

李丹阳, 孙少泽, 马若男, 等. 山西省畜禽粪污年产生量估算及环境效应[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(4): 480-486.

LI Dan-yang, SUN Shao-ze, MA Ruo-nan, et al. Estimation of annual production amount of livestock and poultry manure and its environmental effect in Shanxi Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(4): 480-486.

山西省畜禽粪污年产生量估算及环境效应

李丹阳, 孙少泽, 马若男, 李国学*, 李恕艳

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要:为了解山西省畜禽粪便产生量及其环境效应,根据《山西统计年鉴2017》中畜禽养殖数据,估算了2016年山西省畜禽粪污产生量。结果表明,2016年山西省畜禽粪便总排放量约为3 410.97万t,按年粪便产生量排序,依次为牛>羊>猪>鸡>兔。畜禽粪污的总氮、总磷、总化学需氧量、总生化需氧量、总氨氮产生量分别为23.54、7.56、75.97、70.85万t和7.72万t。畜禽粪便发酵可产沼气总量约为21.33亿m³,畜禽粪便产沼气潜力相当于山西省天然气年消费量的25.42%。2016年山西省平均单位耕地面积畜禽粪尿氮、磷养分负荷分别为63.28、20.32 kg·hm⁻²,均未超过欧盟粪肥年施氮和年施磷限量标准,畜禽粪肥耕地负荷预警值为0.38,为I级。然而从区域分布的角度来看,太原、晋城和晋中三市的单位耕地面积畜禽粪尿磷负荷超过了欧盟粪肥年施磷限量标准,除了临汾和运城,山西省其他地市的畜禽粪便农田负荷量对环境有不同程度的威胁。因此,迫切需要对部分重点区域进行畜禽养殖粪便综合管理。

关键词:畜禽粪便;排放量估算;沼气潜力;耕地负荷;山西省

中图分类号:X713

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2019)04-0480-07

doi: 10.13254/j.jare.2018.0193

Estimation of annual production amount of livestock and poultry manure and its environmental effect in Shanxi Province, China

LI Dan-yang, SUN Shao-ze, MA Ruo-nan, LI Guo-xue*, LI Shu-yan

(College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to understand the pollution status of livestock and poultry breeding in Shanxi Province, according to the animal breeding data from Shanxi Statistical Yearbook of 2017, the production amount of livestock and poultry manure was estimated in Shanxi Province in 2016. The results showed that the amount of livestock and poultry manure was 34.109 7 million tons. For the annual amounts of livestock manure excrements, the rank was cattle>sheep>pig>chicken>rabbit. The amount of TN、TP、COD_{Cr}、BOD₅ and NH₃-N were 0.235 4、0.075 6、0.759 7、0.708 5 million tons and 0.077 2 million tons, respectively. The biogas potential production from the animal manure in the year 2016 totaled 2.133 billion cubic meters, which was 25.42% of natural gas consumption in Shanxi Province. Nitrogen and phosphorus cropland load of livestock manure were 63.28 kg·hm⁻² and 20.32 kg·hm⁻², which did not exceed the limits of annual nitrogen and phosphorus application of European Union. The alarm value of livestock manure load was 0.38, at I level. However, from the perspective of regional distribution, phosphorus cropland load of livestock manure exceeded the standard of annual phosphorus application for manure in Taiyuan, Jincheng and Jinzhong City. In addition to Linfen and Yuncheng City, the farmland load of livestock manure posed a threat to the environment at certain degree in other areas of Shanxi Province. It was concluded that it was urgent to take comprehensive management for

收稿日期:2018-07-23 录用日期:2018-10-29

作者简介:李丹阳(1994—),女,山西朔州人,博士研究生,从事固体废弃物资源化利用研究。E-mail:lidanyang@cau.edu.cn

*通信作者:李国学 E-mail:lixg@cau.edu.cn

基金项目:农业部、财政部现代农业产业技术体系建设专项(CARS-39-19)

Project supported: The Special Funds for Modern Agricultural Industry Technology System Construction, Ministry of Agriculture and Finance of China (CARS-39-19)

livestock manure in some special areas.

Keywords: livestock and poultry manure; estimation of production amount; potential of biogas production; cropland load; Shanxi Province

随着农业规模化和集约化程度的不断提高,畜禽养殖业迅速发展,但由此产生的畜禽养殖废弃物的数量也在逐年增加,若缺乏有效处理,会给生态环境带来极大的危害^[1-2]。而畜禽粪污既是污染源,同时由于其中含有大量的有机物和N、P、K等营养物质,又是可开发利用的宝贵资源,对农业可持续发展具有举足轻重的作用^[3]。因此,如何确保畜禽粪便资源化、无害化利用是亟需解决的问题。近年来山西省不断发展现代特色农业,畜禽养殖业成为了农村经济除种植业以外的重要支柱产业。本研究依据《山西省统计年鉴》和《中国农村统计年鉴》中的数据,估算了2016年山西省畜禽粪污产生量及其中的污染物含量,对单位耕地面积畜禽养分负荷量、能源潜力及其对农地的污染风险进行评价,以期为山西省今后畜禽养殖废弃物的综合管理及合理开发利用提供数据支撑,从而促进农业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

山西省位于黄河中游,黄土高原东部。地处东经110°14'~114°33',北纬34°34'~40°44',北界长城与内蒙古自治区为邻,西隔黄河与陕西省毗连,南抵黄河与河南省接壤,东依太行山与河南、河北两省相接^[4]。山西省下辖11个地级市,118个县级行政单位。面积15.67万km²,占全国土地总面积的1.6%,人口3702.35万。

畜牧业对山西省现代农业经济发展有举足轻重的作用,近几年通过实施畜牧振兴计划,畜牧业稳步发展,已经形成了“晋西北羊、北中部牛、中南部鸡、晋东南猪”的多元化格局^[5]。山西省畜禽标准化养殖示范创建活动深入推进,2015年规模养殖场进行挂牌建设单位350个,全省50%以上的规模养殖场在设施装备、生产技术、管理制度等方面达到了标准化养殖水平^[6]。畜禽监测调查数据显示,到2015年末,山西猪、牛、羊、鸡规模饲养(规模户、生产单位)出栏率分别达到48.3%、18.6%、25.9%、89.4%。

1.2 数据来源

畜禽养殖数量、耕地面积数据均来源于《中国农村统计年鉴2017》^[7]和《山西统计年鉴2017》^[8]公布的

统计资料,数据的截至时间是2016年底。畜禽养殖数量包括山西省现有地市的生猪、牛、羊、鸡和兔的年末存栏数、当年出栏数两部分。所用到的参数来自国内外的文献资料并结合实际情况,包括畜禽的饲养期、畜禽粪便日排泄系数、畜禽粪尿中污染物平均含量系数、畜禽粪便产气系数和畜禽粪便猪粪当量系数等。

1.3 计算方法

1.3.1 畜禽粪便排放量的估算

粪便排放量计算公式^[9]:

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

式中: Q 为畜禽粪便排放量,kg; N 为饲养量,万只(头); T 为饲养周期,d; P 为畜禽粪便日排泄系数(表1)^[10-11],kg·d⁻¹。

山西省各类畜禽的生长周期:猪的平均饲养期为199 d,以出栏量作为饲养量,为748.86万头;牛、羊的饲养期大于365 d(按365 d计),以年底存栏量为饲养量,牛饲养量为106.55万头,羊饲养量为910.41万只;蛋鸡和肉鸡的饲养周期和粪便日排泄量差距较大,肉鸡的生长周期一般为55 d,以出栏量作为饲养量,为9639.6万只,蛋鸡饲养周期按365 d计算,以年底存栏量为饲养量,为9377.49万只;兔的生长周期一般为90 d,以出栏量作为饲养量,为305.89万只。

1.3.2 畜禽粪便污染物量的计算

畜禽粪便污染物量的计算公式^[9]:

$$A=m \times c \quad (2)$$

式中: A 为畜禽粪便中污染物量,kg; m 为畜禽粪便产生量,t; c 为单位质量畜禽粪便污染物含量,kg·t⁻¹。

本研究筛选的新鲜畜禽粪尿中污染物平均含量

表1 畜禽粪便日排泄系数^[10-11](kg·d⁻¹)

Table 1 Excretion coefficient of livestock and poultry manure^[10-11](kg·d⁻¹)

畜禽种类 Species	粪 Feces	尿 Urine
猪 Pig	2	3.3
牛 Cow	20	10
羊 Sheep	2	0.66
蛋鸡 Laying hen	0.15	—
肉鸡 Dorking	0.1	—
兔 Rabbit	0.15	—

系数见表2^[12]。

1.3.3 粪便的能源潜力

畜禽粪便的年产沼气潜力计算公式^[13]:

$$E=Q \times S \times G \quad (3)$$

式中: E 为畜禽粪便产沼气潜力,亿 m^3 ; Q 为畜禽粪便年产量,kg; S 为粪便的干物质含量,%; G 为畜禽粪便发酵产气系数, $m^3 \cdot kg^{-1}$ 。 S 和 G 的值见表3^[14-15]。

1.3.4 单位耕地面积总氮(磷)负荷

单位耕地面积总氮(磷)负荷计算公式^[13]:

$$L_N = \frac{Q_N \times 10^3}{A} \quad (4)$$

$$L_P = \frac{Q_P \times 10^3}{A} \quad (5)$$

式中: L_N 为单位耕地面积总氮负荷, $kg \cdot hm^{-2}$; L_P 为单位耕地面积总磷负荷, $kg \cdot hm^{-2}$; Q_N 为总氮产生量,t; Q_P 为总磷产生量,t; A 为有效耕地面积, hm^2 。

欧盟粪肥年施氮和年施磷限量标准分别为 $C_N=170 kg \cdot hm^{-2}$, $C_P=35 kg \cdot hm^{-2}$ ^[16-18]。研究表明,单位耕地面积总氮(磷)负荷超过这个极限值将会带来硝酸盐的淋洗^[19]。

1.3.5 农田畜禽粪便负荷量的估算

农田畜禽粪便负荷量计算公式^[20]:

$$q = \sum F \times T / A \quad (6)$$

式中: q 为畜禽粪便以猪粪当量计的负荷量, $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$; F 为各类畜禽粪尿量, $t \cdot a^{-1}$; T 为各类畜禽粪尿换算成猪粪当量的换算系数,见表4^[21]; A 为有效耕地面积,

hm^2 , 2016年山西省有效耕地面积为 $3.72 \times 10^6 hm^2$ ^[8]。

1.3.6 畜禽粪便耕地负荷预警值

畜禽粪便耕地负荷预警值计算公式^[22]:

$$r = q/p \quad (7)$$

式中: r 为畜禽粪便耕地负荷预警值; p 为以猪粪当量计的有机肥最大适宜施用量,取值为 $30 t \cdot hm^{-2}$ 。

当 r 值分别为 <0.4 、 $0.4 \sim 0.7$ 、 $0.7 \sim 1.0$ 、 $1.0 \sim 1.5$ 、 $1.5 \sim 2.5$ 和 >2.5 时,预警级别分别为I、II、III、IV、V和VI,说明畜禽粪便对环境的影响程度分别为无、稍有、有、较严重、严重和很严重^[18]。 r 值越大,说明畜禽粪便对生态环境的潜在危害越大。

2 结果与讨论

2.1 山西省畜禽养殖粪便产生总量分析

为了准确评估畜禽粪便对环境的影响,需要对畜禽粪便的产生量进行估算。2016年,山西省猪、牛、羊和鸡出栏量只占全国畜禽总出栏量的0.82%,排全国第23位。其中,鸡、羊、猪总量占山西省畜禽养殖比例的90%以上。山西省畜禽粪尿总排放量为3410.97万t,其中牛粪尿排放量最高,为1166.67万t,占总量的34.2%,其余畜禽粪便排放量所占比例由大到小依次为羊(25.9%)>猪(23.2%)>鸡(16.6%)>兔(0.1%)。畜禽粪便的总量取决于畜禽饲养量、排泄系数和饲养周期。山西省牛的饲养量虽然不占优势,但饲养期长且排泄系数较大,故排泄量最高;羊、猪养殖数量占比和排泄量占比排名一致,均分别为第

表2 畜禽粪尿中污染物平均含量^[12]($kg \cdot t^{-1}$)

Table 2 Content of pollutants in different livestock and poultry manure^[12]($kg \cdot t^{-1}$)

种类 Species	TN	TP	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N
猪粪 Pig manure	5.88	3.41	52.00	57.03	3.08
猪尿 Swine urine	3.30	0.52	9.00	5.00	1.43
牛粪 Cow dung	4.37	1.18	31.00	24.53	1.71
牛尿 Bovine urine	8.00	0.40	6.00	4.00	3.47
羊粪 Sheep manure	7.50	2.60	4.63	4.10	0.80
羊尿 Sheep urine	14.00	1.96	4.63	4.10	0.80
鸡粪 Chicken manure	9.84	5.37	45.00	47.87	4.78
兔粪 Rabbit manure	7.50	2.60	4.63	4.10	0.80

表3 畜禽粪便干物质含量及产气系数^[14-15]

Table 3 Dry matter content and gas production coefficient of animal manure^[14-15]

项目 Items	猪粪 Pig manure	牛粪 Cow dung	羊粪 Sheep manure	鸡粪 Chicken manure
干物质含量 Dry matter content/%	18	17	30	30
发酵潜力 Fermentation potential/ $m^3 \cdot kg^{-1}$	0.42	0.30	0.34	0.49

表4 畜禽粪便猪粪当量换算系数^[21]

Table 4 Conversion table of animal manure to pig fecal equivalent^[21]

项目 Items	猪粪 Pig manure	猪尿 Swine urine	牛粪 Cow dung	牛尿 Bovine urine	羊粪 Sheep manure	羊尿 Sheep urine	鸡粪 Chicken manure	兔粪 Rabbit manure
N/%	0.65	0.33	0.45	0.80	0.80	1.5	1.63	1.94
换算系数 Conversion coefficient	1.00	0.50	0.69	1.23	1.23	2.31	2.51	2.98

二、第三名;鸡养殖数量最大,但由于饲养周期短、排泄系数较小,故排泄量不高。因此,山西省在畜禽排泄物管理方面,应以牛粪尿为主,同时兼顾羊和猪的粪尿排泄。

2.2 畜禽粪便污染物排放量

山西省2016年畜禽粪便的污染物产生量如表5所示,畜禽粪便的TN、TP、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N总产生量分别为23.54、7.56、75.97、70.85万t和7.72万t。其中鸡的养殖规模和产排污系数均相对较大,故TP、BOD₅和NH₃-N排放量分别占对应污染物排放量的比重最大,牛的COD_{Cr}排放量最高。而羊虽然养殖数量上占优势,但产排污系数均较小,故除了TN外,其他污染物排放量不高。畜禽粪便极易淋溶,约30%的污染物将会渗入水体中^[23],估算得出,山西省2016年排放到水体中的污染物可达55.69万t。这些污染物极易引起水体的富营养化,污染水体环境,并会对周围环境及人体健康造成威胁。

2.3 粪便的能源潜力

山西省作为国家综合能源基地,在全国能源发展格局中发挥着不可替代的作用,但同时能源产业转型也迫在眉睫,畜禽粪便是发酵生产沼气的重要来源。通过公式(3)计算得到,山西省畜禽粪便年产沼气21.33亿m³,按1m³沼气可替代0.6m³天然气、0.714kg标准煤计算,共可折甲烷12.80亿m³,替代标准煤152.30万t。2014年山西省消耗天然气达50.35亿m³,利用畜禽粪便的产沼气能力,可替代年天然气消费量的25.42%。2016年山西省能源消费总量为19400.6万t标准煤,畜禽粪便能源相当于标准煤消费量的0.79%。沼气的发热值非常高,一般为20934~25121kJ·m⁻³,燃烧最高温度可达1400℃,高于城市液化气的热值,是一种优质燃料^[24],能为节能减排工作做出巨大的贡献。

2016年山西省共有农户8329800户^[8],每户拥有沼气256.07m³,显著低于全国平均水平(每户1184.30

m³)。随着畜禽养殖集约化程度的加深,山西省可将这一丰富的产沼气资源利用起来,有助于带动农村经济发展。

2.4 单位耕地面积总氮(磷)负荷

单位耕地面积的畜禽粪便负荷是环境风险评价的基础指标^[11]。假定收集畜禽粪尿时无损失且最后全部还田,运用公式(4)、(5)测算了2016年山西省各市的平均单位耕地面积畜禽粪尿氮、磷养分负荷量,分别为63.28、20.32kg·hm⁻²,均未超过欧盟粪肥年施氮和年施磷限量标准,这与杨飞等^[25]的研究结果相似。

但从区域分布的角度来看(图1),2016年山西省各市的氮耕地负荷均未超过粪肥年施氮限量标准,运城和临汾两市的氮、磷耕地负荷均低于全省的平均水平,这是因为这两个地区的有效耕地面积在全省居于前两位,可供消纳更多的畜禽粪便。各市氮耕地负荷由大到小依次为太原>晋中>大同>晋城>朔州>忻州>长治>吕梁>阳泉>临汾>运城。太原、晋城和晋中三市的单位耕地面积总磷负荷超过了欧盟粪肥年施磷限量标准,且这些地区的单位耕地面积总氮负荷也较高,农地已受到不同程度的污染,与张建杰等^[26]的研究结果一致。这是因为近年来随着国家政策的大力扶持,太原市的城市建设发展速度逐渐加快,并辐射至晋中等市,使有效耕地面积大幅减少,相应地,能消纳大量养殖废弃物的农地面积也在不断减少,导致耕地磷负荷增加。此外,晋中、晋城两市以饲养猪为主,猪粪便中的磷含量较高。各市磷耕地负荷由大到小依次为晋中>晋城>太原>长治>大同>阳泉>忻州>朔州>吕梁>运城>临汾。由此得出,虽然山西省的平均耕地面积总氮(磷)负荷均未超过欧盟限量标准,但一些市区的畜禽粪便中磷素负荷已超过标准的上限,所以要针对这些重点区域,采取有效措施,从而降低污染风险。

与欧洲相比,中国农地复种指数较高,农作物从

表5 2016年山西省各类畜禽粪便污染物产生量估测值(万t)

Table 5 Estimated value of pollutant emissions from livestock and poultry manure in Shanxi Province in 2016(10⁴ t)

种类Species	TN	TP	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N
猪Pig	3.38	1.27	19.92	19.46	1.62
牛Cow	6.51	1.07	26.44	20.63	2.68
羊Sheep	8.05	2.16	4.09	3.62	0.71
鸡Chicken	5.57	3.04	25.49	27.12	2.71
兔Rabbit	0.03	0.01	0.02	0.02	0
总和Total	23.54	7.56	75.97	70.85	7.72

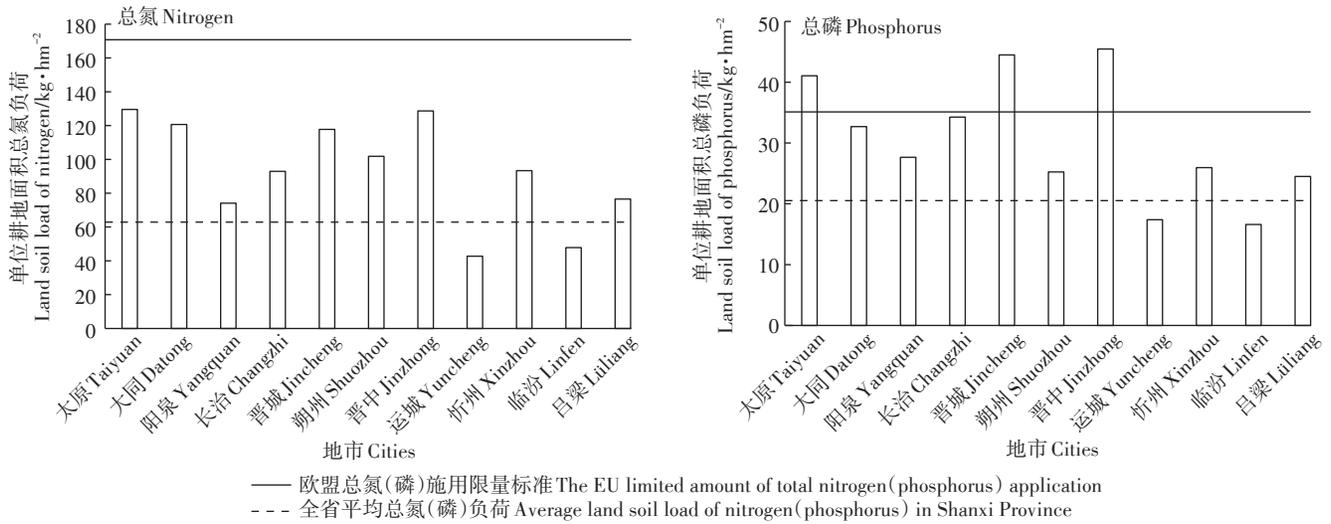


图1 2016年山西省单位耕地面积总氮和总磷负荷
Figure 1 Land soil load of total nitrogen and phosphorus in Shanxi Province in 2016

土壤中吸收氮磷总量也较大,故运用欧洲的粪肥年施氮(磷)限量标准会有所偏差,但我国尚未制定适合本国国情的标准,所以从整体趋势上此标准能一定程度上反映畜禽粪便对耕地的影响^[13]。

2.5 农田畜禽粪便负荷量的估算

因不同种类畜禽粪便的营养含量和农田施用量不同,若随意叠加,得出的农田畜禽粪便负荷值会偏离实际,故按照各类畜禽粪便的含氮量将其换算成猪粪当量^[10],猪粪当量负荷量可较直观地反映某一特定区域的畜禽粪便产生密度。目前我国畜禽粪便处理最广泛的模式是将其肥料化,其中未经处理直接还田的部分占处理总量的60%^[27],农田畜禽粪便负荷量估

算时应选用有效农田耕地面积。通过公式(6)计算可知,2016年山西省畜禽粪便猪粪当量为4 226.84万t,畜禽粪便负荷量为 $11.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,这与张建杰等^[26]的研究结果较为接近。山西省各市的畜禽粪便负荷量如表6所示,晋中、太原和晋城的农田畜禽粪便负荷量居于前三位,临汾和运城的负荷量最低,这与2016年山西省单位耕地面积总氮(磷)负荷的结果基本一致。此外,阳泉市的猪粪当量值最小,这是由于阳泉市是以资源开采为主的煤炭化工城市,养殖业不发达,各类畜禽养殖数量在全省均最少。

2.6 畜禽粪便耕地负荷预警值

农田畜禽粪便负荷量可以间接反映某一地区畜

表6 2016年山西省猪粪当量负荷及对环境的威胁分级

Table 6 Pig manure equivalent load and the classification of threat to the environment

地区 Areas	猪粪当量/万t Pig manure equivalent/10 ⁴ t	猪粪当量负荷量 Pig manure equivalent load/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	预警值 Alarm value (r)	预警级别 Classification level	对环境的威胁程度 The threat to environment
晋中 Jinzhong	699.29	24.18	0.81	Ⅲ	有 Medium
太原 Taiyuan	194.75	23.07	0.77	Ⅲ	有 Medium
晋城 Jincheng	382.34	21.83	0.73	Ⅲ	有 Medium
大同 Datong	607.97	20.23	0.67	Ⅱ	稍有 Slight
长治 Changzhi	446.09	17.88	0.60	Ⅱ	稍有 Slight
朔州 Shuozhou	493.21	16.78	0.56	Ⅱ	稍有 Slight
忻州 Xinzhou	734.04	15.77	0.53	Ⅱ	稍有 Slight
吕梁 Liliang	604.24	14.15	0.47	Ⅱ	稍有 Slight
阳泉 Yangquan	79.08	14.15	0.47	Ⅱ	稍有 Slight
临汾 Linfen	505.24	8.81	0.29	I	无 None
运城 Yuncheng	700.03	8.63	0.29	I	无 None
全省 Shanxi Province	4 226.84	11.36	0.38	I	无 None

禽饲养密度,但不能全面衡量该地区畜禽粪便是否超载以及是否对环境造成威胁,因此,对山西省畜禽粪便负荷量承受程度进行了预警与分级。由公式(7)计算可得,2016年山西省畜禽粪便耕地负荷预警值为0.38,为Ⅰ级,说明山西省农田环境对畜禽粪便负荷量普遍承受程度较高,但对各市的预警值进行计算可知,只有临汾和运城市畜禽粪便农田负荷量对环境暂无威胁, $r < 0.4$,为Ⅰ级;大同、长治、朔州、忻州、吕梁及阳泉畜禽粪便农田负荷量对环境稍有威胁, r 在0.4~0.7范围内,为Ⅱ级;污染最严重的晋中、太原及晋城的畜禽粪便农田承载力对环境有威胁, r 在0.7~1.0之间,为Ⅲ级。故应当对除临汾、运城外的其他地市的农田畜禽粪便总量加以控制。

3 结论

(1)2016年山西省畜禽粪污产生量为3 410.97万t,排放量位于前三位的畜禽种类为牛、羊、猪,因此山西省应密切关注这三类畜禽粪便的治理。

(2)山西省畜禽粪污的TN、TP、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N的总产生量分别为23.54、7.56、75.97、70.85万t和7.72万t。

(3)山西省畜禽粪便年产沼气潜力21.33亿m³,能源潜力相当于山西省天然气年消费量的25.42%。

(4)山西省平均单位耕地面积畜禽粪尿氮、磷养分负荷分别为63.28、20.32 kg·hm⁻²,均未超过欧盟粪肥年施氮和年施磷限量标准,但太原、晋城和晋中三市的单位耕地面积畜禽粪尿磷负荷超过了欧盟粪肥年施磷限量标准,且这些地区的单位耕地面积总氮负荷也较高,农地已受到污染。

(5)山西省猪粪当量畜禽粪便负荷量为11.36 t·hm⁻²·a⁻¹,畜禽粪便耕地负荷预警值为0.38,为Ⅰ级,对环境暂无威胁;但分区计算的结果表明,除了临汾和运城,山西省其他地市的畜禽粪便农田负荷量对环境有不同程度的威胁。

参考文献:

- [1] 赵元文. 发展沼气是治理畜禽粪便污染的捷径[J]. 农业工程技术, 2011(12):20-21.
ZHAO Yuan-wen. Developing biogas is a shortcut to control livestock and poultry manure pollution[J]. *Agricultural Engineering Technology*, 2011(12):20-21.
- [2] 翁伯琦, 雷锦桂, 江枝和, 等. 集约化畜牧业污染现状分析及资源化循环利用对策思考[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(增刊):294-299.

- WENG Bo-qi, LEI Jin-gui, JIANG Zhi-he, et al. Present situation analysis of intensive livestock pollution and countermeasures consideration of resource recycling[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(Suppl):294-299.
- [3] 张敏, 刘庆玉, 李金洋, 等. 沈阳地区畜禽粪便资源量概算及沼气潜力分析[J]. 中国沼气, 2012, 30(5):55-57.
ZHANG Min, LIU Qing-yu, LI Jin-yang, et al. Resource estimation of livestock and poultry manure and its biogas potentiality in Shenyang[J]. *China Biogas*, 2012, 30(5):55-57.
- [4] 王洋. 山西省对外开放发展阶段研究[J]. 时代金融, 2016, 21(7):74.
WANG Yang. Research on the development stage of Shanxi's opening to the outside world[J]. *Times Finance*, 2016, 21(7):74.
- [5] 崔新宇, 刘艳萍. 山西省畜牧业生产状况评价研究[J]. 山西农经, 2017(16):46-51.
CUI Xin-yu, LIU Yan-ping. Research on evaluation of animal husbandry production status in Shanxi Province[J]. *Shanxi Agricultural Economy*, 2017(16):46-51.
- [6] 中国畜牧兽医年鉴编辑委员会. 中国畜牧兽医年鉴2017[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
Editorial committee of China animal husbandry and veterinary yearbook. China animal husbandry and veterinary yearbook 2017[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2017.
- [7] 中华人民共和国国家统计局. 中国农村统计年鉴2017[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
National Bureau of Statistics of China. China rural statistical yearbook 2017[M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.
- [8] 山西省统计局. 山西统计年鉴2017[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
Shanxi Bureau of Statistics. Shanxi statistical yearbook 2017[M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.
- [9] 易秀, 叶凌枫, 刘意竹, 等. 陕西省畜禽粪便负荷量估算及环境承受程度风险评价[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3):205-210.
YI Xiu, YE Ling-feng, LIU Yi-zhu, et al. Estimations of livestock manure load and risk assessment of environmental tolerance in Shaanxi Province[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(3):205-210.
- [10] 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.
Department of Nature Environmental Conservation, Ministry of Environment Protection of the People's Republic of China. The pollution investigation and prevention countermeasures on national large-scale livestock and poultry breeding[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [11] 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.
WANG Fang-hao, MA Wen-qi, DOU Zheng-xia, et al. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(5):614-617.
- [12] 白明刚, 马长海. 河北省畜禽粪尿污染现状分析及对策[J]. 广东农

- 业科学, 2010, 37(2):161-164.
- BAI Ming-gang, MA Chang-hai. Analysis on present conditions and strategies of livestock excrement and urine pollution in Hebei Province[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2010, 37(2):161-164.
- [13] 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.
- GENG Wei, HU Lin, CUI Jian-yu, et al. Biogas energy potential for livestock manure and gross control of animal feeding in region level of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(1):171-179.
- [14] 郭冬生, 王文龙, 彭小兰, 等. 湖南省畜禽粪污排放量估算与环境效应[J]. 中国畜牧兽医, 2012, 39(12):199-204.
- GUO Dong-sheng, WANG Wen-long, PENG Xiao-lan, et al. The estimation of the production amount of livestock and poultry manure and its environmental effect in Hunan Province[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2012, 39(12):199-204.
- [15] 陈燕. 大连金州新区畜禽粪便污染及产沼气潜力分析[J]. 辽宁农业科学, 2014(2):11-14.
- CHEN Yan. Analysis of pollution from livestock and poultry fecal and potential of marsh gas product in Jinzhou new district Dalian City[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2014(2):11-14.
- [16] Henkens P L C M, Van Keulen H. Mineral policy in the Netherlands and nitrate policy within the European Community[J]. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 2001, 49(2/3):117-134.
- [17] Oenema O, Van Liere E, Plette S, et al. Environmental effects of manure policy options in the Netherlands[J]. *Water Science Technology*, 2004, 49(3):101-108.
- [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.
- ZHU Jian-chun, ZHANG Zeng-qiang, FAN Zhi-min, et al. Biogas potential, cropland load and total amount control of animal manure in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(3):435-445.
- [19] MAFF. Code of good agricultural practice for the protection of water, air and soil: Summary[R]. London: MAFF Welsh Office, 2003.
- [20] 黄凤霞, 田红, 邓也. 成都市畜禽粪便年排放量估算及耕地负荷量分析[J]. 现代农业科技, 2016(24):183-184.
- HUANG Feng-xia, TIAN Hong, DENG Ye. Analysis on total amount of domestic animal excrement and farmland load capacity in Chengdu City[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(24):183-184.
- [21] 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):6-11.
- SHEN Gen-xiang, WANG Ya-gu, YUAN Da-wei. Loading amounts of animal feces and their alarming values and classification grades in Shanghai suburbs[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 1994, 10(Suppl):6-11.
- [22] 陈康林, 李江涛, 钟晓兰, 等. 广东省畜禽粪便时空变化特征及耕地负荷分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(12):7177-7181, 7185.
- CHEN Kang-lin, LI Jiang-tao, ZHONG Xiao-lan, et al. Analysis on spatial-temporal variation characteristics and farmland load of poultry and livestock excrement in Guangdong Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(12):7177-7181, 7185.
- [23] 马林, 王方浩, 马文奇, 等. 中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8):170-174.
- MA Lin, WANG Fang-hao, MA Wen-qi, et al. Assessments of the production of animal manure and its contribution to eutrophication in northeast China for middle and long period[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8):170-174.
- [24] 张燕. 长治地区畜禽粪便资源化利用的初探[J]. 山西能源与节能, 2010(4):59-60.
- ZHANG Yan. A study on energy-oriented use of animal manure in Changzhi region[J]. *Shanxi Energy and Conservation*, 2010(4):59-60.
- [25] 杨飞, 杨世琦, 诸云强, 等. 中国近30年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5):1-11.
- YANG Fei, YANG Shi-qi, ZHU Yun-qiang, et al. Analysis on livestock and poultry production and nitrogen pollution load of cultivated land during last 30 years in China[J]. *Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(5):1-11.
- [26] 张建杰, 郭彩霞, 覃伟, 等. 山西省畜禽业发展及粪尿养分时空变异[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1):207-214.
- ZHANG Jian-jie, GUO Cai-xia, QIN Wei, et al. Temporal and spatial variability of livestock and poultry productions and manure nutrients in Shanxi Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(1):207-214.
- [27] 刘诗柱, 丰培. 中小型养殖场畜禽粪便处理技术[J]. 湖北畜牧兽医, 2017, 38(9):35-37.
- LIU Shi-zhu, FENG Pei. Livestock and poultry manure treatment technology in small and medium-sized farm[J]. *Hubei Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2017, 38(9):35-37.