

河北省规模肉鸭场粪污重金属和抗生素调查分析

马金智, 朱志平, 卢连水, 张万钦, 薛鹏英, 江旭东

引用本文:

马金智, 朱志平, 卢连水, 等. 河北省规模肉鸭场粪污重金属和抗生素调查分析[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(2): 421-427.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0979>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

奶牛场粪污制备卧床垫料过程中物料性质及污染物含量的周年变化规律

田雪力, 翟中葳, 丁飞飞, 杨凤霞, 张克强

农业环境科学学报. 2018, 37(3): 552-558 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0158>

典型养鸡场及其周边土壤中抗生素的污染特征和风险评估

涂棋, 徐艳, 李二虎, 师荣光, 郑向群, 耿以工

农业环境科学学报. 2020, 39(1): 97-107 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0823>

三类抗生素在两种典型猪场废水处理工艺中的去除效果

周婧, 支苏丽, 宫祥静, 杨凤霞, 谷艳茹, 丁飞飞, 张克强

农业环境科学学报. 2019, 38(2): 430-438 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1092>

华东地区典型畜禽养殖场重金属产污系数研究

钱晓雍, 王振旗, 沈根祥, 赵庆节, 徐昶, 付侃, 汤正泽

农业环境科学学报. 2020, 39(1): 201-206 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0882>

宁夏养鸡场粪污及周边土壤重金属和细菌群落特征研究

张俊华, 贾萍萍, 刘吉利, 孙媛, 尚天浩

农业环境科学学报. 2020, 39(8): 1692-1705 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0303>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

马金智, 朱志平, 卢连水, 等. 河北省规模肉鸭场粪污重金属和抗生素调查分析[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(2): 421–427.
MA Jin-zhi, ZHU Zhi-ping, LU Lian-shui, et al. Investigation and analysis of heavy metals and antibiotics in manure from large-scale meat duck production in Hebei Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(2): 421–427.



开放科学 OSID

河北省规模肉鸭场粪污重金属和抗生素调查分析

马金智¹, 朱志平^{1*}, 卢连水², 张万钦¹, 薛鹏英¹, 江旭东¹

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 河北东风养殖有限公司, 河北 沧州 062350)

摘要:为探究河北地区典型规模化肉鸭养殖场粪污中重金属和抗生素排放特征, 分别于2019年8月(夏季)和10月(秋季)定点监测8家规模化肉鸭养殖场饲料和粪污中的重金属; 于2020年4月按养殖方式监测17家规模化肉鸭养殖场(包含地面养殖4家、垫料养殖5家、网上平养8家)的粪污样品中重金属与抗生素。结果表明: 肉鸭饲料和粪污中重金属以Cu、Zn为主, 含量分布呈现出Zn > Cu > Cr > Pb > As > Cd的特点, 饲料与粪污中Zn呈极显著正相关($P < 0.01$)。依据德国腐熟堆肥限量标准, 粪污中存在Cu、Zn、Cr超标。不同养殖模式下, 肉鸭粪污中抗生素呈现出四环素类>喹诺酮类, 磺胺类与大环内酯类未检测出, 粪污中抗生素浓度呈现出地面养殖>网上平养>垫料养殖的特点。研究表明, 垫料养殖是一种环境污染物排放较少的肉鸭养殖模式。

关键词: 肉鸭饲料; 肉鸭粪污; 重金属; 抗生素; 规模化养殖场

中图分类号: X713 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2021)02-0421-07 doi:10.11654/jaes.2020-0979

Investigation and analysis of heavy metals and antibiotics in manure from large-scale meat duck production in Hebei Province, China

MA Jin-zhi¹, ZHU Zhi-ping^{1*}, LU Lian-shui², ZHANG Wan-qin¹, XUE Peng-ying¹, JIANG Xu-dong¹

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Hebei Dongfeng Breeding Co., Ltd, Cangzhou 062350, China)

Abstract: In order to explore the characteristics of heavy metals and antibiotics in manure from large-scale meat duck production in Hebei Province, heavy metals in feed and manure of eight large-scale meat duck farms were monitored in August (summer) and October (autumn) 2019, respectively. In April 2020, the heavy metals and antibiotics in manure samples were investigated from 17 large-scale duck farms with different breeding methods (4 breeding ground; 5 litter breeding; and 8 rack breeding). The results showed that the heavy metals in meat duck feed and manure were mainly Cu and Zn, and the content showed Zn > Cu > Cr > Pb > As > Cd. There was a highly significant positive correlation between Zn in feed and manure ($P < 0.01$). The Cu, Zn, and Cr levels in manure exceeded the German Compost Limit Standard. Under different breeding modes, the antibiotics in the meat duck manure showed tetracyclines > quinolones, whereas sulfa and macrolides were not detected. The concentration of antibiotics in the manure showed ground breeding > rack breeding > litter breeding. Studies have shown that litter farming is a mode of meat duck farming that emits less environmental pollutants.

Keywords: meat duck feed; meat duck manure; heavy metals; antibiotics; large-scale meat duck farm

随着畜禽养殖产业结构的调整, 我国肉鸭养殖规模逐渐朝着规模化、集约化发展。2019年世界肉鸭

出栏量约64.42亿只, 中国大陆肉鸭出栏质量占全球比重约68%^[1]。如此大规模的肉鸭养殖势必会产生大

收稿日期: 2020-08-20 录用日期: 2020-10-13

作者简介: 马金智(1996—), 男, 宁夏固原人, 硕士研究生, 主要从事农业废弃物处理与资源化利用研究。E-mail: 1448854483@qq.com

*通信作者: 朱志平 E-mail: zhuzhiping@caas.cn

基金项目: 国家水禽产业技术体系(CARS-42-23)

Project supported: The National Waterfowl Industry Technology System of China(CARS-42-23)

量粪污。晏婷等^[2]通过监测肉鸭4个季节的粪污排放特征,得出生长期一只肉鸭平均产粪量为 $314.7\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。按出栏一只肉鸭饲养周期 42 d 计算,仅2019年我国肉鸭粪污产生量达到0.58亿t。肉鸭粪污中存在着丰富的N、P、K等营养元素以及重金属和抗生素等污染物质^[4-6],具备资源利用价值与污染环境双重特质。若没有得到合理的处理利用,会造成环境污染、制约肉鸭产业的发展。目前,我国畜禽养殖废弃物研究主要集中在猪、鸡、牛^[7-10]等几种主要畜禽上,对于肉鸭养殖废弃物研究较少,尤其是肉鸭粪污中重金属与抗生素的污染特征鲜有报道。因此,有必要对肉鸭粪污中重金属与抗生素排放状况进行调查,为肉鸭粪污科学处理和安全还田利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

肉鸭粪污中重金属与抗生素的排放可能与生长季节、养殖方式、饲料摄入有关。因此,以生长后期的北京鸭为研究对象,采样地点为河北省肉鸭养殖主产区——献县和肃宁县的典型规模化肉鸭养殖场。于2019年8月(夏季)和10月(秋季)定点监测献县的8家规模化肉鸭养殖场饲料和粪污样品中重金属含量,并于2020年4月在肃宁县按不同养殖方式^[11]采集17家规模化肉鸭养殖场(包含地面养殖4家、垫料养殖5家、网上平养8家)的粪污,分析重金属与抗生素含量。

地面养殖和垫料养殖为肉鸭直接与地面、垫料接触的养殖模式,饲养密度为 $3\sim4\text{ 只}\cdot\text{m}^{-2}$;网上平养为在距地面一定高度搭建网架床,使得肉鸭与粪便不接触的养殖模式,饲养密度为 $4\sim5\text{ 只}\cdot\text{m}^{-2}$;各采样点的饲料均为养殖场从饲料厂购买的全价饲料。饲料样品直接从养殖场采样,低温密闭贮存,粪污样品的采集、运输、制备、保存依据《畜禽粪污监测技术规范》(GB/T 25169—2010)标准执行。

1.2 检测内容

检测不同季节肉鸭饲料与粪污中重金属,及不同养殖方式下肉鸭粪污中重金属与抗生素。重金属包括Cu、Zn、As、Pb、Cd、Cr。抗生素包括四环素类(四环素、多西环素、金霉素、土霉素)、磺胺类(磺胺嘧啶、磺胺脒、磺胺间甲氧嘧啶、磺胺二甲嘧啶、磺胺间二甲氧嘧啶、磺胺对甲氧嘧啶、磺胺甲噁唑)、大环内酯类(泰乐菌素、红霉素)、喹诺酮类(环丙沙星、氧氟沙星、诺

氟沙星、恩诺沙星)总计17种抗生素。

1.3 检测方法

重金属Cu、Zn、Pb、Cd、Cr采用 $\text{HNO}_3\text{--HClO}_4$ 消解-原子吸收分光光度法测定,As采用原子荧光光度法测定,设置5%的平行样和标准样品GSV-2进行质量控制^[12]。抗生素采用液相色谱-串联质谱法^[13]测定,质量控制采取空白样、平行样、标准物质控制法。

1.4 数据处理

使用Microsoft Office Excel 2019进行数据处理并作图,试验结果用“平均值 $\pm$ 标准差”表示。采用IBM SPSS Statistics 25.0进行显著性检验和相关性分析,以 $P<0.01$ 表示差异极显著, $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 不同季节肉鸭饲料和粪污中重金属含量变化特征

2.1.1 不同季节肉鸭饲料重金属含量特征

肉鸭饲料中重金属含量测定结果见表1。肉鸭饲料中各项重金属含量分布差异较大,以Cu、Zn为主,As、Pb、Cr、Cd的含量较低,分布呈现出 $\text{Zn}>\text{Cu}>\text{Cr}>\text{Pb}>\text{As}>\text{Cd}$ 的规律。饲料Cu、Zn的含量夏季分别为 $(15.18\pm19.79)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(20.89\pm3.79)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,秋季分别为 $(8.88\pm2.32)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $(99.86\pm12.33)\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。对肉鸭饲料中重金属进行整体分析,饲料中Cu、Zn含

表1 不同季节肉鸭饲料中重金属含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 1 Heavy metals content of meat duck feed in different seasons($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

季节 Seasons	重金属 Heavy metals	样本数 Sample number	范围 Distribution	中位数 Median	含量 Content
夏季	Cu	8	5.20~63.80	8.30	15.18 $\pm$ 19.79
	Zn	8	16.40~27.60	20.15	20.89 $\pm$ 3.79
	As	8	0~0.30	0	0.04 $\pm$ 0.11
	Pb	8	0~0.90	0.10	0.21 $\pm$ 0.29
	Cd	8	—	—	—
	Cr	8	0~1.60	0.80	0.76 $\pm$ 0.47
秋季	Cu	8	6.70~14.00	8.70	8.88 $\pm$ 2.32
	Zn	8	81.50~116.00	99.95	99.86 $\pm$ 12.33
	As	8	—	—	—
	Pb	8	0.20~0.80	0.35	0.41 $\pm$ 0.22
	Cd	8	—	—	—
	Cr	8	0.50~1.30	0.85	0.90 $\pm$ 0.29

注:“—”为未检测出。下同。

Note: “—” indicates not detected. The same below.

量占饲料重金属总量的16%、82%。对不同季节肉鸭饲料中重金属进行方差分析,秋季饲料Zn含量显著高于夏季($P < 0.01$)。依据《饲料卫生标准》(GB 13078—2017)中As、Pb、Cd、Cr的限量标准分别为2、5、0.5、5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,本研究所有样品的As、Pb、Cd、Cr均未超标。依据我国农业部2625号公告,Cu、Zn限量标准分别为25、120 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,本试验仅夏季有12.5%的样品Cu超标,其余样品均未超标。

2.1.2 不同季节肉鸭粪污中重金属含量特征

不同季节肉鸭粪污中重金属含量测定结果见表2。不同季节肉鸭粪污中各项重金属含量分布与饲料呈现相一致的规律。粪污中各项重金属含量之间存在较大差异,以Cu、Zn为主,粪污Cu、Zn含量夏季分别为 $(73.18 \pm 8.58) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(115.01 \pm 17.50) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别占夏季重金属总排放量的36%、57%;秋季分别为 $(62.05 \pm 7.58) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(538.75 \pm 97.75) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别占秋季重金属总排放量的10%、87%。不同季节重金属排放量呈现夏季小于秋季的特点。对肉鸭粪污中重金属进行整体分析,粪污中Cu、Zn含量占粪污中重金属总量的16%、80%。对不同季节肉鸭粪污中重金属进行方差分析,夏季粪污Cu含量显著高于秋季($P < 0.05$),而秋季粪污中Zn含量是夏季Zn含量的4.66倍,极显著高于夏季($P < 0.01$)。依据《有机肥料标准》(NY 525—2012),As、Pb、Cd、Cr的限量标准分别为15、50、3、150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,不同季节肉鸭粪污中重金属均未超标。《德国腐熟堆肥重金属限量标准》中Cu、Zn、Pb、Cd、Cr的限量标准分别为100、400、150、

1.5、100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,依据此标准,秋季粪污Zn有87.5%超标。

2.1.3 不同季节肉鸭饲料与粪污中重金属的相关性与累积系数分析

对不同季节肉鸭饲料与粪污中重金属的相关性进行分析,肉鸭饲料与粪污中Zn呈极显著正相关($r = 0.96, P < 0.01$),即饲料中Zn的含量越多,粪污中Zn残留量越多,Cu、Cr、As、Pb无显著相关性($P > 0.05$),Cd因在饲料中未检出故也不具备相关性。将粪污中某种重金属的质量分数除以对应饲料中该种重金属质量分数记为累积系数,Cu、Zn、As、Pb、Cd、Cr的累积系数分别为1.34~12.06、3.59~8.12、0~5.67、1.43~38.00、0、2.15~13.50。由累积系数知饲料中各项重金属经肉鸭体内排出均出现了不同程度的累积。

2.2 不同养殖方式肉鸭粪污中重金属及抗生素含量特征

2.2.1 不同养殖方式肉鸭粪污中重金属含量特征

从表3可见,不同养殖方式下肉鸭粪污中重金属含量特征呈现出与不同季节相一致的规律,以Cu、Zn为主。地面养殖Cu、Zn含量分别为 $(102.95 \pm 18.53) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(435.75 \pm 270.94) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别占地面养殖重金属总排放量的18%、77%;垫料养殖Cu、Zn含量分别为 $(112.00 \pm 22.44) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(303.60 \pm 81.64) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别占垫料养殖重金属总排放量的24%、66%;网上平养Cu、Zn含量分别为 $(95.60 \pm 41.36) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(577.13 \pm 161.42) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,分别占网上平养重金属总排放量的13%、78%。对不同养殖方式肉鸭粪污中重金属进行方差分析,网上平养的Zn含量显著高于垫料养殖($P < 0.05$),地面养殖的As含量显著高于网上平养($P < 0.05$)。依据《有机肥料标准》(NY 525—2012),As、Pb、Cd、Cr的限量标准分别为15、50、3、150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,不同养殖方式下肉鸭粪污中重金属均未超标。依据《德国腐熟堆肥重金属限量标准》,Cu、Zn、Pb、Cd、Cr的限量标准分别为100、400、150、1.5、100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,地面养殖粪污Cu有50%超标,Zn有25%超标,垫料养殖粪污Cu有60%超标,Zn有20%超标,网上平养粪污Cu有50%超标,Zn有88%超标、Cr有25%超标。

2.2.2 不同养殖方式肉鸭粪污中抗生素含量特征

不同养殖方式肉鸭粪污中抗生素含量见表4,由表可知3种养殖方式下肉鸭粪污中8种磺胺类抗生素与2种大环内酯类抗生素均未检出。四环素类中的四环素在地面养殖、垫料养殖、网上平养的含量分别

表2 不同季节肉鸭粪污中重金属含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 2 Heavy metals content in duck manure in different seasons($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

季节 Seasons	重金属 Heavy metals	样本数 Sample number	范围 Distribution	中位数 Median	含量 Content
夏季	Cu	8	53.20~95.70	73.10	73.18 ± 8.58
	Zn	8	88.00~146.00	113.00	115.01 ± 17.50
	As	8	0.40~6.00	2.00	2.38 ± 1.20
	Pb	8	1.50~8.10	2.90	3.46 ± 1.24
	Cd	8	0~0.15	0	0.04 ± 0.06
	Cr	8	3.20~16.70	6.80	7.41 ± 3.22
秋季	Cu	8	47.10~68.80	63.85	62.05 ± 7.58
	Zn	8	330.00~650.00	550.00	538.75 ± 97.75
	As	8	0.60~8.90	1.20	2.38 ± 2.76
	Pb	8	1.00~15.00	2.40	4.31 ± 4.64
	Cd	8	0.10~0.20	0.10	0.13 ± 0.05
	Cr	8	2.80~41.00	5.25	10.88 ± 13.02

表3 不同养殖方式肉鸭粪污中重金属含量(mg·kg⁻¹)
Table 3 Heavy metals content in duck manure from different breeding modes(mg·kg⁻¹)

类型 Types	重金属 Heavy metals	样本数 Sample	范围 Distribution	中位数 Median	含量 Content
地面养殖	Cu	4	82.00~124.00	102.50	102.95±18.53
	Zn	4	291.00~842.00	305.00	435.75±270.94
	As	4	1.70~4.90	3.25	3.28±1.66
	Pb	4	3.60~10.70	5.75	6.45±3.40
	Cd	4	0.10~0.20	0.20	0.17±0.06
	Cr	4	11.00~22.10	16.90	16.73±5.89
垫料养殖	Cu	5	79.50~133.00	118.00	112.00±22.44
	Zn	5	193.00~419.00	313.00	303.60±81.64
	As	5	0.80~3.20	3.10	2.42±1.05
	Pb	5	3.00~7.50	5.80	5.54±1.69
	Cd	5	0.20	0.20	0.20±0.00
	Cr	5	5.60~84.80	24.70	35.72±30.86
网上平养	Cu	8	52.60~184.00	88.65	95.60±41.36
	Zn	8	376.00~827.00	612.50	577.13±161.42
	As	8	0.60~2.50	1.35	1.46±0.72
	Pb	8	1.70~7.60	3.15	3.70±1.84
	Cd	8	0.10~0.20	0.20	0.16±0.05
	Cr	8	1.80~116.00	51.85	58.79±46.67

表4 不同养殖方式下肉鸭粪污中抗生素含量
Table 4 Antibiotic content in manure of meat duck under different breeding modes

种类 Types	含量 Content/(ng·g ⁻¹)			检出率 Detection rate/%		
	地面养殖 Ground breeding	垫料养殖 Litter breeding	网上平养 Rack breeding	地面养殖 Ground breeding	垫料养殖 Litter breeding	网上平养 Rack breeding
磺胺嘧啶	—	—	—	0	0	0
磺胺脒	—	—	—	0	0	0
磺胺间甲氧嘧啶	—	—	—	0	0	0
磺胺二甲嘧啶	—	—	—	0	0	0
磺胺间二甲氧嘧啶	—	—	—	0	0	0
磺胺对甲氧嘧啶	—	—	—	0	0	0
磺胺甲噁唑	—	—	—	0	0	0
磺胺噻唑	—	—	—	0	0	0
四环素	0.43±0.06	0.32±0.02	0.43±0.19	100	60	37.5
多西环素	0.45±0.19	—	—	100	0	0
金霉素	—	—	16.03	0	0	12.5
土霉素	45.22±27.72	—	—	100	0	0
泰乐菌素	—	—	—	0	0	0
红霉素	—	—	—	0	0	0
环丙沙星	2.62±2.41	0.71±0.42	0.33±0.01	100	100	100
氧氟沙星	10.00±0.15	10.96±0.83	9.69±0.06	100	40	87.5
诺氟沙星	—	—	4.42±0.12	0	0	25
恩诺沙星	12.02±11.90	0.76±0.05	0.70±0.02	100	80	75

为0.43、0.32、0.43 ng·g⁻¹,检出率依次是100%、60%、37.5%。多西环素与土霉素仅地面养殖检测到,分别为0.45、45.22 ng·g⁻¹,检出率均为100%。金霉素仅网

上平养检测到,含量为16.03 ng·g⁻¹,检出率为12.5%。喹诺酮类中的环丙沙星在地面养殖、垫料养殖、网上平养的含量分别为2.62、0.71、0.33 ng·g⁻¹,检出率均

为100%。喹诺酮类中的氧氟沙星在地面养殖、垫料养殖、网上平养的含量分别为10.00、10.96、9.69 ng·g⁻¹,检出率依次为100%、40%、87.5%。喹诺酮类中的诺氟沙星仅网上平养中检测出,含量为4.42 ng·g⁻¹,检出率为25%。喹诺酮类中的恩诺沙星在地面养殖、垫料养殖、网上平养的含量分别为12.02、0.76、0.70 ng·g⁻¹,检出率依次为100%、80%、75%。肉鸭粪污中四环素类和喹诺酮类含量分别占全部抗生素含量的55%和45%,对肉鸭粪污中抗生素进行方差分析,地面养殖中的环丙沙星和恩诺沙星分别与垫料养殖和网上平养的环丙沙星和恩诺沙星存在显著性差异($P < 0.05$)。

3 讨论

饲料是畜禽生长过程中获得营养物质的必经途径,其中的微量元素是维持生命代谢和生长所必需的物质^[14],本研究中肉鸭饲料和粪污中重金属含量呈现以Cu、Zn为主的特点,与单英杰等^[15]研究一致,且肉鸭粪污中存在Cu、Zn、Cr超标现象,与茹淑华等^[16]对河北省猪、鸡、牛粪中重金属含量调查研究得出重金属超标前3位的是Cu、Zn、Cr相一致,分析产生的原因是Cu、Zn是动物生长必需的微量元素,能促进动物的生长发育^[17],Cr能改善胴体的品质^[18],因此,为了促进肉鸭的生长,动物饲料中会对Cu、Zn、Cr的添加有所偏重,但只有少部分被动物吸收,绝大多数会随着粪污排出到动物体外^[19],从而导致肉鸭粪污中Cu、Zn含量较高且存在Cu、Zn、Cr超标的现象。因此,肉鸭粪污还田,需根据施用环境和处理方式,防止相关重金属累积造成超限的问题。对肉鸭饲料和粪污中重金属进行相关性分析,饲料与粪污中Zn呈正相关关系,这与沃琴等^[20]对肉鸭的研究结果相一致,Cd在饲料中未检出却在粪污中出现了累积,在统计学上不具备相关性,这与Wang等^[21]研究结果一致,分析Cd在粪污中出现累积的可能原因是来源于高Cd补充剂^[22]。秋季肉鸭饲料中Zn含量极显著高于夏季($P < 0.01$),分析原因是饲料中添加适量的Zn可以提高动物的采食量和日增体质量,夏季气温高,肉鸭容易产生热应激,采食量和日增体质量都会下降,而秋季环境温度适宜,适度提高肉鸭饲料的Zn可以提高采食量,从而实现出栏体质量增加的目标^[23-25]。

在肉鸭生长过程中,为预防疾病与促进生长,会对其使用药用抗生素和饲用抗生素^[26]。肉鸭粪污中抗生素主要是四环素类和喹诺酮类,呈现出四环素类>

喹诺酮类的规律,其中磺胺类和大环内酯类未检出,这与任君焄等^[27]对猪、鸡、牛粪中抗生素的调查呈现出的规律基本一致。据报道四环素类抗生素是畜禽养殖业中使用量最高的^[28],而本研究肉鸭粪污中四环素含量最高,可能原因也是来自于肉鸭养殖中的高使用量。3种养殖方式抗生素排放量呈现出地面养殖>网上平养>垫料养殖的特点,说明垫料养殖环境优于地面养殖和网上平养。我国目前尚无针对畜禽粪污抗生素排放浓度的限量标准,但据报道堆肥中喹诺酮类抗生素很难降解^[29]。因此,在肉鸭养殖过程中应注意喹诺酮类抗生素的使用。

4 结论

(1)河北省规模化肉鸭养殖场饲料与粪污中各项重金属含量之间存在差异,重金属含量以Cu、Zn为主,呈现出Zn>Cu>Cr>Pb>As>Cd的特点。饲料与粪污中Zn呈极显著正相关($P < 0.01$),且粪污中各项重金属均呈现不同程度的累积,证明肉鸭粪污中重金属主要来源于饲料的摄入。

(2)依据《德国腐熟堆肥重金属限量标准》,河北省规模化肉鸭养殖场粪污中存在Cu、Zn、Cr超标。粪污中抗生素主要是四环素类和喹诺酮类,且呈现出四环素类>喹诺酮类的规律,磺胺类和大环内酯类均未检出。因此在肉鸭养殖中应注意重金属和抗生素使用和排放的问题。

(3)河北省规模化肉鸭养殖场粪污中重金属与抗生素在不同季节和不同养殖模式下表现出差异性。不同季节夏季重金属排放量小于秋季重金属排放量,不同养殖模式下抗生素排放量呈现出地面养殖>网上平养>垫料养殖的特点,表明垫料养殖可以实现较少的有害物质排放,是一种较优的养殖模式。

参考文献:

- [1] 侯水生,刘灵芝. 2019年水禽产业现状、未来发展趋势与建议[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(3): 130-135. HOU Shui-sheng, LIU Ling-zhi. The current situation, future development trends and suggestions of the waterfowl industry in 2019[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2020, 56(3): 130-135.
- [2] 晏婷,朱志平,高理福,等. 肉鸭粪便排放特征的季节性变化[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 115-123. YAN Ting, ZHU Zhi-ping, GAO Li-fu, et al. Seasonal variation of meat duck manure production characteristics[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(1): 115-123.
- [3] 黄水生. 不同能量和蛋白水平日粮对肉鸭生产性能、胴体指标和经济效益的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010: 3. HUANG Shui-

- sheng. Effect of different energy and protien levels in diet feeding on growth performance, dressed carcass target and econominc efficiency for ducks[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010: 3.
- [4] 林勇, 章小婷, 计徐, 等. 肉鸭发酵床抗生素、重金属累积及细菌耐药性的演变特性[J]. 微生物学报, 2015, 55(4): 457-466. LIN Yong, ZHANG Xiao-ting, JI Xu, et al. Accumulation of antibiotics, heavy metals and antimicrobial-resistant bacteria in duck bio-bed[J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2015, 55(4): 457-466.
- [5] 章小婷. 肉鸭发酵床垫料菌群结构演替、大肠杆菌耐药性和锌抗性的关系研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 1-11. ZHANG Xiao-ting. Succession of microflora in duck bio-bed, relationship of antimicrobial and metal resistance of *Escherichia coli*[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015: 1-11.
- [6] Kamelia M O, Jihan B, Ahmed O, et al. Poultry as a vector for emerging multidrug resistant *Enterococcus* spp: First report of *Vancomycin* (van) and the *Chloramphenicol-florfenicol* (cat-fex-cfr) resistance genes from pigeon and duck faeces[J]. *Microbial Pathogenesis*, 2019, 128: 195-205.
- [7] 董红敏. 推动环境治理 促进乡村振兴[N]. 中国环境报, 2020-06-30 (3). DONG Hong-min. Promote environmental governance and promote rural revitalization[N]. China Environment News, 2020-06-30 (3).
- [8] 邹威, 金彩霞, 魏闪, 等. 华北地区不同规模畜禽养殖场粪污中抗生素抗性基因污染特征[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11): 2640-2652. ZOU Wei, JIN Cai-xia, WEI Shan, et al. Occurrence of antibiotic resistance genes in livestock farms of different scales in North China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(11): 2640-2652.
- [9] 王飞, 邱凌, 沈玉君, 等. 华北地区饲料和畜禽粪污中重金属质量分数调查分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 261-267. WANG Fei, QIU Ling, SHEN Yu-jun, et al. Investigation and analysis of heavy metal contents from livestock feed and manure in North China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(5): 261-267.
- [10] 黄红卫, 吴彦虎, 李晓梅, 等. 宁夏规模养殖场畜禽粪污养分含量和重金属、抗生素残留量测定及安全性评估[J]. 农业科学研究, 2018, 39(2): 1-8. HUANG Hong-wei, WU Yan-hu, LI Xiao-mei, et al. Measurement of nutrient content, heavy metal and antibiotic residue in livestock and poultry manure[J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 39(2): 1-8.
- [11] 廖晓光, 李东生, 廖玉英, 等. 我国肉鸭主要养殖模式及存在的问题[J]. 现代农业科技, 2015(20): 234-235. LIAO Xiao-guang, LI Dong-sheng, LIAO Yu-ying, et al. The main breeding models of meat ducks in my country and the existing problems[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2015(20): 234-235.
- [12] 王飞, 赵立欣, 沈玉君, 等. 华北地区畜禽粪便有机肥中重金属含量及溯源分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 202-208. WANG Fei, ZHAO Li-xin, SHEN Yu-jun, et al. Analysis of heavy metal contents and source tracing in organic fertilizer from livestock manure in North China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(19): 202-208.
- [13] 吴丹, 韩梅琳, 邹德勋, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测鸡粪中16种残留抗生素[J]. 分析化学, 2017, 45(9): 1389-1396. WU Dan, HAN Mei-lin, ZOU De-xun, et al. Ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of 16 kinds of residual antibiotics in chicken manure[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 45(9): 1389-1396.
- [14] 王玉婷, 吕梦园, 韩新燕. 宁波地区不同规模猪场粪污中重金属含量分析[J]. 家畜生态学报, 2016, 37(3): 55-58. WANG Yu-ting, LÜ Meng-yuan, HAN Xin-yan. Content analysis of heavy metals in manure samples from different scales of pig farms in Ningbo City[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2016, 37(3): 55-58.
- [15] 单英杰, 章明奎. 不同来源畜禽粪的养分和污染物组成[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(1): 80-86. SHAN Ying-jie, ZHANG Ming-kui. Contents of nutrient elements and pollutants in different sources of animal manures[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(1): 80-86.
- [16] 茹淑华, 苏德纯, 张永志, 等. 河北省集约化养殖场畜禽粪污中重金属含量及变化特征[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(6): 533-539. RU Shu-hua, SU De-chun, ZHANG Yong-zhi, et al. Contents and characteristics of heavy metals in the livestock and poultry manure from the large-scale farms in Hebei Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(6): 533-539.
- [17] 郝二英, 张楠楠, 檀晓萌, 等. 微量元素在家禽生产中的应用研究[J]. 饲料广角, 2014(19): 44-46. HAO Er-ying, ZHANG Nan-nan, TAN Xiao-meng, et al. Application of trace elements in poultry production[J]. *Feed China*, 2014(19): 44-46.
- [18] 董志岩, 方桂友, 陈一萍, 等. 有机铬在养猪生产中的应用[J]. 福建畜牧兽医, 2006, 28(1): 19-20. DONG Zhi-yan, FANG Gui-you, CHEN Yi-ping, et al. Application of chromium in pig production[J]. *Fujian Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2006, 28(1): 19-20.
- [19] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, et al. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2004, 16(3): 371-374.
- [20] 洪琴, 林丽娟, 周岩民. 肉鸭饲料及粪便中主要成分的调查分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 155-157. FU Qin, LIN Li-juan, ZHOU Yan-min. Investigation and analysis of main components in meat duck feed and manure[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(1): 155-157.
- [21] Wang H, Dong Y H, Yang Y Y, et al. Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, 25(12): 2435-2442.
- [22] Nicholson F A, Chambers B J, Williams J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales[J]. *Bioresource Technology*, 1999, 70(1): 23-31.
- [23] 万晓莉, 薛现凤, 崔秀梅, 等. 不同月份和季节对肉鸭生产性能影响的研究[C]//2010山东饲料科学技术交流大会论文集. 山东: 山东畜牧兽医学会, 2010. WAN Xiao-li, XUE Xian-feng, CUI Xiu-mei, et al. Study on the influence of different months and seasons on

- meat duck production performance[C]//Proceedings of the 2010 Shandong Feed Science and Technology Exchange Conference. Shandong: Shandong Society of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2010.
- [24] 崔秀梅, 杨在宾, 杨维仁, 等. 肉鸭不同季节蛋白质需要量及析因模型比较研究[J]. 饲料工业, 2011, 32(11): 13-16. CUI Xiu-mei, YANG Zai-bin, YANG Wei-ren, et al. Study on protein requirements and factorial model of cherry valley ducks in different seasons[J]. *Feed Industry*, 2011, 32(11): 13-16.
- [25] 林勇, 王建军, 施振旦, 等. 不同季节与饲养密度条件下发酵床养殖对肉鸭生产性能的影响[J]. 家畜生态学报, 2015, 36(3): 78-82. LIN Yong, WANG Jian-jun, SHI Zhen-dan, et al. Effect of deep litter system on the production performance of meat duck in different seasons and with stocking densities[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2015, 36(3): 78-82.
- [26] 薛喜梅. 肉鸭饲料的选择与使用[J]. 水禽世界, 2016(2): 14-17. XUE Xi-mei. Selection and use of meat duck feed[J]. *Waterfowl World*, 2016(2): 14-17.
- [27] 任君焄, 徐琳. 山东东营地区畜禽粪污中抗生素残留研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2019(6): 56-59. REN Jun-tao, XU Lin. Study on antibiotic residues in livestock and poultry manure in Dongying District, Shandong[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2019(6): 56-59.
- [28] 王瑞, 魏源送. 畜禽粪便中残留四环素类抗生素和重金属的污染特征及其控制[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(9): 1705-1719. WANG Rui, WEI Yuan-song. Pollution and control of tetracyclines and heavy metals residues in animal manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(9): 1705-1719.
- [29] 宋婷婷, 朱昌雄, 薛莲, 等. 养殖废弃物堆肥中抗生素和抗性基因的降解研究[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(5): 933-943. SONG Ting-ting, ZHU Chang-xiong, XUE Sha, et al. Degradation of antibiotics and antibiotic resistance genes during composting of livestock waste: A review[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(5): 933-943.