

Impacts of Season on Nutrient and Heavy Metal Contents in Cow Dung and Organic Fertilizer

Shusen Li, Lei Zheng, Yudong Cao, Ying Li, Yonglan Tian*, Huayong Zhang

Research Center for Engineering Ecology and Nonlinear Science, North China Electric Power University, Beijing
Email: yonglantian@ncepu.edu.cn

Received: Sep. 16th, 2019; accepted: Oct. 2nd, 2019; published: Oct. 9th, 2019

Abstract

The quality of organic fertilizer is greatly affected by seasons. In order to understand the distribution of basic physical and chemical properties, nutrients, heavy metal content and bacterial residues of livestock manure and organic manure in different seasons, the nutrient indices such as nitrogen (TN), phosphorus (P_2O_5), potassium (K_2O), the heavy metal components such as zinc (Zn), nickel (Ni), arsenic (As), lead (Pb), chromium (Cr), copper (Cu), the mortality rate of Ascaris eggs and the number of fecal coliform bacteria in cow manure and organic manure collected in different seasons from a typical cattle ranch, farm and vineyard in Yang River Valley were studied. The results showed that: 1) The pH value of cow manure was highest in autumn, which was ranged from 7.06 to 7.37. The moisture content of cow manure was more than 80% in all seasons. The moisture content of organic manure was less than 30% and was highest in spring. 2) The nutrient contents of cow manure and organic manure were in the order of $K_2O > TN > P_2O_5$. The total content of nutrient was highest in autumn. The total nutrient of organic manure was lower in winter, spring and summer, which did not meet the relevant national standards. 3) The contents of Zn in all samples were above the detection limit only in autumn, and no Cu was detected in four seasons. The content of Ni in cow manure was highest in summer. The contents of Ni and Cr in organic manure were highest in autumn. The contents of As and Pb were low in all four seasons. The contents of heavy metals in all samples were not exceeded the standard. 4) The mortality rates of Ascaris eggs in all samples were 100%. The fecal coliforms in both organic manures were less than 70/g, which met the national standard. The fecal coliforms in cow manure in spring were huge, reaching 11,000/g, and needed to be treated before they could be used as manure. In conclusion, variations of seasons not only affected the content of components in cow manure, but also affected the quality of organic fertilizer. The results of this study provide references for the improvement of organic fertilizer production technology in different seasons and the selection of fertilizer for crop cultivation.

Keywords

Intensive Farms, Seasons, Content of Nutrient, Content of Heavy Metals, Yang River Valley

*通讯作者。

季节对牛粪及牛粪有机肥中养分和重金属含量影响分析

李树森, 郑磊, 曹宇东, 李莹, 田永兰*, 张化永

华北电力大学工程生态学与非线性科学研究中心, 北京

Email: yonglantian@ncepu.edu.cn

收稿日期: 2019年9月16日; 录用日期: 2019年10月2日; 发布日期: 2019年10月9日

摘要

有机肥的品质受到季节影响较大。为了解畜禽粪便及有机肥的基本理化性质、养分、重金属含量及活菌残留等有机肥指标的季节分布情况, 对洋河流域的某典型养牛牧场、农场及葡萄园采集的不同季节的牛粪及牛粪有机肥中的氮(TN)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)等养分指标, 锌(Zn)、镍(Ni)、砷(As)、铅(Pb)、铬(Cr)、铜(Cu)的含量等重金属成分, 以及蛔虫卵死亡率、粪大肠菌群数量等活菌残留情况进行室内试验分析。结果表明: 1) 牛粪在秋季的pH值最大, 为7.06~7.37; 牛粪含水率各季均大于80%, 有机肥含水率均小于30%, 且在春季含水率最高。2) 牛粪及有机肥中养分含量由多到少均为 $K_2O > TN > P_2O_5$, 总养分在秋季最高, 有机肥的总养分在冬季、春季和夏季较低, 不符合国家相关标准。3) 全部样本只有在秋季时Zn的含量在检测线以上, 在四个季节内均未检测出Cu; 牛粪中Ni的含量在夏季时最高; 有机肥中Ni和Cr含量在秋季最高, As和Pb含量在四个季节均较小, 所有样本的重金属含量均未超标。4) 所有样本的蛔虫卵死亡率均达到100%; 两种有机肥中粪大肠菌群数量均小于70个/g, 符合国家标准, 泌乳牛粪在春季时的粪大肠菌群数量巨大, 达到11,000个/g, 需要处理才可以作为粪肥使用。综上所述, 季节变化不仅影响牛粪中各成分的含量, 还会影响有机肥的品质。本研究的结果可为不同季节有机肥生产工艺改进、作物种植的肥料选择提供参考。

关键词

集约化农牧场, 季节, 养分含量, 重金属含量, 洋河流域

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

畜禽粪便是农业生产中常用的传统肥料, 畜禽粪便有机肥在绿色农业、循环农业和有机农业中扮演着重要角色[1] [2]。畜禽粪便有机肥不仅可以充分利用牛粪的肥效, 还可以改善土壤, 较少化肥施用对环境造成的危害[3] [4]。但是在实际生产中, 畜禽饲料中经常使用铜(Cu)、镉(Cd)、砷(As)、锌(Zn)等微量元素添加剂以增加经济效益[5], 而畜禽对微量元素较低的利用率导致其粪便中含有大量的重金属[6] [7] [8]。含重金属的粪便制成的有机肥长期施用会造成土壤中重金属元素的富集积累, 改变农田重金属的有效性, 从而造成土壤重金属污染及潜在风险的加剧[9] [10] [11] [12]。畜禽粪便重金属含量超标已成为普

遍现象, 威胁人类的身体健康[13][14][15]。

重金属在畜禽粪便和有机肥成分的研究中受到普遍关注。一般情况下, 对畜禽粪便及有机肥的重金属污染研究集中于 As、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni [16][17][18][19]。李书田等[14]在对 20 个省市畜禽粪便养分含量的研究中发现牛粪 Cu、Zn 超标率为 9.6%、3.8%王飞等[1]对华北地区畜禽粪便养分及重金属含量的研究中发现, 畜禽粪便中 TN、P₂O₅、K₂O 的含量较高, 有机质含量较高, 但 Cu、Zn 等重金属含量超标。同时畜禽粪便有机肥的重金属含量会受畜禽粪便来源、季节等因素的影响。覃丽霞[20]等在对浙江省畜禽有机肥重金属含量的研究中发现, 春季牛粪的 Pb 和 Cr 含量比夏季的高。田雪力[21]在对天津市奶牛场的牛粪进行四个季节连续采样分析, 发现 Zn 和 Cr 的含量在秋季时最高。

作为永定河上游的一级支流, 洋河的污染控制是永定河综合治理的重要环节[22]。洋河的水质也在很大程度上影响官厅水库的水质, 影响对官厅水库恢复饮用水水源地计划[23]。程鹏和李叙勇[24]在对洋河流域不同时空水体重金属污染的研究中发现, 连续 20 年洋河流域 Pb 和 Cd 的含量均一直超过地表水质标准。王闯[25]在洋河沉积物重金属研究中发现洋河水系表层沉积物中重金属 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb 和 Zn 含量平均值分别是 0.34、59.91、30.64、30.85、39.51 和 129.27 mg/kg, 分析表明其中的 Cd、Pb 和 Zn 主要来源自人为活动, Cr、Cu 和 Ni 主要来自于自然过程。其中, 畜禽养殖是洋河流域污染的主要来源之一。通过生产有机肥削减养殖废弃物入河量, 减少化肥施用量, 是控制区域污染的重要手段。而受到技术水平的限制, 洋河流域的有机肥生产多以自制为主, 缺少成熟的工艺条件, 因此有机肥的品质受到不同季节下温度和原料成分的影响较大。

调查分析不同季节牛粪及牛粪有机肥中的理化性质、养分、重金属以及活菌残留情况, 有助于对牛粪进行更好的无害化处理和资源化利用, 促进绿色农业、循环农业、有机农业的发展。本研究选取了洋河流域某典型养牛牧场的泌乳牛粪和储备牛粪、某典型农场的牛粪有机肥及某葡萄园的牛粪有机肥作为研究对象, 通过分析不同季节牛粪及牛粪有机肥中的 pH 值、含水率、TN、P₂O₅、K₂O、Zn、Ni、As、Pb、Cr、Cu 的含量以及活菌残留情况, 旨在了解洋河流域内, 不同季节导致的牛粪和有机肥品质差异, 以期为该地区畜牛粪及牛粪有机肥生产工艺的改进及有效利用提供参考依据。

2. 材料与方法

2.1. 样品采集与处理

本研究共 4 个采样点, 分别是洋河流域某典型养牛牧场的泌乳牛粪和储备牛粪、某典型农场的牛粪有机肥及某葡萄园的牛粪有机肥, 采样时间为秋季(2018 年 9 月)、冬季(2018 年 12 月)、春季(2019 年 3 月)、夏季(2019 年 6 月), 取样前将取样部位表层铲除, 根据粪堆高度选取上中下三个部位取样, 混合后采用四分法进行最终取样。样品低温冷藏带回实验室后放入 4℃冰箱中备用。

2.2. 样品测定与分析

畜禽粪便及有机肥的酸碱度(pH 值)的测定采用电极法; 含水率的测定采用烘干法; TN 的测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法, P₂O₅ 的测定采用钒钼黄比色法, K₂O 的测定采用火焰光度法; Zn、Ni、Cu 的测定采用火焰原子吸收分光光度法, Pb、Cr 的测定采用原子荧光光谱法, As 的测定采用原子荧光光谱法[26][27]; 活菌残留的测定采用乳糖发酵试验和分离培养法[28]。样品在测试过程中通过平行双样分析方式进行质量控制。

2.3. 数据分析与统计

文中数据均为 3 个平行样品的平均值, 养分及重金属含量的描述性统计运用 Excel 软件进行处理。

3. 结果与分析

3.1. 牛粪及有机肥中 pH 值和含水率分析

pH 值和含水率是畜禽粪便检测的重要物理指标[12]。植物可在很宽的 pH 范围内正常生长,但各种植物有自己适宜的 pH 值,绝大多数植物正常生长的 pH 值在 7.0 左右,检测调控粪便及有机肥的 pH 值有利于提高肥效[29]。如表 1 所示,牧场泌乳牛粪、储备牛粪、农场牛粪有机肥和葡萄园牛粪有机肥的平均 pH 值分别为 6.68、7.22、8.20、7.97。两种牛粪 pH 值均大于 6,但与其他研究相比数值较小[30] [31]。陈芬和余高[30]在 2019 年关于畜禽粪便中养分含量分析研究中测得牛粪的 pH 值为 7.82~8.85。Song [31]等在 2014 年关于堆肥处理对畜禽粪便中养分含量影响的研究中测得牛粪的平均 pH 值为 9.54。本研究中,两种牛粪有机肥的 pH 值均在 5.5~8.5 范围内,符合有机肥的国家标准《有机肥料》(NY525-2012) [32]。牧场泌乳牛粪、储备牛粪、农场牛粪有机肥在秋季时的 pH 值最高,分别是 7.06、7.37、8.41,葡萄园牛粪有机肥的 pH 值在夏季最高,达到 8.22。牛粪和牛粪有机肥的平均 pH 值分别为 6.95、8.09,该牛粪有机肥的制备工艺能够显著提高牛粪的 pH 值,有利于改良酸性土壤。在秋季、冬季、春季、夏季,该地区有机肥制备工艺将牛粪的平均 pH 值分别从 7.22、6.92、6.96、7.06 提高至 8.26、7.93、7.93、8.21,分别提高了 1.04、1.01、0.97、1.15。其中,春季时的有机肥制备工艺对牛粪的 pH 提高效果最明显。

Table 1. pH value and water content of cow dung and cattle manure organic fertilizer

表 1. 牛粪及牛粪有机肥的 pH 值和含水率

项目		pH 值	含水率(%)
牧场泌乳牛粪	秋季	7.06	83.95
	冬季	6.72	84.85
	春季	6.69	81.11
	夏季	6.97	80.03
牧场储备牛粪	秋季	7.37	81.87
	冬季	7.11	82.97
	春季	7.23	81.08
	夏季	7.15	78.06
农场牛粪有机肥	秋季	8.41	10.88
	冬季	8.05	5.50
	春季	8.12	27.29
	夏季	8.20	3.15
葡萄园牛粪有机肥	秋季	8.11	7.64
	冬季	7.81	3.44
	春季	7.74	19.00
	夏季	8.22	3.22

禽粪便堆肥过程中的含水率能够影响有机肥的腐熟度,牛粪在堆肥时的含水率为 59.8%时达到最高腐熟度[33]。牧场泌乳牛粪、储备牛粪、农场牛粪有机肥和葡萄园牛粪有机肥的平均含水率分别是 82.49%、81.00%、1.71%、8.32%。两种牛粪含水率均大于 80%,在堆肥前可进行相应处理,减少其含率,使含水率接近 60%。Choi [34]等在对不同季节荷斯坦母牛产肥量和特性研究中检测到牛粪的含水量为 83.5%,

与本实验接近。两种牛粪有机肥的含水率均小于 30%，均符合有机肥的国家标准《有机肥料》(NY525-2012) [32]，即该牛粪有机肥的制备工艺对含水率的降低效果较好。农场牛粪有机肥和葡萄园牛粪有机肥在春季时的含水率较高，分别是 27.29%、19.00%，在冬季和夏季的含水率较低，均在 6% 以下。考虑是降水、蒸发等气候因素的不同造成含水率在不同季节的差异。

3.2. 牛粪及有机肥中 TN、P₂O₅、K₂O 含量分析

畜禽粪便及有机肥中含有丰富的 TN、P₂O₅、K₂O 等元素，是植物生长发育所必需的营养元素，也是农业可持续发展的必要资源。如表 2 所示，不同季节的粪肥的 TN、P₂O₅、K₂O 养分含量差异较大。牧场泌乳牛粪、储备牛粪、农场牛粪有机肥和葡萄园牛粪有机肥在秋季的总养分分别是 7.40%、7.07%、6.84%、9.58%，均满足《有机肥料》(NY525-2012)规定的养分大于 5% 的标准[32]。4 种样品在冬季、春季、夏季的总养分均小于 3%，不满足标准。在冬季、春季和夏季时，牧场储备牛粪的总养分均高于牧场泌乳牛粪，在制备有机肥时可通过提高牧场储备牛粪的添加比例进行调节。也可以通过添加适量的鸡粪和养分，来提高有机肥的养分含量[35]。该牛粪有机肥的制备工艺对总养分的平均含量的提高效果在冬季时较为明显，从 1.42% 提高至 2.43%；在秋季时总养分的平均含量从 7.24% 提高至 8.21%；在春季和夏季时总养分的平均含量有所降低，分别从 0.96%、1.79% 降低至 0.64%、0.98%。

Table 2. Contents of TN, P₂O₅ and K₂O in cow dung and cattle manure organic fertilizer (unit%)

表 2. 牛粪及牛粪有机肥中 TN、P₂O₅、K₂O 含量(单位%)

项目		TN	P ₂ O ₅	K ₂ O	总和
牧场泌乳牛粪	秋季	0.25	0.03	7.12	7.40
	冬季	0.36	0.03	0.14	0.53
	春季	0.25	0.02	0.30	0.57
	夏季	0.80	0.04	0.57	1.41
牧场储备牛粪	秋季	0.25	0.03	6.79	7.07
	冬季	0.61	0.03	0.25	0.89
	春季	0.35	0.02	0.44	0.81
	夏季	0.52	0.08	1.57	2.17
农场牛粪有机肥	秋季	0.20	0.02	6.62	6.84
	冬季	1.71	0.04	0.48	2.23
	春季	0.07	0.01	0.48	0.56
	夏季	0.41	0.02	0.67	1.10
葡萄园牛粪有机肥	秋季	0.38	0.05	9.15	9.58
	冬季	1.94	0.04	0.65	2.63
	春季	0.17	0.02	0.52	0.71
	夏季	0.08	0.01	0.76	0.85

注：TN、P₂O₅、K₂O 分别代表样品中氮、磷、钾的含量。

在秋季、冬季、春季、夏季，该地区有机肥制备工艺将牛粪中 TN 含量分别从 0.25%、0.49%、0.3%、0.66% 调整至 0.29%、1.83%、0.12%、0.25%，其中，冬季时的有机肥制备工艺对牛粪 TN 含量的提高效果较为明显，春季和夏季时 TN 含量下降；在各个季节牛粪和牛粪有机肥中 P₂O₅ 含量较低，在 0.01%~0.08% 之间，各季节 P₂O₅ 含量变化不明显；在各个季节有机肥制备工艺将牛粪中 K₂O 含量分别从 6.96%、0.20%、

0.37%、1.07%调整至 7.89%、0.57%、0.50%、0.72%，其中，秋季、冬季、春季的有机肥中 K_2O 含量相比牛粪中均有提高，秋季的提高效果最明显，夏季的有机肥中 K_2O 含量有所下降。

在牛粪及有机肥中，三种营养元素的含量由多到少分别为 K_2O 、TN、 P_2O_5 。田雪力[21]的 TN 平均含量超出 P_2O_5 平均含量的结论与本研究一致。 K_2O 平均含量最高是由于牛属于反刍动物，秸秆等富含纤维的饲料中比籽粒富集更多的 K_2O 元素，因此牛粪中含有更高的 K_2O 元素[12] [30]。牧场泌乳牛粪和储备牛粪的 TN 含量在冬季和夏季时最高。田雪力[21]在对天津市奶牛场的牛粪进行四个季节连续采样分含量在夏季时含量最高； K_2O 含量在秋季时最高，夏季时略高。

3.3. 牛粪及有机肥中重金属含量分析

如表 3 所示，牧场泌乳牛粪、储备牛粪、农场牛粪有机肥和葡萄园牛粪有机肥 Zn 的含量只有在秋季时在检测线以上，含量分别是 209.8、83.6、86.0、98.6 mg/kg。全部样本在四个季节内均未检测出 Cu。牧场泌乳牛粪和储备牛粪中 Ni 的含量在夏季时最高，分别是 32.0、48.0 mg/kg；农场牛粪有机肥和葡萄园牛粪有机肥中 Ni 的含量在秋季时最高，分别是 23.3、25.3 mg/kg，在夏季时 Ni 含量略高，分别是 19.0、23.0 mg/kg。在四个季节内，两种有机肥的 As 和 Pb 含量均较小，含量在 10.0 mg/kg 以下，且夏季 Pb 的含量最小。农场牛粪有机肥和葡萄园牛粪有机肥 Cr 的含量在秋季时最高，分别是 45.2、48.9 mg/kg，在其他三个季节 Cr 含量均在 10 mg/kg 以下，且 Cr 的含量在夏季时最小。在秋季、冬季、春季、夏季，该地区有机肥制备工艺将牛粪中 Ni 含量分别从 11.2 mg/kg、11.0 mg/kg、5.0 mg/kg、40.0 mg/kg 调整至 24.3 mg/kg、10.0 mg/kg、14.0 mg/kg、21.0 mg/kg，其中，夏季时的有机肥制备工艺对牛粪 Ni 含量的降低效果较为明显，秋季和春季的有机肥中 Ni 含量相比牛粪中有所提高。

Table 3. Contents of heavy metals in cow dung and cattle manure organic fertilizer (mg/kg)

表 3. 牛粪及牛粪有机肥中重金属元素含量(单位 mg/kg)

项目	Zn	Ni	As	Pb	Cr	Cu	
牧场泌乳牛粪	秋季	209.8	1.5	*	*	*	<0.01
	冬季	<0.01	13.0	*	*	*	<0.01
	春季	<0.01	<5.0	*	*	*	<0.01
	夏季	<0.01	32.0	*	*	*	<0.01
牧场储备牛粪	秋季	83.6	20.8	*	*	*	<0.01
	冬季	<0.01	9.0	*	*	*	<0.01
	春季	<0.01	<5.0	*	*	*	<0.01
	夏季	<0.01	48.0	*	*	*	<0.01
农场牛粪有机肥	秋季	86.0	23.3	1.8	4.1	45.2	<0.01
	冬季	<0.01	10.0	3.1	8.8	8.9	<0.01
	春季	<0.01	14.0	1.6	6.1	7.3	<0.01
	夏季	<0.01	19.0	0.1	<0.01	3.4	<0.01
葡萄园牛粪有机肥	秋季	98.6	25.3	3.6	4.7	48.9	<0.01
	冬季	<0.01	10.0	4.8	5.8	4.8	<0.01
	春季	<0.01	14.0	1.9	9.6	5.3	<0.01
	夏季	<0.01	23.0	2.3	4.8	15.5	<0.01

注：*代表未检测该指标。

覃丽霞[20]等对浙江省畜禽有机肥重金属和养分含量研究中发现, 春季牛粪 Zn、Pb、Cr 的含量分别为 74.33~2229.08、3.45~39.98、8.77~70.50 mg/kg, 夏季牛粪 Zn、Pb、Cr 的含量分别为 97.83~1502.95、3.19~28.46、5.21~39.13 mg/kg。其中牛粪中春季的 Pb 和 Cr 含量比夏季高的结论与本研究结论一致。田雪力[21]在对天津市奶牛场的牛粪进行四个季节连续采样分析, 发现 Zn 和 Cr 的含量在秋季时最高, 与本研究的结果一致。李治宇[36]等在对塔里木大学动物科学学院养牛场的牛粪研究中, 检测到牛粪中 Cu 含量为 3~5 mg/kg, Zn 含量为 30~50 mg/kg。陈芬和余高[30]在对晋北地区规模化养殖场畜禽粪便养分和重金属含量分析研究中, 发现由于畜禽饲料中添加大量 Zn 和 Cu 来减少细菌感染和促进畜禽发育, 在牛粪中 Zn 和 Cu 的含量比其他重金属的含量更高。不同研究间重金属含量的差异推测是因为不同畜禽所使用的饲料添加剂不同[14]。从当前的国内形势来看, 国家对畜禽粪便中的重金属含量没有制定严格的国家标准[16]。因此, 在本次研究中, 将《有机肥料》(NY525-2012)对 As、Pb、Cd 和 Cr 的含量限定以及《污泥农用污染物控制标准》(GB4284-1984)对 Cu、Zn 和 Ni 的含量限定作为评价依据[37]。Cu、Zn、As、Pb、Cr、Ni 等 6 种元素的施用临界值分别为 250、500、75、300、600、100 mg/kg。所有样品的重金属含量远低于标准限值, 说明该区域规模化农牧场的粪便及有机肥对环境污染较小, 符合绿色农业、循环农业、有机农业的要求。

3.4. 牛粪及有机肥中活菌残留

粪大肠菌群数、蛔虫卵死亡率是评价有机肥品质的重要指标, 由表 4 可以看出, 所有样本的蛔虫卵死亡率均达到 100%。农场牛粪有机肥和葡萄园牛粪有机肥的粪大肠菌群数量秋季和夏季较多, 春季和冬季均在检测线以下。两种牛粪有机肥粪大肠菌群数量均小于 70 个/g, 《生物有机肥》(NY884-2012)中规定有机肥料中粪大肠菌群应小于 100 个/g, 所有有机肥样品均符合标准[38]。泌乳牛粪在春季时的粪大肠菌群数量巨大, 达到 11,000 个/g, 在堆肥时需要严格把控相关工艺流程, 以确保在施用前达到相关标准。

Table 4. Residues of live bacteria in cow dung and cattle manure organic fertilizer

表 4. 牛粪及牛粪有机肥中活菌残留

项目	粪大肠菌群(个/g)	蛔虫卵死亡率(%)	
牧场泌乳牛粪	秋季	1100	100
	冬季	4600	100
	春季	11000	100
	夏季	4	100
牧场储备牛粪	秋季	1100	100
	冬季	430	100
	春季	20	100
	夏季	240	100
农场牛粪有机肥	秋季	23	100
	冬季	<3	100
	春季	<3	100
	夏季	64	100
葡萄园牛粪有机肥	秋季	23	100
	冬季	<3	100
	春季	<3	100
	夏季	4	100

4. 结论

本研究分析了不同季节对牛粪及牛粪有机肥理化性质、养分、重金属含量以及活菌残留的影响。

1) 所有样品的 pH 值均在 5.5~8.8 范围内, 符合有机肥的国家标准《有机肥料》(NY525-2012), 泌乳牛粪、储备牛粪和农场牛粪有机肥在秋季的 pH 值最高, 葡萄园牛粪有机肥在夏季的 pH 值最高, 该牛粪有机肥的制备工艺能够显著提高牛粪的 pH 值。两种牛粪含水率均较高, 该牛粪有机肥制备工艺对牛粪中的含水率降低效果显著, 经过堆肥等处理后均满足国家标准《有机肥料》(NY525-2012)。两种牛粪有机肥含水率在春季较高, 冬季和夏季较低。

2) 所有样品在秋季的总养分最高, 符合《有机肥料》(NY525-2012)规定的标准; 在冬季、春季和夏季时, 不满足标准。牛粪及牛粪有机肥中各营养元素的含量高低顺序为 $K_2O > TN > P_2O_5$ 。该牛粪有机肥的制备工艺在冬季和秋季时对总养分的平均含量有提高的效果; 在春季和夏季时总养分的平均含量有所降低。

3) 样品中只有秋季时 Zn 的含量在检测线之上。所有样本均未检测出 Cu。两种牛粪在夏季时的 Ni 含量最高。两种有机肥在秋季时的 Ni 和 Cr 含量最高。所有样本的重金属均未超出相关标准, 对环境的重金属污染较小。

4) 所有样品的蛔虫卵死亡率均为 100%。有机肥样品的粪大肠菌群数量满足《生物有机肥》(NY884-2012)标准, 泌乳牛粪在春季时的粪大肠菌群数量较大, 需经过特殊处理制备成有机肥。

综上所述, 根据四个季节牛粪及有机肥中的养分及重金属含量的分析结果进行评价, 季节对牛粪及有机肥的含水率、养分、重金属含量及粪大肠菌群数量影响较大。从整体上看, 冬季和夏季的有机肥品质较好, 冬季和夏季的牛粪有机肥制备工艺能够有效的减少牛粪的含水率, 同时, 重金属含量和粪大肠菌群数较少, 但冬夏两季的牛粪有机肥中总养分含量较秋季低。

基金项目

本研究受到国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07101003)、中央高校基本科研业务费专项资金(2018MS051)资助。

参考文献

- [1] 王飞, 邱凌, 沈玉君, 葛一洪, 候月卿. 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.
- [2] 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(1): 80-86.
- [3] 余粮. 奶牛场牛粪如何高效发酵成有机肥[J]. 科技与创新, 2017(8): 122-123.
- [4] 刘连生, 朱洪涛, 孟凡刚. 利用牛粪生产生物有机肥试验研究[J]. 科协论坛, 2008(10): 74.
- [5] 王辉, 董元华, 张绪美, 李德成, 安琼. 江苏省集约化养殖畜禽粪便盐分含量及分布特征分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 229-233.
- [6] Wang, H., Dong, Y., Yang, Y., Toor, G.S. and Zhang, X. (2013) Changes in Heavy Metal Contents in Animal Feeds and Manures in an Intensive Animal Production Region of China. *Journal of Environmental Sciences*, **25**, 2435-2442. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60473-8](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60473-8)
- [7] Faridullah, I.M. and Sabir, M.A. (2012) Investigation of Heavy Metals Using Various Extraction Methods in Livestock Manures. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, **43**, 2801-2808. <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.719977>
- [8] Xiong, X., Li, Y., Li, W., Lin, C., Han, W. and Yang, M. (2010) Copper Content in Animal Manures and Potential Risk of Soil Copper Pollution with Animal Manure Use in Agriculture. *Resources Conservation & Recycling*, **54**, 985-990. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.02.005>
- [9] 曹庆军, 杨粉团, 姜晓莉, 曹欣欣, 李刚. 长期施用有机肥对农田土壤重金属污染的影响[C]//中国作物学会. 第

- 十五届全国玉米栽培学术研讨会会议论文集. 哈尔滨: 全国玉米栽培学组, 2017: 22-23.
- [10] 李荣华, 张广杰, 秦睿, 等. 粉煤灰和猪粪好氧混合堆肥过程中养分转化研究[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 100-105.
- [11] 曾希柏, 徐建明, 黄巧云. 中国农田重金属问题的若干思考[J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 186-194.
- [12] 彭丽, 孙勃岩, 王权, 张增强, 朱建春, 李荣华. 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.
- [13] 姚丽贤, 李国良, 党志. 集约化养殖禽畜粪中主要化学物质调查[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1989-1992.
- [14] 李书田, 刘荣乐, 陕红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 179-184.
- [15] 贾武霞, 文炯, 许望龙, 段然, 曾希柏, 白玲玉. 我国部分城市畜禽粪便中重金属含量及形态分布[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 764-773.
- [16] 范新峰. 崇明畜禽粪便重金属检测及污染特征研究[J]. 环境与发展, 2019, 59(5): 101-102.
- [17] 李书田, 刘荣乐. 国内外关于有机肥料中重金属安全限量标准的现状与分析[J]. 农业环境科学学报, 2006(B09): 777-782.
- [18] 茹淑华, 苏德纯, 张永志, 等. 河北省集约化养殖场畜禽粪便中重金属含量及变化特征[J]. 农业资源与环境学报, 2016(6): 533-539.
- [19] 李发, 徐应明, 王林, 梁学峰, 孙约兵, 纪艺凝, 栾润宇. 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.
- [20] 覃丽霞, 马军伟, 孙万春, 王飞, 陆宏, 俞巧钢, 林辉, 符建荣. 浙江省畜禽有机肥重金属及养分含量特征研究[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(4): 604-610.
- [21] 王亚飞, 李梦婵, 邱慧珍, 张文明, 张春红. 不同畜禽粪便堆肥的微生物数量和养分含量的变化[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(3): 37-45.
- [22] 张占贵. 张家口洋河流域水资源现状及持续利用分析[J]. 中国水运(下半月), 2014, 14(4): 225-226.
- [23] 李靖洁. 官厅水库流域水污染控制对策研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北科技大学, 2011.
- [24] 程鹏, 李叙勇. 洋河流域不同时空水体重金属污染及健康风险评估[J]. 环境工程学报, 2017, 11(8): 4513-4519.
- [25] 王闯. 官厅水库入库河流(洋河)沉积物重金属风险评估[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [26] 中国环境监测总站. GB/T 17138-1997. 土壤质量铜、锌的测定火焰原子吸收分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [27] 中国环境监测总站. GB/T 17139-1997. 土壤质量镍的测定火焰原子吸收分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [28] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 19524.1-2004. 肥料中粪大肠菌群的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [29] 毕仙兰, 李洪. 有机肥发酵过程中水分加入量对熟化料 pH 的影响[J]. 云南化工, 2018, 45(7): 95-96.
- [30] 陈芬, 余高. 晋北地区规模化养殖场畜禽粪便中养分和重金属含量分析[J]. 河南农业科学, 2019, 48(5): 143-148.
- [31] Song, X., Liu, M., Wu, D., et al. (2014) Heavy Metal and Nutrient Changes during Vermicomposting Animal Manure Spiked with Mushroom Residues. *Waste Management*, **34**, 1977-1983. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.013>
- [32] 中国农业部. NY 525-2012. 有机肥料[S]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [33] 李红燕. 畜禽粪便堆肥过程中有机肥腐熟研究[J]. 安徽农业科学, 2019(12): 70-72.
- [34] Choi, D.Y., Kwag, J.H., Park, C.H., et al. (2006) Quantity and Characteristics of Manure Produced by Holstein Heifer at Different Seasons. *Journal of Livestock Housing & Environment*, **12**, 123-132.
- [35] 王亚飞, 李梦婵, 邱慧珍, 张文明, 张春红, 李亚娟. 不同畜禽粪便堆肥的微生物数量和养分含量的变化[J]. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(3): 37-45.
- [36] 李治宇, 周岭, 刘飞. 木醋液对牛粪堆制过程重金属(Cu、Zn)调控作用探究[J]. 环境工程, 2014(s1): 748-752.
- [37] 石艳平, 黄锦法, 倪雄伟, 谢建萍, 任佳佳. 嘉兴市主要生猪规模化养殖饲料和粪便重金属污染特征[J]. 浙江农业科学, 2015, 1(9): 1494.
- [38] 中国农业部. NY 884-2004. 生物有机肥[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.