

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.190644

晏婷, 朱志平, 高理福, 卢连水, 孙海层, 余鑫, 骆乾亮. 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 T, ZHU Z P, GAO L F, LU L S, SUN H C, YU X, LUO Q L. Seasonal variation of meat duck manure production characteristics[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(1): 115–123

肉鸭粪便排放特征的季节性变化*

晏婷^{1,2}, 朱志平^{1**}, 高理福², 卢连水³, 孙海层⁴, 余鑫¹, 骆乾亮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. 西南科技大学土木工程与建筑学院 绵阳 621000;
3. 河北东风养殖有限公司 沧州 062350; 4. 河北省肃宁县农业局 沧州 062350)

摘要: 本研究旨在探讨肉鸭粪便的特性, 并对其不同季节的污染物排放特征进行评价, 为肉鸭养殖场废弃物处理和资源化利用提供依据。分4个季节进行了北京Z型肉鸭饲养试验(饲养期37 d), 记录采食量、产粪量, 并定期测定饲料和粪便中水分和有机质含量及总氮(TN)、P、Cu、Zn含量。结果表明: 肉鸭粪便中Zn含量秋季最高, TN、P、Cu含量均为冬季最高; 冬季粪便中TN含量极显著高于夏、秋两季($P<0.01$); P、Cu含量在冬季均极显著高于其余季节($P<0.01$); 粪便中Cu、Zn含量均为春季最低。肉鸭粪便平均含水率为84.61%, 夏季最高, 春季最低; 平均有机质含量为83.38%, 表现为冬>春>秋>夏。春夏秋冬四季的粪便产生量分别为 $338.3\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{只}^{-1}$ 、 $275.9\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{只}^{-1}$ 、 $317.6\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{只}^{-1}$ 和 $327.0\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{只}^{-1}$, 夏季最低。TN、P、Cu、Zn的排泄系数分别为 $2.13\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{只}^{-1}$ 、 $2.48\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{只}^{-1}$ 、 $2.56\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{只}^{-1}$ 、 $21.10\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{只}^{-1}$; 春冬两季的TN日排泄量显著高于夏秋两季; P的日排泄量表现为冬季极显著高于其余3个季节; 夏季Cu的日排泄量与春季差异不显著, 极显著低于秋、冬两季($P<0.01$)。TN在秋季排泄占比最低, 春季最高; 而P排泄占比为秋季最高, 春季最低。肉鸭在饲养期TN、P、Cu、Zn的排泄量与对应元素的摄入量具有极显著的正相关关系($P<0.01$)。研究表明: 季节因素能对肉鸭粪便中含水率、有机质、TN、P、Cu和Zn含量产生显著影响, 同时各季节各元素的排泄量与相应元素的摄入量显著相关。

关键词: 肉鸭; 粪便; 排放特征; 季节性变化

中图分类号: X713

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Seasonal variation of meat duck manure production characteristics*

YAN Ting^{1,2}, ZHU Zhiping^{1**}, GAO Lifu², LU Lianshui³, SUN Haiceng⁴, YU Xin¹, LUO Qianliang¹

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. College of Civil Engineering & Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China; 3. Hebei Dongfeng Breeding Co. LTD, Cangzhou 062350, China; 4. Suning County Agricultural Bureau of Hebei Province, Cangzhou 062350, China)

Abstract: This study aimed to explore the characteristics of the manure of meat duck, and to assess its characteristics of pollutant emission in different seasons, so as to provide a basis for waste disposal and resource utilization of meat duck farms.

* 国家水禽产业技术体系(CARS-42-23)和国家重点研发计划项目(2018YFC0213300)资助

** 通信作者: 朱志平, 研究方向为畜禽环境效用机理及调控方法。E-mail: zhuzhiping@caas.cn

晏婷, 主要从事水禽粪便处理与资源化利用研究。E-mail: lql1016yt@163.com

收稿日期: 2019-09-03 接受日期: 2019-11-20

* This study was supported by the National Waterfowl Industry Technology System of China (CARS-42-23) and the National Key R&D Program of China (2018YFC0213300).

** Corresponding author, E-mail: zhuzhiping@caas.cn

Received Sep. 3, 2019; accepted Nov. 20, 2019

Feeding experiments were conducted in 4 seasons and 100 Pekin type Z meat ducks were raised in each season for 37 days. Their food intake and manure production were recorded daily, and the relevant components in the feed and manure were measured regularly. Results showed that the Zn content in duck manure was the highest in autumn, whereas TN, P, and Cu contents were the highest in winter. In winter, TN content in manure was significantly higher than that in summer and autumn. P and Cu contents in winter were significantly higher than that in all other seasons. Cu and Zn contents in manure were the lowest in spring. Average moisture content of duck manure was 84.61%, being the highest in summer and lowest in spring. Average content of organic matter was 83.38%, and the seasons ranked winter > spring > autumn > summer. Manure productions were $338.3 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$, $275.9 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$, $317.6 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$, and $327.0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$ in spring, summer, autumn, and winter, respectively. Excretion coefficients of TN, P, Cu, and Zn were $2.13 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$, $2.48 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$, $2.56 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$, and $21.10 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$, respectively. Daily excretion of TN in spring and winter was significantly higher than that in summer and autumn, daily excretion of P was significantly higher in winter than in the other seasons, and daily excretion of Cu in summer was not significantly different from that in spring but significantly lower than that in autumn and winter. TN excretion accounted for the lowest proportion in autumn and the highest in spring, whereas P excretion accounted for the highest proportion in autumn and the lowest in spring. There was a highly significant positive correlation between the excretion of TN, P, Cu, and Zn and the intake of the corresponding elements. This research showed that seasonal (dietary) factors can significantly affect moisture content, organic matter, TN, P, Cu, and Zn contents in the manure of meat duck. There were significant differences in feed intake, manure production, and TN, P, Cu, and Zn excretion among the seasons, and the excretion of each element in each season was significantly correlated with the intake of the corresponding element.

Keywords: Meat duck; Manure; Production characteristics; Seasonal variation

肉鸭是主要畜禽种类之一, 2018 年世界出栏量为 47.4 亿只, 而中国的鸭养殖量占全球的 74.3%^[1]。如此大规模的肉鸭养殖产业必然产生大量的粪便, 随着《畜禽规模养殖污染防治条例》^[2]、《国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》^[3]等相关文件的颁发, 肉鸭规模养殖受环境约束越来越明显, 为了达到科学合理处理和利用肉鸭粪污的目的, 肉鸭粪污的产排特征等基础数据是关键。国内外在生猪等主要畜禽粪尿产生量和粪便特性方面开展了大量研究^[4-8], 但是关于肉鸭粪污研究文献较少。刘嘉莉^[9]对白洋淀鸭养殖粪便排放规律进行了研究, 随机选择 20 只肉鸭连续 5 d 对其所产生的鸭粪进行称重, 得出鸭粪产生干物质质量为 $0.13 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 。丁君辉等^[10]于肉鸭 28 日龄、56 日龄时采用部分收粪法对 4 种饲养方式下(地面水养、网床水养、网床旱养、地面旱养)肉鸭粪便中总氮(TN)、总磷(TP)、Cu、Zn 等物质的含量进行了检测, 发现不同饲养方式对肉鸭粪污化学成分有一定的影响; 单英杰等^[11]分别从规模化养殖场和农户家庭小规模畜禽舍采集了共 18 个鸭粪样, 分析发现规模化养殖场产生的鸭粪中 Cu、Zn 含量分别为农户家庭养殖的 5.45 倍和 3.60 倍, 而 N、P 含量规模化养殖场与农户家庭之间差异不显著。但上述关于肉鸭粪便特性的研究均基于只采集粪便样本进行监测, 未进行全饲养期的监测和采样, 缺乏

系统地研究不同日龄肉鸭产粪特征及季节因素对肉鸭粪便排放特征影响, 难以为肉鸭养殖场粪污产生量估算、粪污处理设施建设和资源化利用提供依据。为此, 本研究通过对春、夏、秋、冬 4 个季节日粮变化下肉鸭全饲养期采食量和产粪量的监测, 以及对各季节日粮和粪便中相关成分的检测, 探究不同季节肉鸭粪便排泄量和粪便中主要成分排放特征规律, 为肉鸭养殖场固体废弃物处理工程设计、控制肉鸭粪污污染及其资源化利用提供一定的计算参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2017 年冬季和 2018 年春季、夏季、秋季在国家水禽体系沧州综合试验站进行。4 个季节的试验鸭舍内温度范围和平均温度如表 1 所示。每个季节选用 1 日龄北京 Z 型肉鸭雏鸭各 100 只, 随机分成 12 个笼, 养殖密度为 $4 \sim 5 \text{ 只} \cdot \text{m}^{-2}$ ^[12], 每笼饲养 8~9 只, 双层笼养。单元笼长宽高尺寸为 $1.5 \text{ m} \times 1.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$, 每笼下设接粪盘, 笼外侧挂水槽, 饲料由饲料盘供应。白天日光照, 夜间供给弱光照, 定期打疫苗和消毒, 一个生长周期为 37 d。每天记录每组肉鸭的采食量, 采用全粪收集法测定每组试验肉鸭的每日粪便产生量, 每 5 d 采集粪便样品, 分析粪便样品的含水率、有机质、TN、P(以 P_2O_5 计)、Cu 和 Zn 等指

标, 分析方法见文献[13]。

1.2 试验日粮

试验期间肉鸭自由采食颗粒料, 饲料为养殖场购买的全价配合饲料。由于温度对肉鸭营养需求有一定的影响^[14], 且肉鸭在各日龄段对各营养物质的吸收能力不同^[15], 所以不同季节不同日龄段肉鸭的

日粮成分有所差异, 如为了减轻蛋白质在肉鸭体内降解利用所带来的体增热负担, 一般将夏季肉鸭饲料中蛋白质水平尽可能处于低限^[16]。每个季节肉鸭饲养期内分两个阶段(1~14 d 和 15~37 d)对日粮进行采样, 分析日粮的含水率、TN、TP、Cu 和 Zn 等指标, 不同季节各阶段日粮主要成分如表 2 所示。

表 1 试验鸭舍内不同季节的平均温度

Table 1 Average temperature of different seasons inside the duck house

季节 Season	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
变化范围 Variation range	10~30	22~35	15~35	8~22
平均值 Mean	19.1±4.3	28.6±2.4	22.2±4.5	16.8±3.2

表 2 不同季节肉鸭试验日粮主要成分(风干基础)

Table 2 Main components of experimental diets of meat duck at different feeding phases in different seasons (in dry basis)

季节 Season	日龄阶段 Feeding phases (d)	含水率 Moisture content (%)	总氮 Total nitrogen ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	总磷 Total phosphorus ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	铜 Cu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	锌 Zn ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
春季 Spring	1~14	9.20	31.7	14.32	14.40	102.40
	15~37	10.30	33.5	18.52	20.60	109.80
夏季 Summer	1~14	17.59	23.6	12.71	6.90	110.30
	15~37	20.95	27.4	13.36	5.30	119.70
秋季 Autumn	1~14	9.19	35.0	7.21	23.00	120.00
	15~37	9.12	31.0	6.55	13.85	125.00
冬季 Winter	1~14	11.88	37.1	17.99	37.90	130.80
	15~37	12.42	28.8	16.99	32.70	127.60

1.3 粪便和相关元素排放特征值计算

肉鸭是直肠动物, 粪便和尿液混合排出。参考畜禽养殖业产污系数计算方法^[17], 肉鸭粪便产生总量和各污染物产生量估算公式^[18]为: 粪便产生总量=饲养只数×饲养天数×日排泄系数, 各元素产生量=粪便产生总量×粪便中各元素浓度值。以此来获得单只肉鸭饲养期粪便产生量以及元素排放特征值。

1.4 数据分析

试验数据应用Excel 2016软件整理、绘制图表, 并进行单因子方差分析、回归分析以及 t 检验; 采用IBM SPSS Statistics 25.0软件进行相关性分析, 采用Duncan法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同季节肉鸭日粮和粪便中相关元素含量

如表2所示, 各季节间日粮中TN和Zn含量差异较小, 而P和Cu含量差异较大。冬季肉鸭日粮TN、TP、Cu、Zn含量均高于其余季节, 其中TN含量的最高值(冬季)是最低值(夏季)的1.29倍, TP含量的最高值(冬季)是最低值(秋季)的2.55倍, Cu含量的最高值(冬季)是最低值(夏季)的5.79倍, Zn含量的最高值(冬

季)是最低值(春季)的1.22倍。

从表3可以看出, 肉鸭粪便中TN、P、Cu和Zn含量在不同季节之间均有显著差异, 除Zn含量为秋季最高外, TN、P、Cu含量均为冬季最高。冬季粪便中TN含量与春季的差异不显著($P>0.05$), 但极显著高于夏、秋两季($P<0.01$); P、Cu含量在冬季均极显著高于其余季节($P<0.01$); Cu在春夏两季, Zn在秋冬两季间差异均不显著($P>0.05$); 粪便中Cu、Zn含量均为春季最低。

相关分析表明, 粪便中TN、P含量与日粮中TN、P含量间具有正相关关系, 相关系数(r)分别为0.67、0.72, 但均未达到显著性水平($P>0.05$); 粪便中Cu、Zn含量与日粮中Cu、Zn含量之间具有正相关关系, 相关系数(r)分别为0.85、0.92($P>0.05$), 即日粮中TN、P、Cu、Zn含量越多, 粪便中残留量越多。

2.2 不同季节肉鸭粪便含水率、有机质含量分析

图1为不同季节饲养过程中肉鸭粪便的含水率和风干基础有机质含量。4个季节肉鸭粪便中含水率和有机质含量均具有极显著性差异($P_{\text{含水率}}=0.005\ 6$, $P_{\text{有机质}}=8.44\times 10^{-13}$)。粪便含水率、有机质含量的变化随日龄无明显的变化规律。由于夏季炎热, 肉鸭饮水量大, 导致夏季在各日龄段粪便中含水率均高于其余3个

表 3 不同季节肉鸭粪便中氮、磷(P₂O₅)、铜和锌含量(风干基础)Table 3 Contents of total nitrogen, total phosphorus (P₂O₅), Cu and Zn in meat duck manure in different seasons (in dry basis)

季节 Season	总氮 Total nitrogen (g·kg ⁻¹)	磷 Phosphorus (g·kg ⁻¹)	铜 Cu (mg·kg ⁻¹)	锌 Zn (mg·kg ⁻¹)
春 Spring	46.5±7.7ABa	41.3±1.8BCbc	26.59±2.01Cc	310.49±24.97Cc
夏 Summer	34.9±3.6Cb	48.1±8.3Bb	29.48±2.07Cc	396.59±75.36BCb
秋 Autumn	37.4±7.3BCb	33.7±6.7Cc	63.99±21.96Bb	516.06±84.29Aa
冬 Winter	49.6±4.9Aa	72.7±11.8Aa	85.97±10.73Aa	486.54±68.24ABa

不同小写字母和大写字母分别表示不同季节间差异显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)。Different lowercase letters and capital letters indicate significant differences among seasons at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels, respectively.

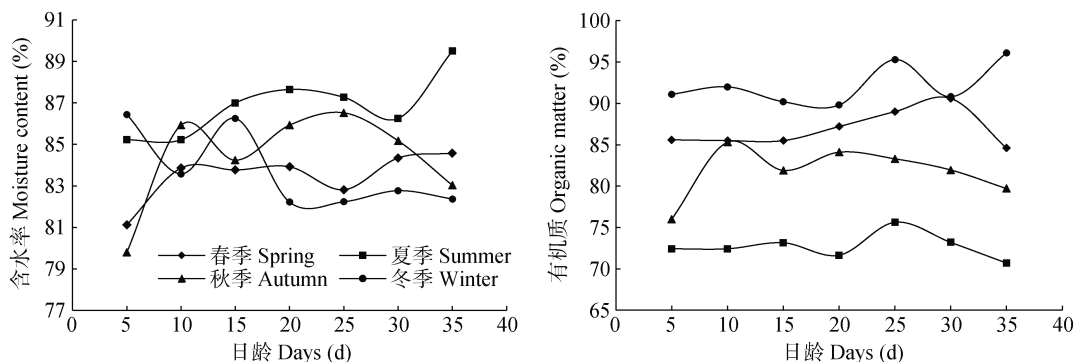


图 1 不同季节肉鸭粪便含水率、有机质含量(风干基础)的变化趋势

Fig. 1 Trend of moisture content, organic matter content (in dry basis) in meat duck manure in different seasons

季节,夏季平均含水率为 $86.88\% \pm 1.5\%$, 而最低的是春季($83.49\% \pm 1.2\%$)。4 个季节饲养期内肉鸭粪便平均含水率为 $84.61\% \pm 1.6\%$ 。不同季节肉鸭饲养期内粪便有机质含量变化范围为 $70.70\% \sim 96.10\%$, 具体表现为冬季>春季>秋季>夏季。4 个季节饲养期内肉鸭粪便平均有机质含量为 $83.38\% \pm 8.28\%$ 。

2.3 不同季节肉鸭采食量和粪便产生量变化趋势及其相关关系

图 2 为不同季节单只肉鸭饲养期内日采食量和产粪量随日龄变化的趋势图。由图可知,粪便产生量和采食量变化趋势一致,随着日龄的增加均逐渐增加。前 20 日龄,各季节间肉鸭采食量和产粪量基本一致,差异不显著($P_{\text{采食量}}=0.721$, $P_{\text{产粪量}}=0.898$)。但随着日龄增加,肉鸭采食量和产粪量受季节影响增大。饲养 21 日龄后,冬季采食量增长最快,春季和秋季采食量增长相对平缓,夏季采食量增长迟缓,4 个季节间采食量差异极显著($P < 0.01$)。粪便产生量夏季随日龄变化与其余 3 个季节之间存在极显著性差异($P < 0.01$),日产粪量显著低于其余季节;而春季、秋季、冬季饲养期内随日龄变化产粪量无显著性差异($P > 0.05$)。春、夏、秋、冬 4 个季节饲养期内(37 d)单只肉鸭累积采食量分别为 $6\,742.53\text{ g} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $5\,056.45\text{ g} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $5\,946.51\text{ g} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $7\,518.56\text{ g} \cdot \text{只}^{-1}$,夏

季最少,冬季最多;累积粪便产生量分别为 $12\,178.24\text{ g} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $9\,930.78\text{ g} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $11\,432.01\text{ g} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $11\,770.15\text{ g} \cdot \text{只}^{-1}$,即为春季>冬季>秋季>夏季。春季、夏季、秋季和冬季肉鸭日均采食量分别为 $187.3\text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $140.5\text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $165.2\text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 和 $208.8\text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$,日均粪便产生量分别为 $338.3\text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $275.9\text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $317.6\text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 和 $327.0\text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 。虽然夏季采食量和产粪量都是最低,但夏季粪便产生量为采食量的 1.96 倍,高于其他 3 个季节,这是由于夏季高温,肉鸭饮水量大,粪便含水率高,所以在相同的采食量下,粪便产生量会明显高于其他季节;而春、夏、秋、冬季单只肉鸭饲养期内日产生的粪便干物质质量占日采食干物质质量分别为 $31.0\% \pm 5.6\%$ 、 $29.6\% \pm 8.3\%$ 、 $31.8\% \pm 7.0\%$ 和 $27.8\% \pm 4.8\%$,冬季占比最低。

4 个季节单只肉鸭日采食量与粪便日产生量间的回归分析拟合优度 R^2 均大于 0.8,肉鸭日采食量和粪便日产生量具有极显著的正相关关系($P < 0.01$),即单只肉鸭粪便日产生量随着日采食量的增加而增加。整合本研究 4 个季节肉鸭饲养期内粪便日排泄量(y , $\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$)与平均日采食量(x , $\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$)的回归分析,可得回归公式为: $y = 1.944\,7x - 26.516$ ($R^2 = 0.991\,8$, $P = 5.1 \times 10^{-37}$)

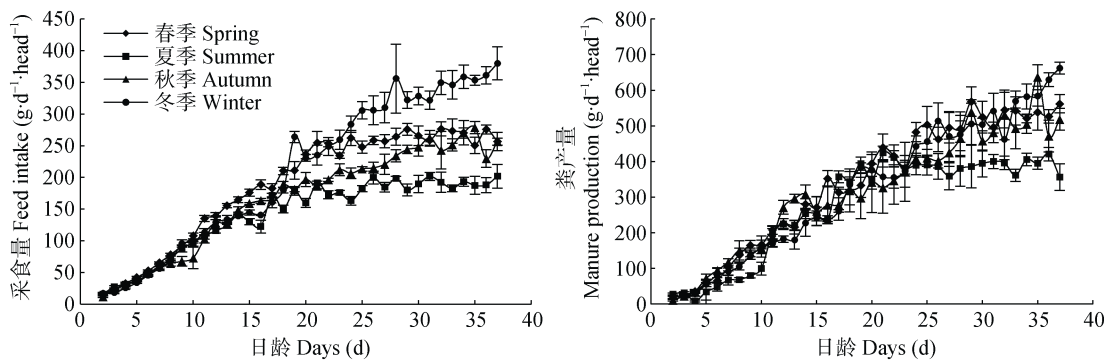


图 2 不同季节肉鸭饲养期内采食量和产粪量的变化趋势
Fig. 2 Trends of feed intake and manure production of meat duck during feeding period in different seasons

表 4 不同季节肉鸭总氮、磷(P₂O₅)的日摄入量 and 日排泄量
Table 4 Daily intake and daily excretion of total nitrogen and phosphorus (P₂O₅) of meat duck in different seasons

季节 Season	总氮 Total nitrogen			磷 Phosphorus		
	日摄入量 Daily intake (g·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	日排泄量 Daily excretion (g·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	排泄占比 Excretion ratio (%)	日摄入量 Daily intake (g·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	日排泄量 Daily excretion (g·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	排泄占比 Excretion ratio (%)
春 Spring	5.56±2.65Aab	2.58±1.50ABa	42.9±10.5	6.65±3.57Aa	2.27±1.18Bb	33.6±7.4
夏 Summer	3.05±1.18Bc	1.29±0.69Cb	38.7±12.5	3.45±1.34Bb	1.84±1.07Bb	47.1±18.4
秋 Autumn	4.72±2.22Ab	1.87±1.23BCb	36.8±10.6	2.38±1.11Bb	1.65±0.94Bb	65.2±15.2
冬 Winter	6.04±3.15Aa	2.78±1.90Aa	41.4±12.8	7.36±4.11Aa	4.17±3.06Aa	49.9±15.4
平均值 Mean	4.84±1.31	2.13±0.69	40.0±0.03	4.96±2.41	2.48±1.15	49.0±0.13

不同小写字母和大写字母分别表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。Different lowercase letters and capital letters indicate significant differences at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

2.4 不同季节肉鸭粪便中 TN、P、Cu 和 Zn 排泄特征分析

2.4.1 TN、P 排泄特征分析

由表4可以看出,单只肉鸭TN日摄入量和日排泄量均表现为冬季>春季>秋季>夏季,P日摄入量和日排泄量均表现为冬季>春季>夏季>秋季。单只肉鸭饲养期内TN、P的平均日摄入量分别为4.84 g·d⁻¹·只⁻¹、4.96 g·d⁻¹·只⁻¹,平均日排泄量分别为2.13 g·d⁻¹·只⁻¹、2.48 g·d⁻¹·只⁻¹。TN在秋季排泄占比(排泄量占饲料摄入量的比例)最低,春季最高,而P排泄占比正好相反,表现为秋季最高,春季最低。4个季节肉鸭平均TN、P的排泄量占比分别为40.0%、49.0%。

通过方差分析可得出,季节对单只肉鸭饲养期内TN、P的日摄入量和日排泄量有显著影响,其中TN日摄入量夏季极显著低于其余季节($P<0.01$),夏季和秋季显著低于冬季($P<0.05$),春冬两季差异不显著($P>0.05$);而TN的日排泄量整体表现为春冬两季显著高于夏秋两季($P<0.05$)。P的日摄入量在春冬两季极显著高于夏秋两季($P<0.01$);P日排泄量则表现为冬季极显著高于其余3个季节($P<0.01$),春夏秋3个季节间差异不显著($P>0.05$)。4个季节的肉鸭饲养期间每日通过粪便排泄的TN、P量与相应的摄入

量均具有较强的正相关关系($r>0.8$)。

2.4.2 Cu、Zn 排泄特征分析

如表 5 所示,单只肉鸭在各季节饲养期内Cu的日摄入量顺序为冬季>春季>秋季>夏季,日排泄量为冬季>秋季>春季>夏季;Zn的日摄入量和日排泄量排序均为冬季>秋季>春季>夏季。显著性分析发现,夏季Cu的日摄入量显著低于秋季($P<0.05$),极显著低于春冬两季($P<0.01$),而其日排泄量与春季差异不显著($P>0.05$),但极显著低于秋冬两季($P<0.01$);冬季Zn日摄入量显著高于春秋两季($P<0.05$),极显著高于夏季($P<0.01$),而其日排泄量与秋季差异不显著($P>0.05$),极显著高于春夏两季($P<0.01$)。各季节单只肉鸭饲养期内Cu、Zn的平均日摄入量分别为2.97 mg·d⁻¹·只⁻¹、18.51 mg·d⁻¹·只⁻¹,平均日排泄量分别为2.56 mg·d⁻¹·只⁻¹、21.10 mg·d⁻¹·只⁻¹;Cu、Zn的排泄量分别占摄入量的47.6%、89.3%以上,且排泄占比均在春季最低,秋季最高。

图 3 为不同季节Cu和Zn饲养期内摄入量和排泄量之间的关系图。秋季由于饲料Cu含量较低,而畜禽消化微量元素有一定的周期,导致粪便中Cu含量降低回升有所滞后,故相关性较低。其余季节Cu和四季Zn的摄入量和排泄量之间拟合优度 R^2 均大于0.8, $P<0.01$ 。表明4个季节的肉鸭饲养期每日Cu

表 5 不同季节肉鸭铜、锌的日摄入量和日排泄量

Table 5 Daily intake and daily excretion of Cu and Zn of meat duck in different seasons

季节 Season	铜 Cu			锌 Zn		
	日摄入量 Daily intake (mg·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	日排泄量 Daily excretion (mg·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	排泄占比 Excretion ratio (%)	日摄入量 Daily intake (mg·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	日排泄量 Daily excretion (mg·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	排泄占比 Excretion ratio (%)
春 Spring	3.15±1.78Bb	1.46±0.77Cc	47.6±9.0	18.14±8.74Ab	17.30±9.47Bb	89.3±18.5
夏 Summer	0.65±0.26Cd	1.04±0.50Cc	151.8±38.3	13.20±5.44Bc	14.60±8.28Cc	99.1±34.1
秋 Autumn	1.81±1.02Cc	2.90±1.61Bb	178.7±110.4	19.03±9.40Ab	24.83±12.5ABa	131.2±26.9
冬 Winter	6.29±3.46Aa	4.83±3.31Aa	70.7±19.2	23.60±13.10Aa	27.67±19.04Aa	105.0±27.8
平均值 Mean	2.97±2.43	2.56±1.71	112.2±62.9	18.51±4.26	21.10±6.16	106.2±17.9

不同小写字母和大写字母分别表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)。Different lowercase letters and capital letters indicate significant differences at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

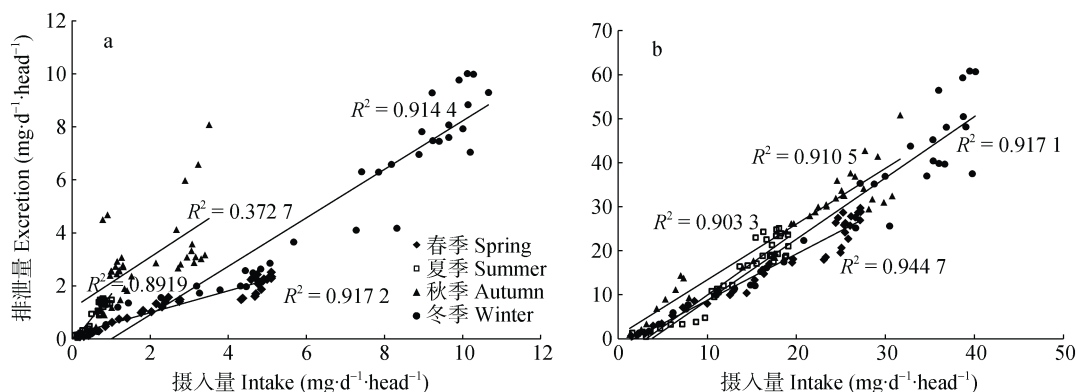


图 3 不同季节肉鸭饲养期内 Cu(a)和 Zn(b)摄入量和排泄量之间的关系

Fig. 3 Relationship between intake and excretion of Cu (a) and Zn (b) during the feeding period of meat duck in different seasons

和Zn排泄量与日粮相应物质的摄入量之间均具有极显著的正相关关系,即Cu和Zn排泄量随摄入量的增加而增加。

3 讨论

3.1 肉鸭日粮和粪便中相关元素含量分析

商品代北京鸭TN、TP、Cu、Zn营养需要量分别为2.56%~3.2%、0.55%~0.65%和8 mg·kg⁻¹、60 mg·kg⁻¹[19]。参照农业农村部2018年7月1日实施的《饲料添加剂安全使用规范》(第2625号)[20],肉鸭日粮中Cu、Zn的最高限量分别为25 mg·kg⁻¹、120 mg·kg⁻¹。本研究试验日粮TN含量基本满足营养需要量;所有试验日粮样品中TP含量均显著高于需要量;除夏季日粮中Cu含量低于需要量外,其余日粮中Cu含量均高于需要量,且两个样本Cu含量超标,超标率为25%;所有试验日粮中Zn含量均显著大于需要量,且3个样本Zn含量超标,超标率为37.5%。参照德国腐熟堆肥重金属限量标准中对Cu、Zn的限量标准分别为100 mg·kg⁻¹、400 mg·kg⁻¹[21],试验采集的粪便样品中Cu含量有1个超标,超标率为3.6%;有17个样品Zn含量超标,超标率为60.7%。因此整体呈

现出日粮中各元素含量过多高于需要量,粪便中重金属高超标率的状况。

本研究结果显示,日粮中相关元素含量与粪便中对应元素含量存在一定的相关性,这与沃琴等[22]在肉鸭饲料及粪便调查分析中得出的粪便中TN、P与饲料中含量呈弱正相关,Cu、Zn含量与饲料中含量显著正相关的结果基本一致。郭勇庆等[23]调查发现中国饲养标准推荐的肉鸭磷需要量高于美国饲养标准,有降低的潜力;同时有研究[24]表明饲料中Cu和Zn的超量使用是导致畜禽粪便中高浓度Cu和Zn残留的根本原因。根据吕明斌等[25]研究,在肉鸭日粮中添加植酸酶能显著提高肉鸭日粮N、P利用率,降低N、P排泄量;邢芳芳等[26]以甘氨酸铜和蛋氨酸铜替代无机铜以降低饲料中Cu的添加量,效果良好,可明显减少环境污染。

3.2 季节对肉鸭粪便特性的影响

本研究发现季节因素对肉鸭粪便各成分含量有较为显著的影响。有机质含量排序为冬季>春季>秋季>夏季,这与杨硕等[27]对羊粪便中有机质含量在夏秋两季均高于春冬两季的探究结果正好相反,而

与郭建凤等^[28]得出的保育猪粪便中有机质含量以冬季最高,春季其次的研究结果一致。畜禽粪便主要是饲料经消化后未被吸收利用的残渣,不同畜禽种类其饮食习性和消化吸收都有不同,粪便中有机质来源于摄入的日粮,因此有机质在各季节粪便中含量还会因日粮成分、畜种不同而有所差异。

季节因素对粪便中TN含量影响显著,其中春、冬两季显著高于夏、秋两季,夏季最低。沈丰菊等^[29]发现,不同季节猪场主要污染物TN含量季节性差异较明显,夏季明显低于春、秋、冬季;潘越博^[30]在规模化奶牛场污染状况研究中结果显示,TN含量春季高于其他3个季节,夏季最低,与本试验结果大体一致。本研究中肉鸭采食量和产粪量春、冬两季均高于夏、秋两季,且春、冬两季气温较低,提高了日粮中的蛋白含量来增加其降解所带来的热量,因此导致了粪便中N含量的上升。

本试验中,P含量在冬季极显著高于其余3季,秋季最低,这与荆红俊等^[31]报道的山羊粪便中P含量春、夏季高于秋、冬季不太相符,可能与畜种有关,且山羊采食的牧草养分含量随季节有很大变化,尤其春、夏季牧草肥沃,P含量高。而本试验肉鸭在冬季采食量大,粪便水分含量低,导致排泄物中P含量高。Cu、Zn是促进肉鸭生长必需的微量元素,代谢后的Cu、Zn主要从粪便中排泄,只有极少部分从汗液和脱落的羽毛中排出。本试验结果表明,肉鸭粪便中Cu含量在冬季极显著高于其余3个季节,Zn含量以秋季最高,粪便中Cu、Zn含量均以春季最低,可能是春季适宜的温度有助于肉鸭对Cu、Zn的消化吸收。

3.3 季节对肉鸭粪便排放特征的影响

本研究发现季节因素显著影响肉鸭产粪量,夏季的试验肉鸭整个饲养期间无不适症状出现,生产性能与其余3个季节无明显差异,但夏季产粪量显著低于其余季节,这可能源于夏季炎热,易引起热应激反应,致使肉鸭采食量低,从而产粪量少,且肉鸭无汗腺,夏季通过加大饮水量带走体内热量,导致夏季粪便中含水率显著高于其余季节。冬季粪便干物质量排泄占比最低,这可能与冬季气温低,肉鸭体内需要消耗更多的能量来维持体温,不宜排泄过多流失体内热量有关。本试验中春、夏、秋、冬肉鸭粪便产生量分别为 $338.3 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $275.9 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 、 $317.6 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 和 $327.0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$ 。试验用鸭为北京Z型肉鸭,其饲养期为37日龄左右。据上述研究发现肉鸭粪便产生量随日龄的增加而增加,故饲养天数对肉鸭粪便日排泄系数的估算有一定的

影响,且季节因素对肉鸭产粪量具有显著性影响,以致本研究由4个季节肉鸭粪便产生量得出肉鸭平均日产粪量为 $314.7 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$,而本试验所得肉鸭日均采食量约为 $175.5 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$,与实际养殖过程中肉鸭产粪量约为采食量的2倍大体相符。因此在计算肉鸭年产粪量时应尽可能考虑到肉鸭饲养周期以及季节因素对肉鸭产粪量产生的影响,选择更为科学合理的产粪量系数,减少与实际值间的差距。

本试验结果显示单只肉鸭TN日排泄量春、冬两季显著高于夏、秋两季,但王诚等^[32]研究发现,夏季猪TN的产污系数极显著大于其他季节,排列顺序为:夏>春>冬>秋,说明夏季高温导致TN代谢水平降低对肉鸭TN排泄的影响较对猪的影响小,肉鸭TN排泄量较大程度上还是取决于采食量和产粪量大小。本试验中P的日排泄量表现为冬季极显著高于其余3个季节,春、夏、秋3个季节间P的日排泄量差异不显著。郭德杰等^[6]在进行不同猪群粪、尿产生量的监测时发现,各猪群冬季P的日产生量高于其他季节,与本研究结果一致。从本试验中各元素在各季节的排泄占比,可以看出肉鸭对TN、P、Cu、Zn吸收的季节性变化,TN、P的排泄量占比分别为40.0%、48.95%,TN在秋季排泄占比最低,春季最高,而磷排泄占比为秋季最高,春季最低。Cu、Zn的排泄占比均在春季最低,秋季最高,且Cu、Zn的排泄量分别占摄入量的47.6%、89.3%以上,甚至超出通过采食饲料摄入的Cu、Zn量,这可能受饮水中含有大量的Cu、Zn等元素的影响。我国传统的肉鸭养殖过程日粮中N、P、Cu、Zn含量大多超出肉鸭日常营养需求,以致于肉鸭排泄物中残留大量的养分和重金属对环境造成严重的污染。

4 结论

肉鸭在不同季节之间的采食量、产粪量以及各污染物含量、排泄量都存在显著性差异,且肉鸭在饲养期间相关元素的排泄量与对应元素的摄入量具有极显著的正相关关系。因此肉鸭养殖场进行污染物排放控制时应根据季节的变化适当调整饲养管理及控制措施,根据肉鸭粪便的季节性差异特点进行贮存与利用,在进行鸭场固体废弃物处理设施设计时,避免估算的固体粪便收集量偏离实际而导致的不必要的损失,规模养殖场可根据土地承载能力确定肉鸭养殖场的适宜养殖规模,实现种养结合的绿色养殖模式。同时为减少肉鸭粪便对环境的污染,应从源头上入手,在配置肉鸭日粮时,应根据不同季节肉鸭的营养需要来合理配置,这样既满足不同

季节生产的需要, 又能降低污染产生量; 在满足肉鸭生长需求条件下, 尽可能使用低蛋白质、低磷日粮, 在日粮中添加酶制剂、益生菌、酸化剂以及调控原料加工来调高饲料的消化吸收率, 不仅能够提高肉鸭的生产性能, 而且能够降低污染物排放量, 为肉鸭产业探索出一条健康、环保可持续发展之路。

参考文献 References

- [1] 侯水生. 2018 年度水禽产业发展现状、未来发展趋势与建议[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(3): 129–133
HOU S S. Development status, future development trend and suggestions of waterfowl industry in 2018[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2019, 55(3): 129–133
- [2] 中华人民共和国国务院. 畜禽规模养殖污染防治条例[EB/OL]. (2013-11-26). http://www.gov.cn/zhengce/content/2013-11/26/content_4550.htm
State Council of the People's Republic of China. Pollution Control Regulation of Scale Breeding of Livestock and Poultry [EB/OL]. (2013-11-26). http://www.gov.cn/zhengce/content/2013-11/26/content_4550.htm
- [3] 中华人民共和国国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见[EB/OL]. (2017-06-12) http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm
General Office of the State Council of the People's Republic of China. On Accelerating the Utilization of Livestock and Poultry Waste Resources[EB/OL]. (2017-06-12) http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm
- [4] 朱志平, 董红敏, 尚斌, 等. 规模化猪场固体粪便收集系数与成分测定[J]. 农业工程学报, 2006, 22(S2): 179–182
ZHU Z P, DONG H M, SHANG B, et al. Measurement of solid manure collection coefficient and composition on a concentrated pig farm[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(S2): 179–182
- [5] 张玲清, 田宗祥. 规模化养猪场粪便污水检测及对环境的影响[J]. 中国猪业, 2009, 4(8): 23–24
ZHANG L Q, TIAN Z X. Large-scale pig farm fecal sewage detection and its impact on the environment[J]. China Swine Industry, 2009, 4(8): 23–24
- [6] 郭德杰, 吴华山, 马艳, 等. 不同猪群粪、尿产生量的监测[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(3): 516–522
GUO D J, WU H S, MA Y, et al. Monitoring of the amount of pig manure and urine in different swineries[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2011, 27(3): 516–522
- [7] 栾冬梅, 李士平, 马君, 等. 规模化奶牛场育成牛和泌乳牛产排污系数的测算[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 185–189
LUAN D M, LI S P, MA J, et al. Calculation of pollutants producing and discharging coefficients of heifers and lactating dairy cows in large-scale dairy farms[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(16): 185–189
- [8] 彭小珍. 蛋鸡粪便排泄量估算和粪污管理信息系统研制[D]. 广州: 华南农业大学, 2012
PENG X Z. Estimation of excretion and development of manure management information system for laying hens[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2012
- [9] 刘嘉莉. 白洋淀鸭养殖粪便排放规律及源头减排效果研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011
LIU J L. Study on the law of manure emissions and the effect of reduction by duck farm controlled into the Baiyangdian from the source[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2011
- [10] 丁君辉, 邱俊, 李翔宏, 等. 不同饲养方式对肉鸭粪污化学成分的影响[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2013, (2): 14–16
DING J H, QIU J, LI X H, et al. Effects of different feeding methods on the chemical composition of meat duck feces[J]. Jiangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2013, (2): 14–16
- [11] 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 Y J, ZHANG M K. Contents of nutrient elements and pollutants in different sources of animal manures[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(1): 80–86
- [12] 赵泽. 北京鸭肥育期精管措施[J]. 农村养殖技术, 2012(14): 20–21
ZHAO Z. Measures of Peking duck fine canal during fattening period[J]. Rural Animal-Production Technology, 2012(14): 20–21
- [13] 李国刚. 固体废物试验与监测分析方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003
LI G G. Solid Waste Testing and Monitoring Methods[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003
- [14] 张慧玲. 不同季节和饲养方式对樱桃谷肉鸭生产性能、营养需要和产肉性能影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010
ZHANG H L. Effects of different seasons and feeding on the growth performance, nutritional needs and meat performance of ducks[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2010
- [15] 曹正锋. 不同日龄肉鸭肌肉发育及营养物质沉积研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2018
CAO Z F. Comparison on development and nutrient contents of muscle in meat-type ducks at different ages[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2018
- [16] 沈正海. 夏季肉鸭的抗热应激技术措施[J]. 山东畜牧兽医, 2018, 39(6): 17
SHEN Z H. Technical measures of heat stress of meat duck in summer[J]. Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2018, 39(6): 17
- [17] 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
DONG H M, ZHU Z P, HUANG H K, et al. Pollutant generation coefficient and discharge coefficient in animal production[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 303–308
- [18] 阎波杰, 赵春江, 潘瑜春, 等. 规模化养殖畜禽粪便量估算及环境影响研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(7): 733–737
YAN B J, ZHAO C J, PAN Y C, et al. Estimation of the amount of livestock manure and its environmental influence of large-scaled culture based on spatial information[J]. China

- Environmental Science, 2009, 29(7): 733–737
- [19] 中华人民共和国农业部. NY/T 2122—2012, 肉鸭饲养标准[S]. 2012
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 2122—2012, Nutrient requirements of meat-type duck[S]. 2012
- [20] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业部公告第2625号《饲料添加剂安全使用规范》. [EB/OL]. (2017-12-15). http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/gg/201712/t20171227_6126064.htm
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Announcement No. 2625 of the Ministry of Agriculture, PRC. Code for the Safe Use of Feed Additives[EB/OL]. (2017-12-15). http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/gg/201712/t20171227_6126064.htm
- [21] VERDONCK O. Compost specifications[J]. Acta Horticulturae, 1998, (469): 169–178
- [22] 沈琴, 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 Q, LIN L J, ZHOU Y M. Investigation and analysis of main components of feed and excrement of meat duck[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(1): 155–157
- [23] 郭勇庆, 屠焰, 张乃锋, 等. 中国饲料磷推荐水平及磷酸盐应用现状和优化分析[J]. 中国农业科学, 2018, 51(3): 581–592
- GUO Y Q, TU Y, ZHANG N F, et al. Current situation and optimization strategy of phosphorus recommendation level and phosphate application of feed in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(3): 581–592
- [24] 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 R, WEI Y S. Pollution and control of tetracyclines and heavy metals residues in animal manure[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2013, 32(9): 1705–1719
- [25] 吕明斌, 孙作为, 燕磊, 等. 植酸酶对樱桃谷肉鸭生长性能和氮、磷排泄的影响[J]. 中国家禽, 2014, 36(1): 30–33
- LYU M B, SUN Z W, YAN L, et al. Effects of phytase on growth performance and excretion of nitrogen and phosphorus of cherry valley meat ducks[J]. China Poultry, 2014, 36(1): 30–33
- [26] 邢芳芳, 燕富永, 孔祥峰, 等. 甘氨酸铜、蛋氨酸铜替代硫酸铜对仔猪血清生化指标的影响[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(3): 378–380
- XING F F, YAN F Y, KONG X F, et al. Effects of gly-Cu and met-Cu replacing copper sulfate as dietary additive on serum biochemical parameters of piglets[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2008, 24(3): 378–380
- [27] 杨硕, 丁莹, 娜仁花, 等. 季节对规模化羊场粪便污染特性的影响[J]. 家畜生态学报, 2017, 38(5): 60–63
- YANG S, DING Y, NA R H, et al. Effect of seasons on feces discharge in large-scale sheep farms[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2017, 38(5): 60–63
- [28] 郭建凤, 王诚, 张印, 等. 规模猪场不同阶段猪粪便特性检测[J]. 养猪, 2012, (2): 62–64
- GUO J F, WANG C, ZHANG Y, et al. Characteristics of pig manure at different stages in large-scale pig farms[J]. Swine Production, 2012, (2): 62–64
- [29] 沈丰菊, 韩建华, 赵润, 等. 不同季节猪场主要污染物含量变化规律及处理效果研究[J]. 家畜生态学报, 2019, 40(6): 78–83
- SHEN F J, HAN J H, ZHAO R, et al. Variation of main pollutants and treatment effects in different seasons for pig farm[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2019, 40(6): 78–83
- [30] 潘越博. 甘肃省规模化奶牛场污染状况与防治对策研究[J]. 中国奶牛, 2009, (3): 49–51
- PAN Y B. Study on pollution situation and prevention measures of large-scale dairy farm in Gansu Province[J]. China Dairy Cattle, 2009, (3): 49–51
- [31] 荆红俊, 丁莹, 王月, 等. 季节对内蒙古白绒山羊采食牧草及粪便特性的影响[J]. 畜牧与饲料科学, 2015, 36(8): 26–30
- JING H J, DING Y, WANG Y, et al. Effects of seasons on forage ingestion and fecal characteristics in inner Mongolian white cashmere goats[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2015, 36(8): 26–30
- [32] 王诚, 张印, 蔺海朝, 等. 猪粪尿中 N、P、Cu、Zn 排放量的测定与分析[J]. 家畜生态学报, 2011, 32(4): 81–84
- WANG C, ZHANG Y, LIN H C, et al. Measurement and analysis on N, P, Cu and Zn excretion in pig faeces and urine[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2011, 32(4): 81–84