

迪娜·吐尔生江, 贾宏涛, 王 农, 等. 黄淮海地区商品鸡饲料中重金属含量特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(11): 2603–2612.

Dina TURSENJAN, JIA Hong-tao, WANG Nong, et al. Characteristics of heavy metals in chicken feedingstuff of the Huang-huai-hai Region[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(11): 2603–2612.

黄淮海地区商品鸡饲料中重金属含量特征研究

迪娜·吐尔生江^{1,2}, 贾宏涛¹, 王 农², 闫翠侠^{1,2}, 罗文文², 纪艺凝^{2,3}, 孙约兵^{2*}

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 农业农村部环境保护科研监测所 农业农村部产地环境污染防控重点实验室/天津市农业环境与农产品安全重点实验室, 天津 300191; 3. 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要:为了从源头有效控制家禽养殖重金属污染, 本文调查了黄淮海地区(北京、天津、河南、河北、山东、江苏、安徽)180个商品鸡饲料样品, 分析了不同省市、不同养殖品种和不同生育期饲料中 Mn、Cu、Zn、Cr、Ni、Cd、Pb 和 As 8 种重金属含量特征。结果表明: 黄淮海地区鸡饲料中重金属含量变化幅度较大, 饲料样品中 Cr、Mn、Ni、Cu、Zn、As、Cd 和 Pb 含量范围分别为 0.05~9.91、52.59~726.68、0.02~6.84、12.74~458.70、34.09~594.78、0.01~3.98、0.01~1.96 mg·kg⁻¹ 和 0.02~10.76 mg·kg⁻¹, 与我国《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004) 含量相比, 饲料样品 Mn、Cu、Zn 超标率分别为 99.1%、100%、69.0%, 与《饲料卫生标准》(GB 13078—2001) 含量相比, 饲料样品中 Pb、Cd 含量超标率为 39.7%、23.50%。不同省市鸡饲料中重金属的含量存在一定差异, 总体上来看, 安徽省鸡饲料中重金属含量最高, 天津市鸡饲料中含量最低。蛋鸡 Mn、Cu、Zn 含量最大检出量分别为 680.86、458.70、580.27 mg·kg⁻¹, 肉鸡 Mn、Cu、Zn 含量最大检出量分别达到 726.68、399.07、594.78 mg·kg⁻¹, 蛋鸡和肉鸡饲料中 Mn、Cu、Zn 平均含量均超过我国《鸡饲养标准》。总体来看, 产蛋期蛋鸡饲料中重金属含量最高, 中后期肉鸡饲料中重金属含量较高。

关键词: 重金属; 饲料; 肉鸡; 蛋鸡; 黄淮海地区

中图分类号: X713 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2018)11-2603-10 doi:10.11654/jaes.2018-0885

Characteristics of heavy metals in chicken feedingstuff of the Huang-huai-hai Region

Dina TURSENJAN^{1,2}, JIA Hong-tao¹, WANG Nong², YAN Cui-xia^{1,2}, LUO Wen-wen², JI Yi-ning^{2,3}, SUN Yue-bing^{2*}

(1. College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Key Laboratory of Original Environmental Pollution Prevention and Control, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Tianjin Key Laboratory of Agro-Environment and Agro-Products, Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 3. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to strengthen source control of heavy metal pollution from poultry farming, 180 kinds of chicken feed samples in Huang-huai-hai Region (Beijing, Tianjin, Henan, Hebei, Shandong, Jiangsu, and Anhui) were collected, and then analyzed the concentrations of Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Cd, Pb and As in chicken feed samples of different provinces, different culture species and different growth stages. The results showed that the amount of heavy metals varied greatly in the chicken feed in Huang-huai-hai area, the contents of Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd and Pb in the feed samples were 0.05~9.91, 52.59~726.68, 0.02~6.84, 12.74~458.70, 34.09~594.78, 0.01~3.98, 0.01~1.96 mg·kg⁻¹ and 0.02~10.76 mg·kg⁻¹, respectively. Compared with the *Feeding Standards of Chicken* the content of Mn, Cu, Zn in chicken feed was over rate of 99.1%, 100%, 69.0%, respectively. Compared with the *Feed Hygiene Standard* the content of Pb, Cd in chicken feed was over rate of 39.7%, 23.50%, respectively. There had some extend differences in feed heavy metals among different provinces. As a whole, the contents of heavy metals in Anhui Province were highest, and while it was lowest in Tianjin. The maximum detected contents of Mn, Cu and Zn in feedingstuff of laying hens were 680.86, 458.70 mg·kg⁻¹ and 580.27 mg·kg⁻¹, respectively, and in the feed of broilers it were 726.68,

收稿日期: 2018-07-09 录用日期: 2018-10-29

作者简介: 迪娜·吐尔生江(1992—), 女, 新疆尼勒克县人, 硕士研究生, 主要从事重金属污染评价。E-mail: 1453783674@qq.com

*通信作者: 孙约兵 E-mail: sunyuebing@aeppi.org.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0801402); 天津市自然科学基金重点项目(17JCZDJC34200)

Project supported: The National Key R&D Program of China(2017YFD0801402); The Key Program of Natural Science of Tianjin(17JCZDJC34200)

399.07 mg·kg⁻¹ and 594.78 mg·kg⁻¹, respectively. The average concentration of Mn, Cu and Zn was all over Feeding Standard of Chicken of China. The feed of laying period of laying hens had the highest heavy metal content, and while it was higher in the middle and late stage feed for broiler.

Keywords: heavy metal; feed; laying hen; broiler chicken; Huang-huai-hai Region

随着经济发展与人民生活水平的提高,人类的生活方式和饮食结构发生改变,对动物性蛋白质需求量逐年上升,我国禽蛋产量和鸡肉产量分别占全球第一和第二。黄淮海地区是我国畜禽养殖的重点地区^[1],2006年,黄淮海地区的畜产品产量达到4 491.57万t,其中肉、蛋产量分别为2217万t和1335万t^[2]。为了提高家禽生长速率、增强家禽的抗病性,饲料中会普遍加入一些含重金属的添加剂^[3-4]。2012年,农业部在全国30个省市进行饲料安全调查显示,近70%企业饲料中As、Pb、Cr、Cd等重金属含量超标^[5]。原泽鸿等^[6]研究发现,在四川省饲料中Cr和Pb元素含量超标为11.1%和18.2%。Nachman等^[7]对美国市场258个饲料样品调查发现,无机As含量较高。2015年,Nicholson等^[8]在英格兰和威尔士养殖场中采集183个家禽饲料样品,发现其中重金属Cu和Zn的含量过高,分别达到28~4030 mg·kg⁻¹和5~234 mg·kg⁻¹。在伊朗法尔斯省18个农场,分别在4个季节收集了216个不同动物饲料样品,研究发现Pb、Cd、Hg、Cu和Zn含量都超过标准值^[9]。李发等^[10]调查黄淮海地区5省2市种商品鸡粪有机肥样品发现,Cd、As、Pb等重金属均存在超标现象,分别为6.7%、47.05%和14.28%。重金属元素在动物体内很难被吸收,大部分进入到畜禽粪便中,随有机肥施入农田,进而影响农产品质量安全,危害人体健康^[11]。因此,本文主要调查了黄淮海地区(河南、河北、山东、江苏、安徽、北京、天津)市售商品鸡饲料,研究不同省市、不同养殖品种、不同生

育期饲料的重金属含量特征,以期为控制家禽养殖饲料组分重金属添加量、促进养殖废弃物安全利用和污染源头防控提供必要参考。

1 材料与方法

1.1 样品收集

家禽饲料收集时间为2017年7—10月,共180个市售商品鸡饲料样品,其中河南44个、北京21个、山东29个、河北28个、安徽15个、江苏25个、天津18个,具体见表1。

1.2 样品分析

饲料样品自然晾干后,在烘箱中60℃继续烘干48 h,研磨后过100目(0.15 mm)尼龙筛,备用。称样0.25 g于消解管中,加8 mL浓HNO₃过夜,依次按照80℃+1.5 h、120℃+1.5 h、150℃+3 h设置消解程序,然后180℃赶酸至1~2 mL,定容至50 mL,采用ICP-MS(Ultimate 3000-iCAP QC)对样品中重金属Mn、Cu、Zn、Cr、Ni、Cd、Pb和As含量进行测定。

1.3 数据分析

数据使用Excel 2010分析平均值和标准差,SPSS 15、Origion 8.6进行统计与绘图。

2 结果与讨论

2.1 黄淮海地区饲料中重金属含量特征

由表2可知,黄淮海地区鸡饲料中不同重金属含量变化幅度较大,饲料样品中Cr、Mn、Ni、Cu、Zn、As、

表1 黄淮海地区饲料样品分布
Table 1 Distribution of feed samples in Huang-huai-hai region

地区 Region	蛋鸡饲料 Laying hen feed			肉鸡饲料 Broiler feed			合计 Total
	育雏期	育成期	产蛋期	前期	中期	后期	
	Brooding period	Breeding period	Laying period	Early stage	Metaphase stage	Late stage	
河南 Henan	12	6	10	7	5	4	44
北京 Beijing	3	3	3	6	3	3	21
山东 Shandong	15	2	3	2	4	3	29
河北 Hebei	5	5	4	6	6	2	28
安徽 Anhui	3	3	3	2	2	2	15
江苏 Jiangsu	10	2	5	3	2	3	25
天津 Tianjin	3	2	3	4	3	3	18
总数 Total	51	23	31	30	25	20	180

Cd 和 Pb 含量范围分别为 0.05~9.91、52.59~726.68、0.02~6.84、12.74~458.70、34.09~594.78、0.01~3.98、0.01~1.96 mg·kg⁻¹ 和 0.02~10.76 mg·kg⁻¹, 均值分别为 2.99、306.12、2.03、75.69、205.49、0.84、0.35 mg·kg⁻¹ 和 4.20 mg·kg⁻¹, 该地区所有饲料样品中 Cu 含量变异性最大, 其次是 As、Cd、Cr、Ni、Zn、Pb 和 Mn。与我国《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004) 含量相比, 饲料样品 Mn、Cu、Zn 超标率分别为 99.1%、100%、69.0%; 与《饲料卫生标准》(GB 13078—2001) 相比, 饲料样品中 Pb、Cd 含量超标率分别为 39.7%、23.5%, Cr、As 含量都符合标准。

饲料中重金属含量超标原因主要有: 一方面为了维持动物生长生理需要和提高应激性, 以添加剂形式进入饲料^[12]。另一方面是未经处理的废弃物、农业生产中农药化肥的滥用, 都会造成饲料原料的重金属 Cd、Pb 等元素超标污染^[13-14]。因此畜禽饲料中重金属含量超标现象普遍存在, 孟君等^[15]对河南省某养鸡场饲料中微量元素的研究发现, 其中 Pb、Cd 的含量均超过我国《饲料卫生标准》限量。罗成等^[16]采用 HR-CS-FAAS 测定我国川鲁冀地区蛋鸡配合饲料中重金属含量, 结果发现, 蛋鸡配合饲料中 Pb 超标率为 9.38%。此外, 饲料加工过程中机械和器皿的不适当使用也是造成饲料重金属超标原因之一^[17], 如因加工设备而引起的 Pb、Mn 等重金属污染被带入到复合饲料中, 从而在畜禽产品和环境中积累^[18]。然而, 由于 Cu、Zn、Mn、Cd、Pb 等重金属元素很难被家禽完全吸收利用, 导致大量重金属(95% 以上)随粪尿排出体外^[19], 其中 Cu、Zn 元素是家禽粪便中最普遍超标的元素^[20-21], 会

形成一定的环境风险。

2.2 不同省市饲料中重金属含量特征

图 1 为不同省市饲料中重金属平均含量及其限量标准^[22]。从图中可以看出, 不同省市鸡饲料中同种重金属的含量存在一定差异。

重金属 As 平均含量在安徽与其他省市之间鸡饲料中差异显著($P<0.05$), 河南、河北、山东、江苏、北京之间无显著差异($P>0.05$), 其平均含量由高到低依次为安徽>北京>江苏>河南>山东>河北>天津; 重金属 Cr 平均含量在河南、江苏、安徽之间无显著差异($P>0.05$), 河南与河北、山东、北京、天津之间差异显著($P<0.05$), 其平均含量由高到低分别为安徽>江苏>河南>山东>河北>北京>天津; 不同省市鸡饲料中 As、Cr 平均含量均未超出《饲养卫生标准》(5 mg·kg⁻¹ 和 10 mg·kg⁻¹)。重金属 Ni 平均含量在河南、河北、山东、北京之间无显著差异($P>0.05$), 江苏、安徽、天津之间差异显著($P<0.05$), 其平均含量由高到低依次为安徽>江苏>河南>山东>河北>北京>天津。

河南和河北的重金属 Cd、Pb 平均含量均与山东、江苏、安徽、北京、天津之间差异显著($P<0.05$), Cd 平均含量由高到低依次为北京>安徽>山东>江苏>河北>河南>天津, Pb 平均含量依次为安徽>北京>天津>山东>江苏>河南>河北。北京、安徽、山东饲料中重金属 Cd 平均含量分别达到 0.71、0.70、0.57 mg·kg⁻¹, 分别是《饲料卫生标准》(0.5 mg·kg⁻¹) 的 1.42、1.40、1.14 倍, 而其他省市都未超标。安徽、北京、天津饲料中重金属 Pb 平均含量分别为 8.29、6.48、5.98 mg·kg⁻¹, 分别是《饲料卫生标准》(5 mg·kg⁻¹) 的 1.66、1.30、1.20

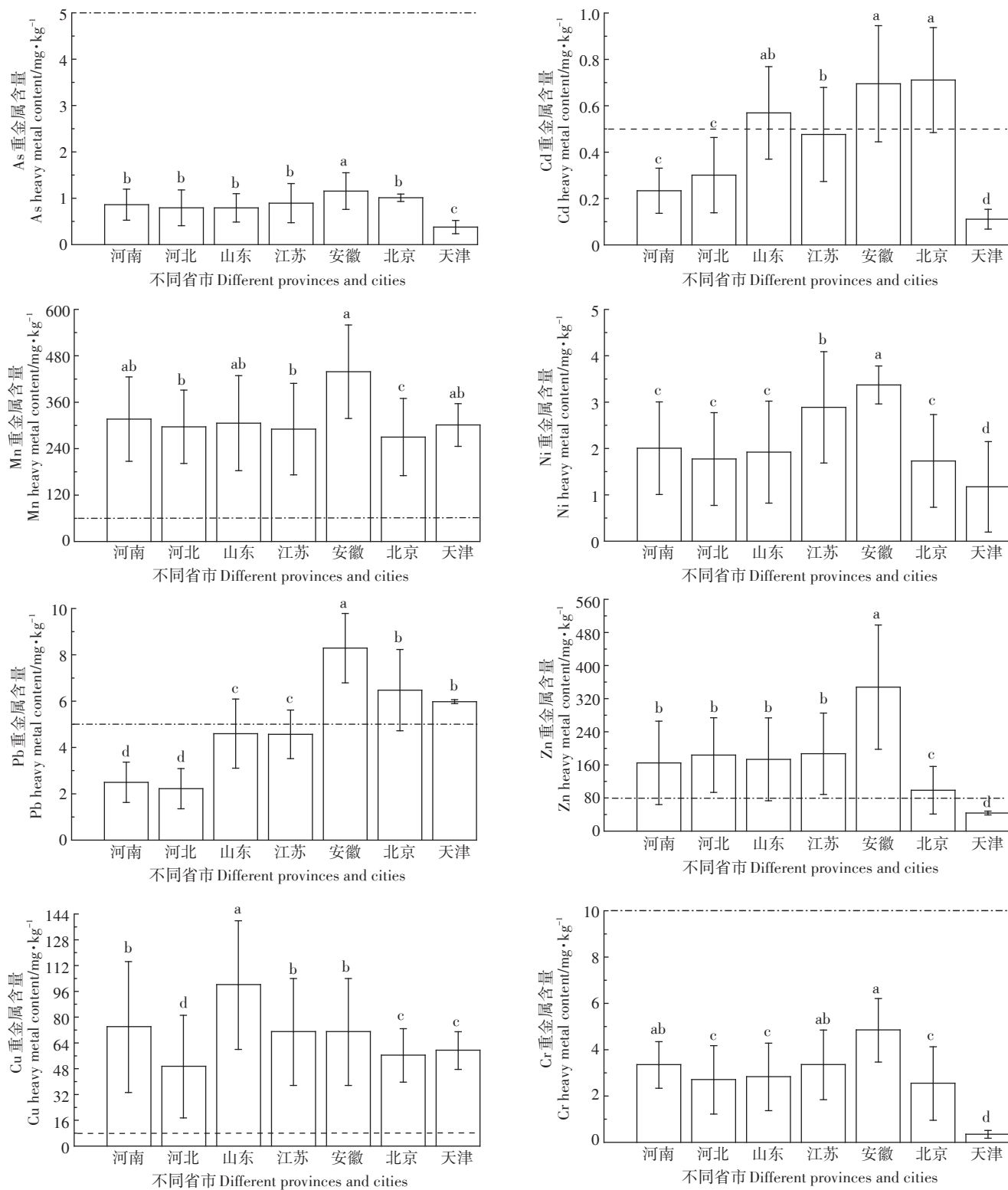
表 2 黄淮海地区鸡饲料中重金属含量

Table 2 Heavy metal contents in chicken feed of Huang-huai-hai region

项目 Item	饲料中重金属含量 Heavy metal content in feed / mg·kg ⁻¹							
	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
最大值 Max	9.91	726.68	6.84	458.70	594.78	3.98	1.96	10.76
最小值 Min	0.05	52.59	0.02	12.74	34.09	0.01	0.01	0.02
平均值 Average	2.99	306.12	2.03	75.69	205.49	0.84	0.35	4.20
标准差 STD	2.44	110.21	1.53	83.50	134.75	0.84	0.36	2.65
变异系数 CV	0.82	0.36	0.75	1.10	0.66	1.02	1.01	0.63
饲养卫生标准(GB 13078—2001) Feed Hygiene Standard	10	—	—	—	—	5	0.5	5
鸡饲养标准(NY/T 33—2004) Feeding Standard of Chicken	—	60	—	8	80	—	—	—
超标率 Ove rate/%	0	99.10	0	100.00	69.00	0	23.50	39.70

注: 以我国《饲料卫生标准》和《鸡饲养标准》为参照的超标率(超标率=超标样品数/测定样品数)。

Note: According to the《Feed Hygiene Standard》and《Feeding Standard of Chicken》for the standard rate (the determination rate=the number of exceeded samples/the number of samples).



不同字母表示在 0.05 水平差异显著
The different letters in the figure mean significant difference at $P < 0.05$

图1 黄淮海地区不同省市饲料中重金属含量

Figure 1 Heavy metal content in feed of different provinces in Huang-huai-hai region

倍;饲料中Pb大部分都来自于矿物元素的大量添加,这使得饲料中的Pb含量严重超标,甚至达到640 mg·

kg⁻¹[23],进而对家禽、家禽产品造成严重危害,降低蛋鸡的品质和抗氧化能力[24]。王飞等[25]调查发现,华北

地区蛋鸡饲料中Pb元素超标率达到53.85%,且发现各种畜禽粪便的重金属含量都超标,其中超标最为严重的是肉鸡粪便。

重金属Zn平均含量在安徽与其他省市之间差异显著($P<0.05$),河南、河北、山东、江苏之间无显著差异($P>0.05$),其平均含量由高到低依次为安徽>江苏>河北>山东>河南>北京>天津,安徽饲料($347.86\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)中Zn平均含量最高,其次是江苏($186.98\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、河北($183.74\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、山东($173.42\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、河南($164.88\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)和北京($98.65\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),分别是《鸡饲养标准》($80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的4.35、2.34、2.30、2.17、2.60倍和1.23倍,而天津饲料中重金属Zn含量未超标。重金属Cu平均含量在河南、河北、山东之间差异显著($P<0.05$),河南、江苏与安徽、北京与天津之间无显著差异($P>0.05$),其平均含量由高到低依次为山东>河南>安徽>江苏>天津>北京>河北。重金属Mn平均含量在安徽与河北、江苏、北京之间差异显著($P<0.05$),而与其他省市之间无显著差异($P>0.05$),其平均含量由高到低依次为安徽>河南>山东>天津>河北>江苏>北京。各省市之间饲料中重金属Cu平均含量最低为河北($49.55\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),最高为山东($100.24\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),分别是《鸡饲养标准》($8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的6.19、12.53倍,重金属Mn含量最低为北京($269.99\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),最高为安徽($438.82\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),分别是《鸡饲养标准》($60\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的4.50、7.31倍。

各省市中Pb、Cu、Zn、Mn等元素适量添加到动物

体内有利于提高鸡生产性能、脚垫质量、胴体品质、免疫反应和骨骼质量等,而过量添加可能会对雏鸡体重、生长以及饲料利用率产生不良影响^[26],而且会以禽类粪便形式排出体外,进而对土壤、水体以及人类生活产生严重影响。

不同省市鸡饲料中同种重金属的含量存在一定差异,总体上来看,不同重金属在安徽省鸡饲料中含量较高,天津市鸡饲料中含量较低,造成这种差异的主要原因可能是饲料的原料来源、加工过程不同,另外,加工企业配料操作过程不规范也可能导致重金属含量过高。王飞等^[27]调查发现,饲料中重金属含量与有机肥中重金属表现出显著正相关性,说明畜禽粪便中重金属主要来源于饲料。针对目前畜禽粪便重金属超标问题,减少畜禽粪便重金属的环境污染,应从饲料源头进行监控与控制^[28-30]。

2.3 不同品种饲料重金属含量分析

由表3可知,黄淮海地区蛋鸡和肉鸡饲料中重金属Mn、Cu、Zn含量均超过我国《鸡饲养标准》,其中蛋鸡饲料中Mn、Cu、Zn含量最大检出量分别为680.86、458.70、580.27 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,超标率分别为100%、100%、84.7%,肉鸡饲料中Mn、Cu、Zn含量最大检出量分别为726.68、399.07、594.78 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,超标率分别为97.3%、100%、66.7%。蛋鸡和肉鸡饲料中重金属含量在Mn、Cu、Zn之间差异显著($P<0.05$),而重金属Cr、Ni、As、Cd、Pb含量之间无显著差异($P>0.05$)。蛋鸡和肉鸡饲料中Pb、Cd最大检出值分别为10.76、1.96

表3 蛋鸡和肉鸡饲料中重金属含量

Table 3 Heavy metal contents in feed of laying hen and broiler chicken

项目 Item	重金属含量 Heavy metal content / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$							
	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
蛋鸡饲料 Laying hen feed								
最大值 Max	9.91	680.86	6.84	458.70	580.27	3.98	1.96	10.76
最小值 Min	0.05	101.47	0.10	15.38	40.62	0.01	0.01	0.08
平均值 Average	3.21	318.46	2.45	80.65	221.53	1.13	0.42	4.65
标准差 STD	2.40	116.93	1.59	83.48	134.21	1.06	0.41	2.70
变异系数 CV	0.75	0.37	0.65	1.04	0.61	0.94	0.98	0.58
超标率 Ove rate/%	0	100.00	—	100	84.70	0	29.20	50.00
肉鸡饲料 Broiler feed								
最大值 Max	9.51	726.68	6.20	399.07	594.78	3.56	1.96	9.92
最小值 Min	0.10	52.59	0.02	12.74	34.09	0.01	0.01	0.02
平均值 Average	2.30	287.79	1.46	59.61	183.30	0.63	0.28	3.84
标准差 STD	2.35	112.24	1.07	57.59	128.87	0.65	0.28	2.52
变异系数 CV	1.02	0.39	0.73	0.97	0.70	1.04	1.00	0.66
超标率 Ove rate/%	0	97.30	—	100	66.70	0	12.80	36.90

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以及 9.92 、 $1.96 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,与《饲料卫生标准》规定的 Pb ($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、 Cd ($0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)含量相比,蛋鸡饲料中重金属 Pb 、 Cd 含量超标率分别为50%和29.2%,肉鸡分别为36.9%和12.8%。

总体来看,蛋鸡和肉鸡饲料中重金属含量超标率都较高,两种品种饲料中各重金属含量之间差异性较小。由于家禽养殖厂类型及向饲料中添加的各种重金属的功能不同,导致饲料中各种重金属含量都较高^[18]。王飞等^[25]在对华北地区饲料和畜禽粪便中重金属含量的研究中发现,蛋鸡和肉鸡饲料中重金属 Cd 、 Cu 、 Ni 、 As 含量之间差异性较小,与本研究结果一致。

2.3.1 蛋鸡不同生育期饲料重金属含量

由图2可知,黄淮海地区蛋鸡不同生育期饲料中 As 、 Mn 、 Ni 、 Zn 产蛋期饲料含量范围分别为 $0 \sim 3.90$ 、 $101.47 \sim 680.86$ 、 $0.26 \sim 5.43$ 、 $72.33 \sim 580.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其含量由大到小依次为产蛋期>育成期>育雏期。原泽鸿等^[6]研究发现,蛋鸡产蛋高峰期的配合饲料中 Mn 、 Ni 含量均高于产蛋前期和育雏育成期饲料,这与本研究结果一致。

蛋鸡育成期饲料中重金属 Cd 、 Pb 、 Cu 含量最高,其含量范围分别为 $0.12 \sim 1.02$ 、 $0.08 \sim 10.08$ 、 $30.17 \sim 457.58 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;育雏期饲料中 Cd 、 Pb 、 Cu 含量分别为 $0.01 \sim 0.54$ 、 $1.06 \sim 9.11$ 、 $19.57 \sim 425.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。产蛋期饲料中 Cd 、 Pb 、 Cu 含量高于育雏期,这也与原泽鸿等^[6]研究结果相符,育雏期和育成期配合饲料中重金属 Pb 、 Cu 含量最高。蛋鸡饲料中 Cr 含量大小表现为产蛋期>育雏期>育成期,其范围分别为 $0.22 \sim 7.63$ 、 $1.68 \sim 4.59$ 、 $0.23 \sim 5.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,重金属 Cd 、 Pb 和 Cr 是生物体非必需元素,产蛋期过量添加该类重金属不仅影响生态环境,而且直接危害生物体的生长发育^[31],如:重金属 Cr 过量会造成动物肝肾损伤^[32]。总体来看,蛋鸡饲料中产蛋期的重金属含量最高,这可能是为了促进产蛋率而加入大量添加剂,导致重金属含量较高。因此,产蛋期的蛋鸡饲料也是值得关注的—个环境影响因素。

2.3.2 肉鸡不同生育期饲料重金属含量

由图3可知,黄淮海地区肉鸡饲料中 Cd 和 Pb 含量范围前期分别为 $0.04 \sim 0.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.02 \sim 8.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,中期分别达到 $0.02 \sim 0.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.05 \sim 9.85 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而后期则分别为 $0.03 \sim 1.52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.88 \sim 9.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其含量大小表现为后期>前期>

中期。饲料中重金属 Cu 在前期、中期、后期含量范围分别为 $22.78 \sim 399.07$ 、 $16.70 \sim 96.04$ 、 $24.55 \sim 259.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其含量大小表现为前期>后期>中期。肉鸡饲料中 As 、 Ni 、 Mn 含量在后期最高,分别达到 $0.02 \sim 3.56$ 、 $0.17 \sim 6.20$ 、 $106.70 \sim 726.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而前期含量最低,分别为 $0 \sim 2.95$ 、 $0.02 \sim 3.48$ 、 $52.59 \sim 488.14 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。肉鸡饲料中 Cr 、 Zn 含量在中期最高,分别达到 $0.14 \sim 7.45$ 、 $33.20 \sim 489.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,后期含量最低,分别为 $0.10 \sim 5.52$ 、 $30.09 \sim 545.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。 Mn 、 Cu 、 Zn 等重金属在饲料配方中是普遍添加的元素,但过量添加会影响动物生长发育^[33],本次研究发现:作为动物体内必需的微量元素, Ni 在饲料中含量较低,张素娟^[34]、王欣美等^[35]研究也发现重金属 Ni 在饲料原料中含量较低,但足以满足动物正常生长需要,无需额外添加。

总体来看,中后期的肉鸡饲料重金属含量较高,可能是为了促进生长发育,提高生产率。不同的高浓度重金属添加剂的使用,会导致饲料中较高的重金属残留,当含重金属的畜禽粪便被直接施入农田,会导致重金属含量逐渐超过土壤元素背景值^[36],进而造成土壤重金属污染,同时也使畜禽粪便的资源化利用受到较大制约^[37-38]。因此,肉鸡的中后期饲料重金属含量控制也是实现家禽养殖重金属源头控制、推进养殖资源化安全利用的重要环节。

3 结论

(1)黄淮海地区鸡饲料中 Cr 、 Mn 、 Ni 、 Cu 、 Zn 、 As 、 Cd 和 Pb 含量分别为 $0.05 \sim 9.91$ 、 $52.59 \sim 726.69$ 、 $0.02 \sim 6.84$ 、 $12.74 \sim 458.70$ 、 $34.09 \sim 594.78$ 、 $0.01 \sim 3.98$ 、 $0.01 \sim 1.96 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.02 \sim 10.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,与《鸡饲养标准》《饲料卫生标准》等标准相比,饲料中重金属均存在不同程度的超标情况。

(2)不同省市鸡饲料中重金属的含量存在一定差异,总体上来看,安徽省鸡饲料中重金属含量最高,天津市鸡饲料中含量最低,所有省市饲料中 As 和 Cr 含量符合安全标准,而 Cu 、 Zn 、 Mn 含量超标省市较多。

(3)蛋鸡和肉鸡饲料中 Mn 、 Cu 、 Zn 含量均超过我国《鸡饲养标准》,总体来看,产蛋期蛋鸡饲料中重金属含量最高,中后期肉鸡饲料中重金属含量较高。

参考文献:

- [1] 鞠昌华,芮茜艺,朱琳,等.我国畜禽养殖污染分区治理研究[J].中国农业资源与区划,2016,37(12):62-69.

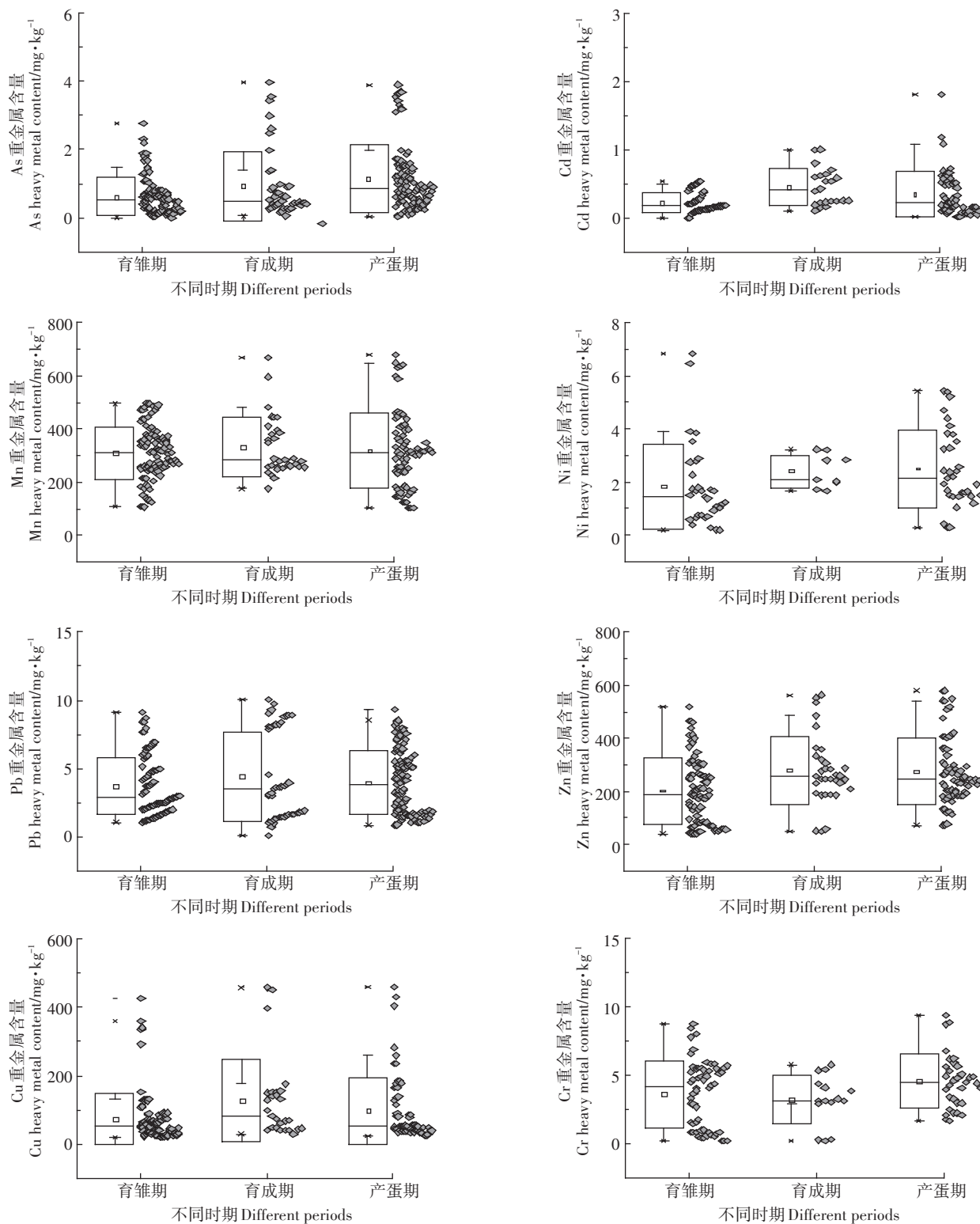


图2 不同生育期内蛋鸡饲料中重金属含量

Figure 2 Heavy metal content in laying hens of different growth stages

JU Chang-hua, RUI Han-yi, ZHU Lin, et al. Partition control of livestock and poultry breeding pollution in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(12):62-69.

[2] 赵 路. 黄淮海地区畜禽粪尿氮素资源利用及其环境效应研究

[D]. 河北:河北农业大学, 2009.

ZHAO Lu. The utilization and environmental effects of livestock waste nitrogen in Huang-huai-hai[D]. Hebei: Agricultural University of Hebei, 2009.

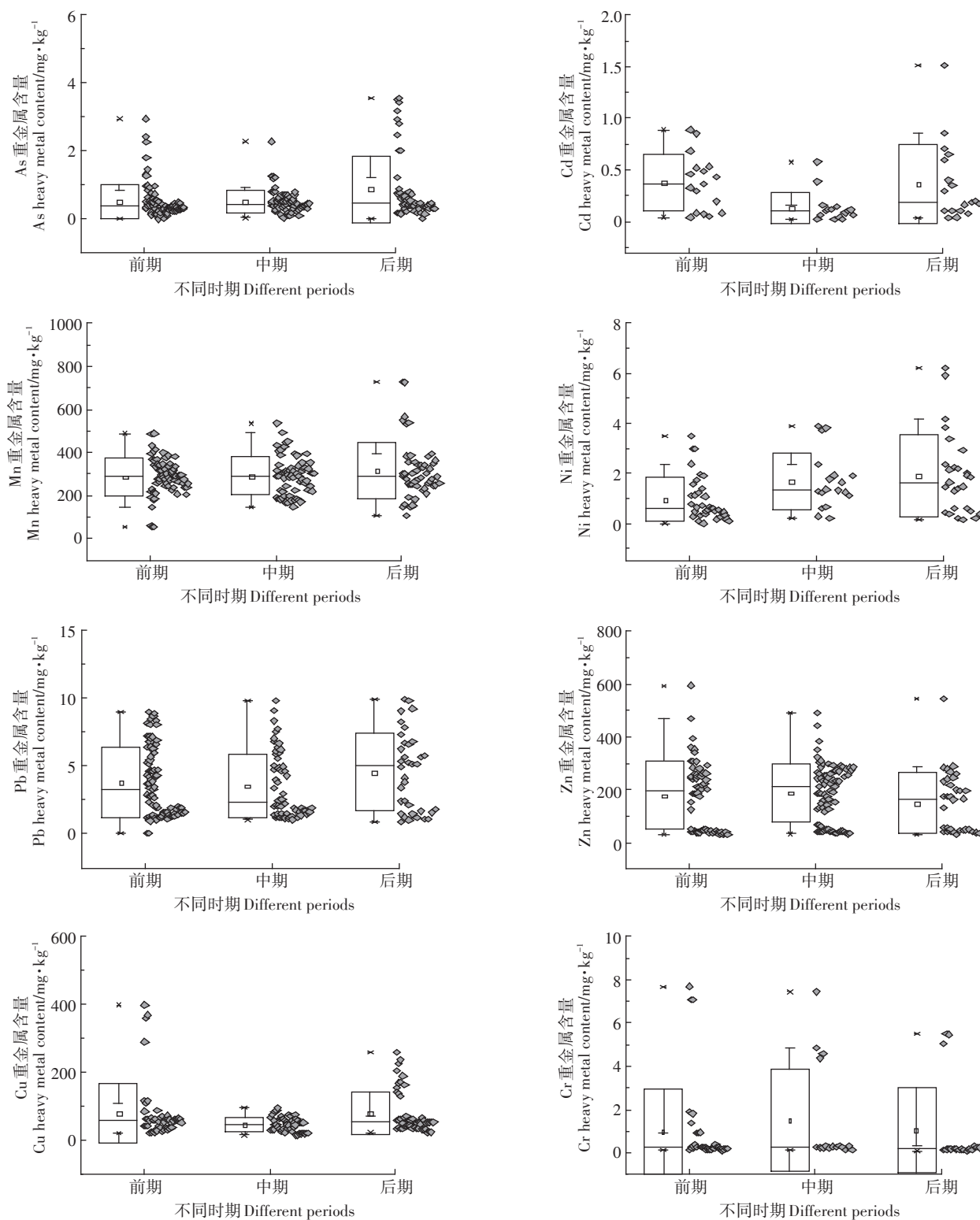


图3 不同生育期内肉鸡饲料中重金属含量

Figure 3 Heavy metal content in broiler feeds during different growth periods

- [3] 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.
- [4] Sajer M. Trace and nutrient elements in manure, dung and compost

- samples in Austria[J]. *Soil Biol Biochem*, 2007, 39(6):1383-1390.
- [5] 赵楠. 近3年全国饲料质量安全监测结果的解读[J]. *中国畜牧杂志*, 2012, 48(6):6-9.
- ZHAO Nan. Interpretation of national feed quality and safety monitor-

- ing results in recent three years[J]. *Chinese Animal Husbandry Magazine*, 2012, 48(6):6-9.
- [6] 原泽鸿,黄选洋,张克英,等.四川省蛋鸡配合饲料及鸡蛋重金属含量分布[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(11):3485-3494.
- YUAN Ze-hong, HUANG Xuan-yang, ZHANG Ke-ying, et al. Heavy metal content in the compound feed and eggs of laying hens of Sichuan Province[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(11):3485-3494.
- [7] Nachman K E, Baron P A, Raber G, et al. Roxarsone, inorganic arsenic, and other arsenic species in chicken: A U. S. -based market basket sample[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2013, 121(7):818-24.
- [8] 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.
- [9] Hashe M I, Maj I D. Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 154(10):263-267.
- [10] 李发,徐应明,王林,等.黄淮海地区鸡粪有机肥重金属含量特征及环境风险[J]. *环境科学*, 2018, 39(9):4375-4384.
- LI Fa, XU Ying-ming, WANG Lin, et al. Characteristics of heavy metals in chicken manure organic fertilizers in the Huang-huai-hai region and related environmental risk assessment[J]. *Environmental Science*, 2018, 39(9):4375-4384.
- [11] 袁庆虹,何作顺.重金属迁移及其对农作物影响的研究进展[J]. *职业与健康*, 2009, 25(24):2808-2810.
- YUAN Qing-hong, HE Zuo-shun. Research progress of heavy metal migration and its impact on crops[J]. *Occupation and Health*, 2009, 25(24):2808-2810.
- [12] 姜萍,金盛杨,郝秀珍,等.重金属在猪饲料-粪便-土壤-蔬菜中的分布特征研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(5):942-947.
- JIANG Ping, JIN Sheng-yang, HAO Xiu-zhen, et al. Distribution characteristics of heavy metals in feeds, pig manures, soils and vegetables[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(5):942-947.
- [13] Tian H Z, Zhu C Y, Gao J J, et al. Quantitative assessment of atmospheric emissions of toxic heavy metals from anthropogenic sources in China: Historical trend, spatial distribution, uncertainties, and control policies[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, 15(8):12107-12166.
- [14] Zhou X, Qu X, Zhao S, et al. Analysis of 22 elements in milk, feed, and water of dairy cow, goat, and buffalo from different regions of China[J]. *Biological Trace Element Research*, 2017, 176(1):120-129.
- [15] 孟君,赵耀光.火焰原子光谱法测定饲料和不同种类鸡蛋中的微量元素[J]. *粮食与饲料工业*, 2014, 2(4):54-56.
- MENG Jun, ZHAO Yao-guang. Determination of trace elements in feed and different eggs by flame atomic spectrometry[J]. *Cereal and Feed Industry*, 2014, 12(4):54-56.
- [16] 罗成,张军民,赵青余,等.我国四川、山东、河北省蛋鸡配合饲料中镉、铬、铅污染程度评估[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(8):2851-2866.
- LUO Cheng, ZHANG Jun-min, ZHAO Qing-yu, et al. Contamination of cadmium, chromium and lead in compound feed of laying hens in Sichuan, Shandong and Hebei Provinces[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(8):2851-2866.
- [17] 薛书民.饲料中重金属超标的危害[J]. *农业与技术*, 2013, 33(6):156-157.
- XUE Shu-min. The harm of excessive heavy metals in feed[J]. *Agriculture and Technology*, 2013, 33(6):156-157.
- [18] 彭丽,孙勃岩,王权,等.陕西杨凌规模化养殖场饲料及粪便中养分和重金属含量分析[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2017, 45(5):123-129.
- PENG Li, SUN Bo-yan, WANG Quan, et al. Contents of nutrients and heavy metals in feed in and manure at intensive livestock farms in Yangling, Shaanxi[J]. *Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed)*, 2017, 45(5):123-129.
- [19] 任顺荣,邵玉翠,王正祥.利用畜禽废弃物生产的商品有机肥重金属含量分析[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(增刊):216-218.
- REN Shun-rong, SHAO Yu-cui, WANG Zheng-xiang. Analyze on heavy metals content of merchandise compost produced by animal wastes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(Suppl):216-218.
- [20] 姚丽贤,李国良,党志.集约化养殖畜禽粪中主要化学物质调查[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(10):1989-1992.
- YAO Li-xian, LI Guo-liang, DANG Zhi. Investigation of major chemical substances in intensive farmed animal manure[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10):1989-1992.
- [21] 侯月卿,沈玉君,刘树庆.我国畜禽粪便重金属污染现状及其钝化措施研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(3):112-118.
- HOU Yue-qing, SHEN Yu-jun, LIU Shu-qing. Present status of heavy metal pollution from livestock waste and progress on passivation measures[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2014, 16(3):112-118.
- [22] 邓运清.中华人民共和国国家标准饲料卫生标准[J]. *湖南饲料*, 2002(1):24-27.
- DENG Yun-qing. National standard feed hygiene standard of the People's Republic of China[J]. *Hunan Feed*, 2002(1):24-27.
- [23] Marçal W S, Gaste L, Liboni M, et al. Concentration of lead in mineral salt mixtures used as supplements in cattle food[J]. *Experimental and Toxicologic Pathology: Official Journal of the Gesellschaft Für Toxikologische Pathologie*, 2001, 53(1):7-9.
- [24] Hossain M A, Akanda M R, Mostofa M, et al. Therapeutic competence of dried garlic powder (*Allium sativum*) on biochemical parameters in lead (Pb) exposed broiler chickens[J]. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 2014, 1(4):189-195.
- [25] 王飞,邱凌,沈玉君,等.华北地区饲料和畜禽粪便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.
- [26] Iqbal R, Malik F, Aziz T, et al. The study of histopathological changes

- upon exposure to vinegerized copper sulphate in liver and kidney of broiler chick[J]. *Middle East Journal of Scientific Research*, 2012, 12(1):36-41.
- [27] 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.
- [28] 王 鹏. 畜禽养殖业环境检测系统开发及污染防治对策研究[J]. 中国农业信息, 2016, 16(24):16.
- WANG Peng. Development of environmental testing system for livestock and poultry industry and countermeasures[J]. *China Agricultural Information*, 2016, 16(24):16.
- [29] 朱 静, 刘向萍. 畜禽养殖废弃物处理与利用概况及影响因素[J]. 家禽科学, 2017(5):47-51.
- ZHU Jing, LIU Xiang-ping. Overview and treatment of livestock and poultry farming waste treatment and utilization[J]. *Poultry Science*, 2017(5):47-51.
- [30] 王军霞, 徐 菲, 刘瑞民, 等. 我国畜禽养殖总量空间热点分析及主要污染物核算[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7):1316-1322.
- WANG Jun-xia, XU Fei, LIU Rui-min, et al. Hotspot analysis and estimation of the main pollutants from livestock in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7):1316-1322.
- [31] Jomova K, Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease[J]. *Toxicology*, 2011, 283(2):65-87.
- [32] 陈 甫, 朱风华, 徐 丹, 等. 2015年山东省肉鸡饲料原料中重金属污染情况调查及风险评估[J]. 动物营养学报, 2016, 28(10):3175-3182.
- CHEN Fu, ZHU Feng-hua, XU Dan, et al. Investigation and risk assessment of heavy metal pollution of feedstuffs in broiler chickens in Shandong Province in 2015[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(10):3175-3182.
- [33] Guerra M C, Renzulli C, Antelli A, et al. Effects of trivalent chromium on hepatic CYP-linked monooxygenases in laying hens[J]. *Journal of Applied Toxicology*, 2002, 22(3):161-165.
- [34] 张素娟. 蓝田冶炼厂周边农田土壤及小麦籽粒重金属污染分析与评价[D]. 西安:陕西师范大学, 2009.
- ZHANG Su-juan. Analysis and evaluation of heavy metal pollution in farmland soils and wheat grains around Lantian smelter[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2009.
- [35] 王欣美, 夏 晶, 张 魁, 等. ICP-OES法分析18种中药材中11种元素及其分布特征[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(4):695-699.
- WANG Xin-mei, XIA Jing, ZHANG Su, et al. Simultaneous determination of 11 elements in Chinese herbal medicine by ICP-OES[J]. *Chinese Journal of Health Inspection*, 2012, 22(4):695-699.
- [36] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1990.
- China Environmental Monitoring Station. The soil element background values[M]. Beijing:China Environmental Science Press, 1990.
- [37] 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.
- [38] 朱建春, 李荣华, 张增强, 等. 陕西规模化猪场猪粪与饲料重金属含量研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11):98-104.
- ZHU Jian-chun, LI Rong-hua, ZHANG Zeng-qiang, et al. Heavy metal contents in pig manure and feeds under intensive farming and potential hazard on farmlands in Shaanxi Province, China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Machinery*, 2013, 44(11):98-104.