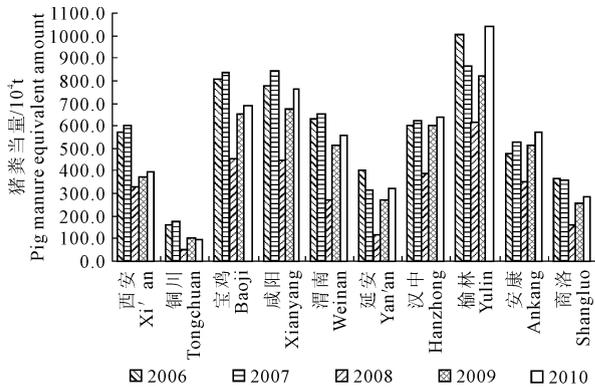


图 2 陕西省各地(市)不同年份猪粪当量产生量变化

Fig.2 Changes of pig manure equivalent amounts over time in different areas

3.4 畜禽粪便猪粪当量负荷

采用猪粪当量负荷量作为不同地区环境容纳量的指标,用以比较不同地区由于养殖业导致的污染程度。陕西省畜禽粪便主要作为有机肥料直接还田,因此将各地区的有效耕地面积作为粪便的实际容纳量面积。根据陕西省各地(市)的有效耕地面积、各地畜禽粪尿相当猪粪总量,按公式(2)计算出陕西省各地区畜禽粪便负荷量(图 3)。结果表明,2006—2010 年陕北各地(市)农田畜禽粪便负荷量年间变化起伏较大。2006 年,延安、榆林的农田畜禽粪便负荷量分别为 $16.48 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $19.14 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,2008 年分别下降了 70.6% 和 38.3%,之后又急剧增长,到 2010 年,延安、榆林的农田畜禽粪便负荷量分别是 2008 年的 2.72 倍和 1.68 倍;关中各地(市)畜禽粪便负荷量呈现先减少后逐渐递增的趋势。渭南畜禽粪便负荷量相对于其它地(市)变化幅度较小。西安的畜禽粪便负荷量由 2006 年的 $19.92 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 递减至 2008 年的 $11.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,之后保持相对稳定。畜禽粪便负荷量变化最大的是铜川,与 2007 年相比,2008 年畜禽粪便负荷量减少 42.3%。2008 年之后,宝鸡、咸阳的增长速度较快;陕南各地(市)畜禽粪便负荷量普遍较高,在 $11.24 \sim 28.68 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间变化。畜禽粪便负荷量变化最大的商洛市,最大值(2007 年)与最小值(2008 年)之间相差 $14.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,变幅为 55.5%。总体看,2006—2010 年,陕西省畜禽粪便农田负荷量在 $10.78 \sim 19.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间。2006 年畜禽粪便农田负荷量为最高,为 $19.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,之后急剧下降到 2008 年的 $10.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,2008 年以后畜禽粪便农田负荷量又呈缓慢上升趋势。

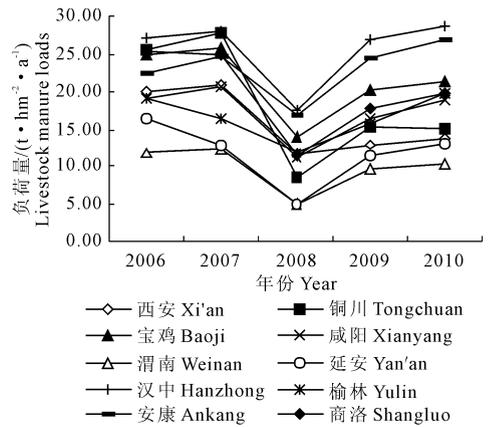


图 3 陕西省各地(市)农田畜禽粪便负荷量时间变化

Fig.3 Changes of livestock manure loads over time

3.5 畜禽粪便负荷量承受程度的警报分级

我国还没有单位耕地面积土壤畜禽粪便氮、磷养分限量国家标准,只是在畜禽粪便还田限量上有少量研究报道^[15,22]。尽管畜禽品种的不同和区域条件的差异性,但从环境风险的角度出发,畜禽粪便作为肥料用于农田的最大适宜施用量为 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,若高出这一水平则会导致土壤中的养分过剩,对环境产生影响^[21-24]。为了全面反映陕西地区畜禽粪便的负荷程度及其对环境是否构成污染威胁,对陕西省 10 个地(市)的畜禽粪便负荷量的承受程度进行风险评价。

农田畜禽粪便负荷警报值计算公式为^[22]:

$$r = q/p \quad (4)$$

式中, r 为各地区畜禽粪便农田负荷的警报值,即污染风险指数; q 为畜禽粪便猪粪当量负荷($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); p 为有机肥最大理论适宜施用量($30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

从畜禽粪便警报值分级标准可以看出(表 3),当警戒值 $r \leq 0.4$,表明该地区的畜禽粪便可以完全被农田环境所消纳和承载,对环境没有威胁;随着警戒值的不断增大,畜禽粪便将会超过农田的可消纳量或承载程度,对环境造成威胁的可能性就越大。

表 3 畜禽粪便警报值分级

Table 3 Classification of alarm values for livestock manure

警报值 r Alarm value	分级级数 Classification level	对环境构成污染的威胁 The threat effects of pollution on environment
≤ 0.4	I	无 None
0.4 ~ 0.7	II	稍有 Slight
0.7 ~ 1.0	III	有 Medium
1.0 ~ 1.5	IV	较严重 Less serious
1.5 ~ 2.5	V	严重 Serious
> 2.5	VI	很严重 More serious

根据畜禽粪便猪粪当量负荷和公式(4),计算得出 陕西省各地(市)畜禽粪便警报值和分级级数(表4)。

表4 陕西省各地(市)畜禽粪便警报值及其分级

Table 4 Alarm values and classification of livestock manure in different areas of Shaanxi Province

地(市) Area	2006		2007		2008		2009		2010	
	警报值 r Alarm value	级数 Level								
陕西省 Shaanxi	0.65	II	0.65	II	0.36	I	0.54	II	0.60	II
西安 Xi'an	0.66	II	0.70	II	0.38	I	0.43	II	0.46	II
铜川 Tongchuan	0.85	III	0.92	III	0.28	I	0.51	II	0.50	II
宝鸡 Baoji	0.83	III	0.86	III	0.47	II	0.67	II	0.71	III
咸阳 Xianyang	0.64	II	0.69	II	0.37	I	0.55	II	0.63	II
渭南 Weinan	0.39	I	0.40	I	0.17	I	0.32	I	0.34	I
延安 Yanan	0.55	II	0.43	II	0.16	I	0.38	I	0.44	II
汉中 Hanzhong	0.90	III	0.93	III	0.59	II	0.90	III	0.96	III
榆林 Yulin	0.64	II	0.55	II	0.39	I	0.52	II	0.66	II
安康 Ankang	0.75	III	0.83	III	0.56	II	0.81	III	0.90	III
商洛 Shangluo	0.84	III	0.83	III	0.37	I	0.60	II	0.66	II

由表4可以看出,2006年陕西省的污染风险指数为0.65,畜禽养殖对环境稍有威胁。除渭南市警报值处于I级水平,畜禽粪便对环境不构成威胁外,其余6个城市的警报值超过陕西省警报均值;西安、咸阳、延安、榆林的警报值处于II级水平,表明畜禽粪便对环境稍有影响;铜川、宝鸡、汉中、安康、商洛已经处于III级水平,畜禽粪便对环境有威胁。2008年,陕西省的污染风险指数普遍较低,仅有宝鸡、汉中、安康3地(市)的警报值为II级水平,对环境已经稍有威胁。2008—2010年,各地(市)的污染风险指数有所上升;2010年,陕西省的污染风险指数达到0.60,在西安等10个地(市)中,污染最严重的市是宝鸡、汉中、安康已经处于III级水平,畜禽粪便对环境有威胁;渭南的警报值为0.34,处于I级水平,畜禽粪便对环境没有影响。在2006—2010年这5年间,汉中、安康2地(市)的警报值一直处于较高的状态,表明畜禽粪便对环境已经造成污染,应当加以控制。

3.6 畜禽粪便中污染物产生量及污染物流失量分析

根据各类畜禽的粪便排放量、粪便中污染物含量^[19,25],利用公式(3)可以计算出陕西省畜禽粪便中污染物产生量(表5)。

由表5可以看出,畜禽粪便中含有大量的有机物。陕西省污染物排放量随着畜牧业的不断发展也迅速增加。2010年,陕西省畜禽粪便BOD总产生量为104.09万t,其中牛粪便的BOD产生量最大,为51.9万t,占畜禽粪便BOD总产生量的49.9%,其次为猪粪便和禽粪。陕西省畜禽粪便COD总产生量为121.25万t,占当年我国畜牧业污染物COD总产

生量(2509.7万t)的4.83%。各类粪便中,牛粪便的COD产生量最大,为66.5万t,占畜禽粪便COD总产生量的54.8%;其次为猪和禽粪,分别为43.3万t和6.83万t。2010年陕西省各类畜禽污染物排放量相比2008年,COD、BOD、NH₃-N、总氮,总磷分别增长了约73.2%、69.4%、76.7%、72.6%、58.2%。畜禽粪便易于淋溶,其中约30%的污染物将渗入水体^[24,26],按此值估计,2010年陕西省各地(市)畜禽养殖业粪便排放进入水体的COD、BOD、NH₃-N、TN、TP分别达36.38万t、31.23万t、3.44万t、83.4万t、39.85万t。富含N、P等有机质的畜禽粪便进入水体,造成水体的富营养化,高浓度的畜禽废水影响鱼虾类的生存甚至死亡,水生生物腐烂,水体变黑而释放恶臭气体,污染周围空气。同时,畜禽粪便污染的水中含有大量的大肠杆菌、寄生虫卵、蛔虫卵等有害微生物,会造成大量蚊蝇滋生,甚至引起疾病的传播与流行,危害人体健康和周围卫生环境。

表5 陕西省畜禽粪便中各种污染物的排放量/万t

Table 5 Pollutant emission contents of livestock manure in Shaanxi/10⁴ t

年份 Year	COD	BOD	NH ₃ -N	TN	TP
2006	200.37	122.26	12.79	312.17	138.91
2007	131.89	111.99	12.60	307.37	140.66
2008	70.00	61.45	6.49	161.07	83.95
2009	107.78	92.41	10.22	249.26	118.45
2010	121.25	104.09	11.47	278.00	132.84

4 结 论

1) 陕西省地区畜禽养殖的饲养量中,家禽的饲养量最大,其次分别为猪和羊;家禽、牛、羊和猪共占陕西省地区畜禽养殖比例的 94% 以上。

2) 2006—2010 年陕西省各类畜禽粪便产生量在年际间波动较大,2008 处于低谷,之后呈现快速增长的趋势;按年粪便产生量多少排序,依次为牛 > 猪 > 羊 > 家禽 > 兔;陕西省 2008 年畜禽养殖排放的粪量为 2 194.1 万 t,尿量为 1 209.7 万 t,粪尿合计为 3 403.8 万 t。2010 年排放的粪量为 3 745.6 万 t,尿量为 2 047.7 万 t,粪尿合计为 5 793.3 万 t。

3) 陕西省畜禽粪便农田负荷量总体呈上升的趋势,由 2008 年的 $10.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 上升到 2010 年的 $18.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,增长了 70.7%;陕西省畜禽粪便警报值由 2008 年的最小值 0.36 增加到 2010 年的 0.60,从对环境构成污染威胁的程度看,由不构成污染威胁到对环境稍有污染。2010 年,在西安等 10 地(市)中,宝鸡、汉中、安康,禽粪便警报值已经处于 III 级水平,畜禽粪便对环境有威胁;渭南处于 I 级水平,畜禽粪便对环境没有影响;其余地(市)处于 II 级水平,畜禽粪便对环境稍有影响。

4) 2010 年,陕西省畜禽粪便 COD、BOD 总产生量分别为 121.25 万 t 和 104.09 万 t,其中牛粪便的 COD、BOD 产生量最大,分别为 66.5 万 t 和 51.9 万 t,占各自总产量的 54.8% 和 49.9%,其次为猪粪便和禽粪;与 2008 年相比,2010 年陕西省各类畜禽污染物 COD、BOD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、总氮、总磷排放量分别增加了 73.2%、69.4%、76.7%、72.6%、58.2%;据估算,2010 年陕西省畜禽粪便淋溶进入水体的 COD、BOD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP 分别达 36.38 万 t、31.23 万 t、3.44 万 t、83.4 万 t、39.85 万 t。

参 考 文 献:

[1] 刘晓利,许俊香,王方浩,等.我国畜禽粪便中氮素养分资源及其分布状况[J].河北农业大学学报,2005,28(5):27-32.

[2] 吴淑杭,姜震方,渝清英.畜禽粪便污染与发展趋势[J].上海农业科技,2002,(1):9-10.

[3] Li P J. Exponential growth, animal welfare, environmental and food safety impact: the case of China's livestock production[J]. J Agri Environ Ethic, 2009,2(3):217-240.

[4] 张海成,张婷婷,郭 燕,等.中国农业废弃物沼气化资源潜力评价[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):142-147.

[5] 邵治亮,贾志宽,鲁向平,等.陕北丘陵沟壑区发展生态草畜产业的思考[J].干旱地区农业研究,2006,24(4):155-159.

[6] 杨国义,陈俊坚,何嘉文,等.广东省畜禽粪便污染及综合防治对策[J].土壤肥料,2005,(2):46-49.

[7] Gamsworthy P C. The environmental impact of fertility in dairy cows: a modeling approach to predict methane and ammonia emissions[J]. Animal Feed Science and Technology, 2004, (112):211-223.

[8] Smith E G, Card G, Young D L. Effects of market and regulatory changes on livestock manure management in southern Alberta[J]. Canadian Journal of Agricultural Economics, 2006,54(2):199-213.

[9] Nychas A E. Land spreading of manure and the environment a review of technical and legislative aspects[A]. Agricultural waste management and environmental protection[C]//Proceeding of the 4th International CIEC Symposium, Brunswick, Germany, 1988,(2):369-374.

[10] Mosqueraa J, Monteny G J, Erisman J W. Overview and assessment of techniques to measure ammonia emissions from animal horses: the case of the Netherlands[J]. Environmental Pollution, 2005, (135): 381-388.

[11] 王洪涛,陆文静.农村固体废物处理处置与资源化技术[M].北京:中国环境科学出版社,2006:53-107.

[12] 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.

[13] 张克强,高怀有.畜禽养殖业污染物处理与处置[M].北京:化学工业出版社,2004:22-23.

[14] 李建国.畜牧学概论[M].北京:中国农业出版社,2002:307-313.

[15] 国家环境保护部自然生态保护司.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,2002,25:77-78.

[16] Fran J D, Nico J P H. Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: The dutch case[J]. Environmental and Resource Economics, 1991,1(3):313-332.

[17] Hoar B R, Atwill E R, Farver T B. Estimating maximum possible environmental loading amounts of cryptosporidium partum attributable to adult beef cattle[J]. Quantitative II Microbiology, 2000, (2):21-36.

[18] 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):288-291.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 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,(2):134-136.

[22] 张玉珍,洪华生,曾 悦,等.九龙江流域畜禽养殖业的生态环境问题及防治对策探讨[J].重庆环境科学,2003,25(7):29-34.

[23] 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.

[24] 沈根祥,汪雅谷,袁大伟.上海市郊畜禽粪便负荷量及其警报与分级[J].上海农业学报,1994,10(S):6-11.

[25] 吴淑霞.我国农村畜禽养殖业氮磷排放变化特征及其对农业面源污染的影响[D].北京:中国农业科学院,2005:35-102.

[26] 马 林,王芳浩.中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染牵势估算[J].农业工程学报,2006,22(8):170-174.