

基于工厂调研的堆肥原料种类和理化性质分析

许俊香, 孙钦平, 郎乾乾, 李钰飞, 刘本生, 李吉进

引用本文:

许俊香, 孙钦平, 郎乾乾, 等. 基于工厂调研的堆肥原料种类和理化性质分析[J]. *农业环境科学学报*, 2021, 40(11): 2412-2418.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1160>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

畜禽粪便堆肥前期理化及微生物性状研究

曹云, 常志州, 黄红英, 徐跃定, 吴华山

农业环境科学学报. 2015, 34(11): 2198-2207 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.11.023>

畜禽粪便堆肥过程中碳氮损失及温室气体排放综述

袁京, 刘燕, 唐若兰, 马若男, 李国学

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2428-2438 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0986>

热解温度对畜禽粪便生物炭产率及理化特性的影响

王煌平, 张青, 李昱, 任丽花, 栗方亮, 罗涛, 翁伯琦, 王秋营

农业环境科学学报. 2015, 34(11): 2208-2214 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.11.024>

低温菌强化堆肥起爆进程中细菌群落响应机制

解新宇, 赵越, 张书博, 杨红宇, 魏自民, 张旭, 赵丽

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2395-2404 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1117>

鸡粪-堆肥中重金属残留、抗生素耐药基因及细菌群落变化研究

邓雯文, 陈姝娟, 何雪萍, 晋蕾, 杨盛智, 余秀梅, 刘书亮, 邹立扣

农业环境科学学报. 2019, 38(2): 439-450 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0716>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

许俊香, 孙钦平, 郎乾乾, 等. 基于工厂调研的堆肥原料种类和理化性质分析[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2412–2418.
XU J X, SUN Q P, LANG Q Q, et al. Analysis of compost material variety and physical and chemical properties based on factory enterprises[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(11): 2412–2418.



开放科学 OSID

基于工厂调研的堆肥原料种类和理化性质分析

许俊香, 孙钦平, 郎乾乾, 李钰飞, 刘本生, 李吉进*

(北京市农林科学院植物营养与资源环境研究所, 北京 100097)

摘要:为了解我国堆肥原料种类和理化性质,于2017—2018年对全国346家有机肥生产企业开展调研,采集堆肥原料样品并进行理化性质测定和分析。结果表明:累计采集动物粪便、作物秸秆、园林废弃物、蔬菜尾菜、农副产品加工副产物和餐厨垃圾等堆肥原料样品共36种523个,未采集到马粪、驴粪、骡子粪和圈粪。畜禽粪便氮磷钾总养分呈升高趋势,牛粪、猪粪、羊粪和鸡粪与20 a前相比分别增加27.4%、8.2%、1.7%和26.9%,其中氮增加幅度为-12.5%~19.7%,磷增加幅度为17.1%~56.1%,钾增加幅度为-8.2%~21.9%。不同原料N/P差异性大,畜禽粪便N/P普遍低于秸秆类。在过去的20 a间,马粪、驴粪、骡子粪和圈粪等不再是主要的堆肥原料。以畜禽粪便为主要原料的堆肥N/P与C/N呈显著正相关,堆肥时可通过调控C/N获得适宜的N/P,减少土壤磷素累积。

关键词:工厂调研;堆肥原料;种类变化;理化性质

中图分类号:S141.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2021)11-2412-07 doi:10.11654/jaes.2021-1160

Analysis of compost material variety and physical and chemical properties based on factory enterprises

XU Junxiang, SUN Qinqing, LANG Qianqian, LI Yufei, LIU Bensheng, LI Jijin*

(Institute of Plant Nutrition, Resources and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: To improve composting efficiency in organic fertilizer enterprises, an investigation was performed in 346 organic fertilizer enterprises in China, and the physical and chemical properties of compost material samples were determined from 2017 to 2018. A total of 523 samples of composted raw materials, including animal manure, crop straw, garden waste, vegetable tail, by-product processing, and kitchen wastes, were collected. However, horse, donkey, and mule dung were not collected. Compared to the total nutrient content of animal waste 20 years ago, the content was 27.4%, 8.2%, 1.7% and 26.9% higher in cow dung, pig manure, sheep manure, and chicken manure, respectively. The N/P of animal manure was lower than that of straw. In the past 20 years, horse, donkey, and mule dung have not been the main composting materials. The total nitrogen, phosphorus, and potassium values of cow dung, pig manure, sheep manure, and chicken manure showed an increasing trend. There was a significant positive correlation between N/P and C/N of livestock and poultry manure. The appropriate N/P could be obtained by regulating C/N during composting to reduce the soil phosphorus accumulation.

Keywords: enterprise investigation; compost materials; material variety; physical and chemical properties

收稿日期:2021-10-09 录用日期:2021-10-15

作者简介:许俊香(1977—),女,河北滦州人,硕士,副研究员,从事农业废弃物资源化处理与应用研究。E-mail:xujx100@126.com

*通信作者:李吉进 E-mail:lijijin65@163.com

基金项目:北京市农林科学院农业科技示范推广项目(2021703);奶牛产业技术体系北京市创新团队项目(BAIC06-2021);国家重点研发计划项目(2018YFD0800106-04,2016YFD0800602)

Project supported: The Demonstration and Extension Project of Agricultural Science and Technology of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences (2021703); Beijing Innovation Team of Technology System in Dairy Industry (BAIC06-2021); The National Key Research and Development Program of China(2018YFD0800106-04; 2016YFD0800602)

随着我国集约化农业和农副产品加工业的快速发展以及人民生活水平的提高,产生了大量的农业废弃物、农副产品加工副产物以及餐厨垃圾,其不仅种类繁多,而且数量巨大。据估算,全国每年产生畜禽粪污38亿t,作物秸秆9亿t^[1-2],蘑菇渣1500万t^[3],园林绿化废弃物2275万~3412.5万t^[4],餐厨垃圾6000万~9000万t^[5-7],蔬菜尾菜2.45亿t^[8]。大量的农业废弃物和农副产品加工副产物如不及时有效地进行资源化处理,势必会造成环境污染。不同废弃物资源化利用方式不同:秸秆主要有肥料化、饲料化和燃料化等利用方式^[2,9];畜禽粪便主要有肥料化、沼气和饲料化利用方式^[10-11];蘑菇渣主要有肥料化、基质化和垫料化等利用方式^[3];园林废弃物主要有肥料化、能源化和材料化利用方式^[4];蔬菜尾菜主要有肥料化、沼气和饲料化利用方式^[12]。由此可见,肥料化利用是不同废弃物普遍采用的资源化利用方式,废弃物经高温堆肥后养分回归土壤更符合我国循环农业发展的需要。但是面对种类繁多、理化性质各异的不同类型废弃物,有机肥生产企业无法及时准确地制定堆肥配方,致使堆肥效率低下、臭气挥发严重以及产品质量较低等问题频出,这严重影响了生产企业的积极性。因此,为充分了解堆肥原料种类和理化性质,本文对堆肥厂进行调研,对堆肥原料进行分类管理并进行理化性质测定,以便使堆肥生产企业能更准确地进行原料配比,从而提高堆肥效率。

1 材料与方法

1.1 数据来源

2017—2018年,对全国346家有机肥生产企业展开调研并进行堆肥原料样品采集,涉及北京市、陕西省、青海省、黑龙江省、山东省、山西省、河南省、河北省、甘肃省、安徽省、江苏省、湖南省、湖北省、四川省、海南省、贵州省、云南省、广东省、浙江省、江西省、内蒙古自治区、宁夏回族自治区和广西壮族自治区共计23个省、市和自治区。

采集的样品包括动物粪便、作物秸秆、园林废弃物、蔬菜尾菜、农副产品加工副产物(主要是粮油薯加工副产物)以及餐厨垃圾等,共计36种523个,具体见表1。

测定项目包括有机碳(TOC)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、pH、C/N和N/P,共计7项指标。

1.2 理化性质测定

TOC采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;TN采

用凯氏定氮法测定;TP采用钼锑抗比色法测定;TK采用火焰光度计法测定;pH采用pH计测定。C/N为TOC与TN的比值;N/P为TN与TP的比值。

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel进行数据的相关性分析和做图。

2 结果与讨论

2.1 堆肥原料种类

2.1.1 动物粪便

本次调研从堆肥厂采集的动物粪便以牛粪、猪粪、羊粪、鸡粪和鸭粪为主,未采集到马粪、驴粪、骡子粪以及各种圈粪。主要是由于畜禽养殖结构和农耕方式发生改变所致。

受人们对畜禽产品需求成倍增加的影响,我国畜禽养殖业发展迅速,由图1a可知,畜禽产品产量逐年上升,2018年猪肉、牛肉、羊肉和禽蛋产量较1996年分别增长71.1%、81.1%、162.5%和59.2%^[13],畜禽粪便产生量也随之增加。受新型交通工具替代牛车、马车等农村传统交通工具以及现代化的农机设备替代人耕马拉等原始耕作方式的影响,马、驴和骡的养殖量逐年降低(图1b),2018年马、驴和骡的存栏量较1996年分别下降60.1%、73.2%和84.1%^[13],因此这3个畜种的粪便产生量也随之减少。受畜禽养殖向规模化和集约化发展的影响,农村养殖散户不断减少,因此产生的各种圈粪和厩粪也随之减少。

2.1.2 餐厨垃圾

本次调研过程中,从有机肥厂采集到了餐厨垃圾。餐厨垃圾分为餐饮垃圾和厨余垃圾,与厨余垃圾相比,餐饮垃圾的产生量更为巨大,目前是餐厨垃圾的主要来源^[6]。据统计,2017年我国餐饮垃圾年产量达 6.3×10^7 t,加上厨余垃圾共 1.58×10^8 t^[14]。但是随着垃圾分类政策的推行,厨余垃圾分出量将大幅提升,例如,北京自2020年5月1日《北京市生活垃圾管理条例》实施以来,厨余垃圾分出量增长了11.7倍,分出率达到19.8%^[15]。餐厨垃圾含有较高的有机质和水分,C/N为11.8~17.4,堆肥化利用是其主要的资源化处理方式之一。

2.2 堆肥原物理化性质

堆肥原物理化性质按照C/N由小到大进行排列,参见表2。C/N低于20的堆肥原料包括动物粪便、蔬菜尾菜、酒糟、海肥和餐厨垃圾等,占调研总种类的50.0%。C/N介于20~30的堆肥原料包括蘑菇渣、糖渣、草木灰和药渣等,占调研总种类的16.7%。C/N高

表1 样品种类、数量以及分布情况

Table 1 The category, quantity and sampling area of materials

编号 Number	种类 Category	数量 Quantity	采集地区 Sampling area
1	牛粪 Cow dung	46	山东、江苏、北京、黑龙江、湖南、广东、广西、四川、陕西、辽宁、河北、甘肃
2	猪粪 Pig manure	38	江苏、河南、浙江、江西、北京、湖南、山西、甘肃、宁夏、陕西、云南、广东、四川、广西、山东、河北
3	羊粪 Sheep manure	17	山西、甘肃、北京、山东、江苏、云南、陕西、贵州、浙江、内蒙古、河南、四川
4	鸡粪 Chicken manure	88	山东、江苏、北京、广东、河北、湖南、四川、甘肃、云南、黑龙江、江西、湖北、海南、贵州、陕西、安徽
5	鸭粪 Duck manure	8	河北、江苏、北京、山东
6	蚯蚓粪 Wormcast	13	江苏、山东、陕西、江西、广东、安徽、北京、河北
7	水稻秸秆 Rice straw	16	江苏、黑龙江、湖南、陕西
8	小麦秸秆 Wheat straw	9	江苏、河南、陕西、山东、河北
9	玉米秸秆 Corn straw	18	北京、河北、黑龙江、甘肃
10	蘑菇渣 Mushroom residue	46	山东、江苏、广东、北京、四川、湖南、云南
11	花生壳 Peanut shells	7	山东
12	园林废弃物 Garden waste	19	河南、宁夏、江苏、四川、陕西、甘肃、广西、北京、河北
13	蔬菜尾菜 Vegetable wastes	14	甘肃、江苏、北京
14	糖渣 Sugar residue	18	山东、北京、江苏
15	糠醛渣 Furfural residue	14	山东、河北
16	玉米渣(皮) Corn residue	9	山东
17	木薯渣 Cassava residue	19	山东、广西、广东、江苏
18	稻壳 Rice hull	10	山东、江苏、四川
19	米糠 Rice husk	5	山东、四川、广东、安徽
20	麦糠 Wheat bran	2	云南
21	豆粕 Bean pulp	5	山东
22	菜粕 Vegetable dregs	3	湖南、山东
23	草木灰 Plant ash	6	山东、江苏、广西
24	烟末 Tobacco waste	19	山东、云南、湖南、广西、江苏
25	苜蓿渣 Alfalfa residue	3	山东
26	酒糟 Vinasse	3	山东、江苏
27	药渣 Dregs of a decoction	9	云南、山东、江苏、广东
28	锯末 Saw dust	8	四川、山东、云南、湖南、安徽
29	油枯 Oil cak	4	云南、山东
30	腐植酸 Humic acid	12	山东、北京、云南
31	草炭 Peat	20	山东、北京、黑龙江、河北、云南、江西
32	海藻 Seaweed	8	山东
33	海带渣 Kelp waste	1	山东
34	贝壳粉 Shell powder	2	山东
35	螃蟹壳 Crab shell	1	山东
36	餐厨垃圾 Kitchen wastes	3	广东、福建、陕西

于30的堆肥原料累计12种,多为作物残体或农产品加工副产物,包括作物秸秆、园林废弃物、米(麦)糠、木薯渣、锯末和腐植酸等,占调研总种类的33.3%。

2.2.1 原料C/N与氮磷钾总养分相关性分析

对36种堆肥原料C/N与氮磷钾总养分进行相关性分析(图2)。由图2可知,堆肥原料C/N与氮磷钾

总养分呈显著负相关,相关系数为 -0.6128 ($n=36$)。C/N低于20的堆肥原料氮磷钾总养分含量为3.34%~11.5%(平均值6.48%)。C/N介于20~30的堆肥原料氮磷钾总养分含量为3.96%~7.70%(平均值4.97%)。C/N高于30的堆肥原料氮磷钾总养分含量为1.68%~6.16%(平均值3.46%)。

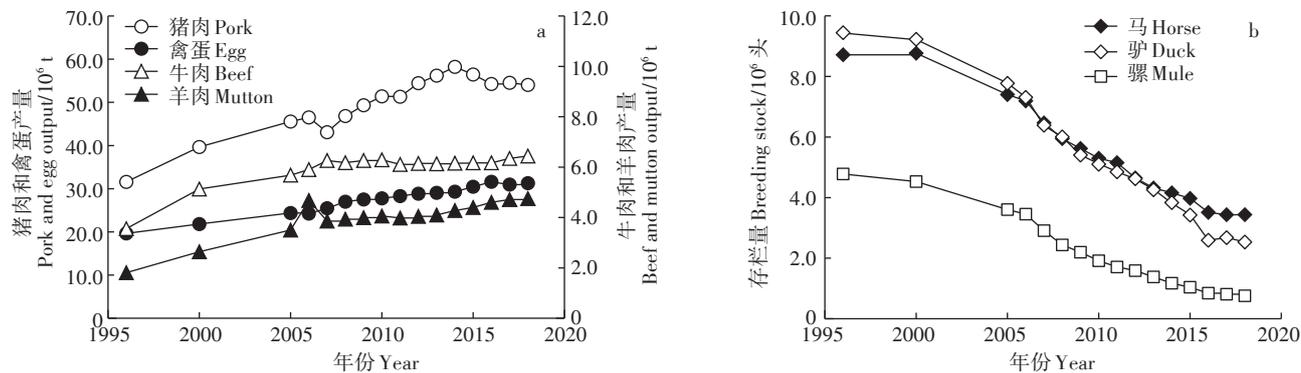


图1 畜产品产量和大牲畜年底存栏量

Figure 1 Livestock product output and breeding stock of large livestock

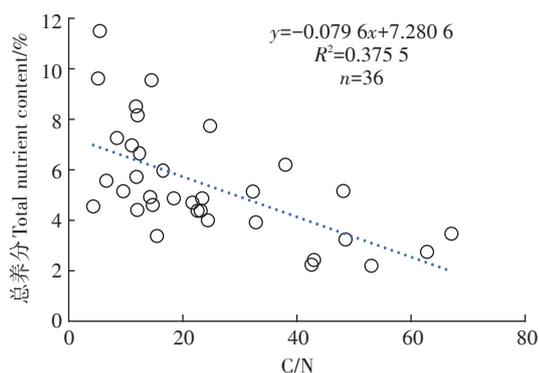


图2 堆肥原料C/N与总养分相关性分析

Figure 2 Correlation analysis between C/N ratio of compost materials and total nutrient content

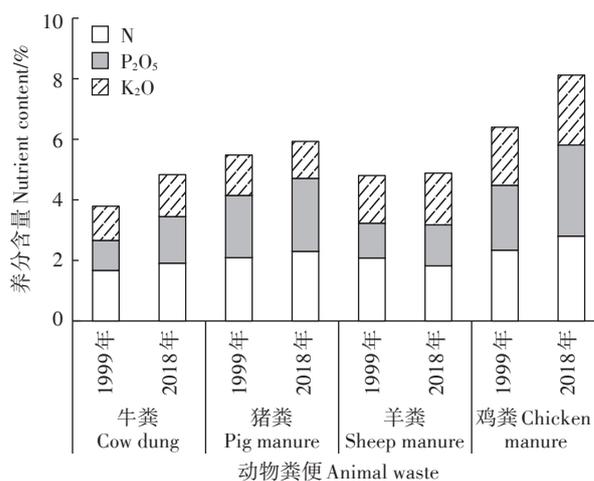


图3 1999年与2018年动物粪便总养分对比

Figure 3 Total nutrients of animal waste in 1999 and 2018

2.2.2 动物粪便氮磷钾总养分变化趋势

与1999年出版的《中国有机肥料养分数据集》相比^[16],牛粪、猪粪、羊粪和鸡粪中氮磷钾总养分分别增加27.4%、8.2%、1.7%和26.9%,呈现升高趋势(图3);其中氮增加幅度为-12.5%~19.7%,磷增加幅度为17.1%~56.1%,钾增加幅度为-8.20%~21.9%。原因主要有两个方面:

(1) 饲料添加剂广泛使用。随着畜禽养殖由分散饲养向规模化和集约化方向发展,饲料添加剂的使用越来越普遍。2019年,氨基酸和氨基酸盐类添加剂总产量为330万t,同比增长10.5%,非蛋白氮(尿素、磷酸铵等一类非蛋白态含氮化合物的总称)添加剂总产量为4万t,同比增长26.4%;磷酸氢钙(含磷酸二氢钙)含磷添加剂总产量为366万t,同比增长2.3%^[17], 防腐剂(二甲酸钾)^[18]、营养补充剂(磷酸二氢钾、碘酸钾)^[19-20]也保持增长。含氮磷钾饲料添加剂的普及和大量使用,促使畜禽粪便中总养分含量升高。

(2) 清粪方式发生了变化。随着畜禽养殖环保政

策的实施,规模化、集约化的现代养殖场为减少污水产生量以及降低COD、BOD、TN和TP等污染物的排放,在清粪环节采用更为环保的干清粪工艺^[21-24],促使氮磷钾养分更多地保留在粪便中,因而畜禽粪便中的氮磷钾含量相对增加。

畜禽粪便氮磷钾总养分的升高,要求在推荐有机肥用量时,应根据限量标准适当降低施肥量,减少养分在土壤中的盈余,降低面源污染风险。

2.2.3 堆肥原料N/P差异性分析

不同堆肥原料N/P有较大差异(表2)。动物粪便N/P普遍较低,为1.10~1.79,而秸秆类、蔬菜尾菜以及农副产品加工副产物N/P普遍较高,通常比值在5.0以上。近年来设施土壤磷素大量累积并发生淋溶,土壤环境污染风险加剧,主要是有机肥N/P为1:1,与蔬菜N/P吸收比2:1~4:1不同步,而常规操作又以氮为依据进行推荐施肥,因此有机肥提供的磷大于作物吸

表2 堆肥原料理化性质

Table 2 Materials of physical and chemical properties

种类 Category	有机碳 TOC/%	全氮 TN/%	全磷 (P ₂ O ₅)/%	全钾 (K ₂ O)/%	氮磷钾总养分/%	C/N	N/P
螃蟹壳 Crab shell	13.72	3.20	0.94	0.37	4.51	4.29	3.42
酒糟 Vinasse	28.31	6.11	2.54	0.93	9.58	5.14	21.21
苜蓿渣 Alfalfa residue	43.77	8.24	1.66	1.56	11.46	5.44	17.79
海带渣 Kelp waste	30.28	4.59	0.71	0.23	5.53	6.60	6.50
菜粕 Vegetable dregs	38.35	4.48	0.94	1.80	7.22	8.44	12.95
贝壳粉 Shell powder	10.09	3.73	0.83	0.55	5.11	9.55	4.36
海藻 Seaweed	32.04	3.39	1.41	2.13	6.93	11.05	2.98
餐厨垃圾 Kitchen wastes	42.86	4.49	2.35	1.63	8.47	11.78	5.78
蚯蚓粪 Wormcast	22.44	2.29	2.23	1.16	5.68	11.88	1.79
玉米渣(皮) Corn residue	33.58	3.06	0.67	0.64	4.37	12.01	15.25
鸡粪 Chicken manure	29.84	2.80	3.01	2.31	8.12	12.06	1.10
蔬菜尾菜 Vegetable wastes	33.00	2.94	0.64	3.03	6.61	12.40	5.22
羊粪 Sheep manure	24.82	1.82	1.35	1.71	4.88	14.26	1.77
油枯 Oil cake	40.07	3.22	5.06	1.23	9.51	14.51	0.62
鸭粪 Duck manure	23.44	1.86	1.51	1.20	4.57	14.72	1.22
花生壳 Peanut shells	35.84	2.34	0.38	0.62	3.34	15.46	19.64
猪粪 Pig manure	31.24	2.30	2.40	1.23	5.93	16.52	1.40
牛粪 Cow dung	33.40	1.91	1.53	1.39	4.83	18.41	1.59
豆粕 Bean pulp	49.79	2.92	1.03	0.71	4.66	21.68	3.56
糖渣 Sugar residue	42.32	2.79	1.20	0.35	4.34	22.57	20.52
药渣 Dregs of a decoction	33.53	1.91	1.70	0.73	4.34	23.12	3.52
蘑菇渣 Mushroom residue	34.80	1.92	1.61	1.30	4.83	23.38	1.99
草木灰 Plant ash	13.77	1.41	0.88	1.67	3.96	24.38	7.80
烟末 Tobacco waste	43.07	2.50	1.82	3.38	7.70	24.77	4.61
木薯渣 Cassava residue	28.75	2.91	1.52	0.67	5.10	32.27	4.35
稻壳 Rice hull	43.13	2.09	1.13	0.66	3.88	32.80	48.80
米糠 Rice husk	33.30	2.98	2.51	0.67	6.16	37.98	6.40
草炭 Peat	35.07	1.35	0.30	0.55	2.20	42.56	10.02
玉米秸秆 Corn straw	38.85	0.99	0.26	1.14	2.39	42.98	4.12
糠醛渣 Furfural residue	51.57	1.32	2.98	0.82	5.12	48.12	7.69
水稻秸秆 Rice straw	40.97	0.99	0.46	1.75	3.20	48.51	2.95
园林废弃物 Garden waste	54.63	1.33	0.27	0.56	2.16	53.04	6.31
小麦秸秆 Wheat straw	37.70	0.72	0.36	1.63	2.71	62.80	2.92
腐植酸 Humic acid	37.63	1.49	1.67	0.27	3.43	67.08	47.05
锯末 Saw dust	43.27	0.33	1.04	0.31	1.68	155.28	0.98
麦糠 Wheat bran	45.20	0.14	3.20	0.24	3.58	425.18	0.04

收,而使磷不断累积在土壤中。较高的堆肥 N/P 有利于减少有机肥源磷在土壤中的累积。因此了解堆肥原料 N/P 并在堆肥过程中对 N/P 进行调控,对提高堆肥 N/P 并减少磷素在土壤中的累积具有重要意义。

以畜禽粪便与玉米秸秆联合堆肥为例说明 N/P 对调整堆肥配方的影响。设置堆肥初始 C/N 分别为 15、20、25、30 和 35,混合物料初始 N/P 如表 3 所示。

堆肥初始 C/N 从 15 增加到 35,混合物料 N/P 亦随之增加,两者呈显著正相关,相关系数为 0.875 9。因此,可通过调控堆肥初始 C/N 获得适宜的 N/P,较高的 N/P 可减少磷在土壤中的累积,降低面源污染风险。

3 结论

对全国有机肥生产企业进行调研,堆肥原料种类

表3 不同C/N条件下畜禽粪便与玉米秸秆混合物料N/P

Table 3 N/P ratio of mixed materials of animal manure and corn stalk at different C/N ratio

混合物料 Mixed materials	C/N=15	C/N=20	C/N=25	C/N=30	C/N=35	C/N与N/P相关性 The correlation between C/N and N/P
牛粪+玉米秸秆 Cow dung+corn stalk	—	1.30	1.52	1.83	2.29	$y=0.0552x+0.2262$ $R^2=0.7672$
猪粪+玉米秸秆 Pig manure+corn stalk	—	1.06	1.26	1.55	2.01	
羊粪+玉米秸秆 Sheep manure+corn stalk	1.37	1.55	1.78	2.09	2.53	
鸡粪+玉米秸秆 Chicken manure+corn stalk	1.00	1.15	1.36	1.66	2.12	
鸭粪+玉米秸秆 Duck manure+corn stalk	1.24	1.41	1.63	1.94	2.39	

和总养分较20 a前均发生较大变化。

(1)堆肥原料种类与20 a前数据相比,马粪、驴粪、骡子粪以及各种圈粪不再是堆肥主要原料。此外,餐厨垃圾数量激增,经过有效处理后可成为堆肥原料。

(2)牛粪、猪粪、羊粪和鸡粪等氮磷钾总养分与20 a前相比呈升高趋势,分别增加27.4%、8.2%、1.7%和26.9%,其中氮增加幅度为-12.5%~19.7%,磷增加幅度为17.1%~56.1%,钾增加幅度为-8.20%~21.9%。应根据土壤限量标准适当减少有机肥施用量,以降低土壤养分盈余。

(3)以畜禽粪便为主要原料的堆肥初始N/P与C/N呈显著正相关(相关系数为0.8759),通过调控C/N可获得适宜的N/P,从而减少土壤磷素累积。

参考文献:

- [1] 农业农村部,国家发展改革委,财政部等.关于印发《关于推进农业废弃物资源化利用试点的方案》的通知[E/OL].(2016-08-11)[2021-09-20].http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/nybgz/201609/t20160919_5277846.htm. Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission, The Ministry of Finance, et al. Notice on the issuance of the plan on pilot program for promoting the utilization of agricultural waste resources[E/OL].(2016-08-11)[2021-09-20].http://www.moa.gov.cn/gk/zcfg/nybgz/201609/t20160919_5277846.htm.
- [2] 石祖梁,王飞,王久臣,等.我国农作物秸秆资源利用特征、技术模式及发展建议[J].中国农业科技导报,2019,21(5):8-16. SHI Z L, WANG F, WANG J C, et al. Utilization characteristics, technical model and development suggestion on crop straw in China[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(5):8-16.
- [3] 张亨,韩建东,李瑾,等.食用菌菌渣综合利用与研究现状[J].山东农业科学,2016,48(7):146-150. ZHANG T, HAN J D, LI J, et al. Comprehensive utilization and research status of edible fungi residues [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2016, 48(7):146-150.
- [4] 刘瑜,戚智勇,赵佳颖,等.我国城市园林废弃物及其资源化利用现状[J].再生资源与循环经济,2020,13(8):38-44. LIU Y, QI Z Y, ZHAO J Y, et al. Urban garden waste and its resource utilization in China[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2020, 13(8):

38-44.

- [5] 王婷.餐厨垃圾处理及除臭微生物菌剂的制备和应用[D].北京:北京化工大学,2018. WANG T. Preparation and application of microbial agent for food waste treatment and deodorization[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2018.
- [6] 邢君妍,罗恩华,金宜英,等.中国餐厨垃圾资源化利用系统建设现状研究[J].环境科学与管理,2018,43(4):39-43. BING J Y, LUO E H, JIN Y Y, et al. Current situation of food waste recycling in China [J]. *Environmental Science and Management*, 2018, 43(4):39-43.
- [7] ZHANG C S, SU H J, BAEYENS J, et al. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 38:383-392.
- [8] 刘佳豪,姚昕,翟胜,等.我国蔬菜废弃物资源化利用技术分析及展望[J].农业资源与环境学报,2020,37(5):636-644. LIU J H, YAO X, ZHAI S, et al. Analysis and prospects for resource utilization of vegetable waste in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(5):636-644.
- [9] 刘桐利,赵立欣,孟海波,等.秸秆能源化利用技术评价方法探究与优化[J].环境工程,2020,38(8):195-200. LIU T L, ZHAO L X, MENG H B, et al. Research and optimization of evaluation methods for straw energy utilization technology[J]. *Environmental Engineering*, 2020, 38(8):195-200.
- [10] 张邦喜,罗文海,杨仁德,等.添加菌糠对鸡粪-烟末堆肥腐熟度及污染气体排放的影响[J].核农学报,2020,34(11):2578-2586. ZHANG B X, LUO W H, YANG R D, et al. Effects of spent mushroom substrate on the maturity and gaseous emissions in co-composting of chicken manure and tobacco wastes[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(11):2578-2586.
- [11] 吴浩玮,孙小淇,梁博文,等.我国畜禽粪便污染现状及处理与资源化利用分析[J].农业环境科学学报,2020,39(6):1168-1176. WU H W, SUN X Q, LIANG B W, et al. Analysis of livestock and poultry manure pollution in China and its treatment and resource utilization[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(6):1168-1176.
- [12] 段亚军,张惠,吕诗,等.河北省不同蔬菜种类废弃物资源量、分布特征及肥料化利用潜力分析[J].中国蔬菜,2020(10):77-82. DUAN Y J, ZHANG H, LÜ S, et al. Analysis on quantity, distribution characteristics and utilization as resource manure potential of different kinds vegetable wastes in Hebei Province[J]. *China Vegetables*, 2020(10):77-82.
- [13] 中华人民共和国农业农村部.中国农业年鉴[M].北京:中国农业

- 出版社, 2019:294-298. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the PRC. China agriculture yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019:294-298.
- [14] 王凯军, 王婧瑶, 左剑恶, 等. 我国餐厨垃圾厌氧处理技术现状分析及建议[J]. 环境工程学报, 2020, 14(7):1735-1742. WANG K J, WANG J Y, ZUO J E, et al. Analysis and suggestion of current food waste anaerobic digestion technology in China[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2020, 14(7):1735-1742.
- [15] 黄哲程. 北京新版垃圾分类实施半年 厨余垃圾分出量增长11.7倍[N]. 新京报, 2020-11-03. HUANG Z C. The amount of kitchen waste discharged increased by 11.7 times after Beijing's new garbage sorting scheme has been implemented for half one year[N]. *The Beijing News*, 2020-11-03.
- [16] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分数据集[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999:27-39. National Agricultural Technology Extension Service Center. Nutrient data set of organic fertilizers in China[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1999:27-39.
- [17] 刘杰, 徐丽. 2019年我国饲料添加剂概况[J]. 中国饲料, 2020(15):4-7. LIU J, XU L. General situation of feed additives in China in 2019[J]. *China Feed*, 2020(15):4-7.
- [18] 卢艳敏, 刘海鹏. 二甲酸钾在动物养殖中的应用研究进展[J]. 楚雄师范学院学报, 2018, 33(3):27-31. LU Y M, LIU H P. Research advances of potassium diformate application in animal breeding[J]. *Journal of Chuxiong Normal University*, 2018, 33(3):27-31.
- [19] 于沛沛, 赵书煌, 姜启兴, 等. 碘酸钾作为饲料添加剂的研究进展[J]. 饲料与畜牧, 2010(10):19-21. YU P P, ZHAO S H, JIANG Q X, et al. Research advances of potassium iodate as feed additive[J]. *Feed and Animal Husbandry*, 2010(10):19-21.
- [20] 黄李蓉. 饲料级磷酸氢钙、磷酸二氢钾和磷酸氢二钾质量特性研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2013. HUANG L R. Feed-grade dicalcium phosphate, potassium dihydrogen phosphate, and potassium dipotassium hydrogen phosphate quality characteristics research[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2013.
- [21] 张蕾, 刘景喜, 孙守强, 等. 天津市规模化奶牛场粪污收集处理情况调研分析[J]. 畜禽业, 2019, 30(12):61-64. ZHANG L, LIU J X, SUN S Q, et al. Investigation and analysis of waste collection and treatment on scaled dairy farms in Tianjin[J]. *Livestock and Poultry Industry*, 2019, 30(12):61-64.
- [22] 李驰, 罗丽霞, 刘进芳, 等. 畜禽养殖业污染现状及资源化利用探讨[J]. 当代畜禽养殖业, 2019(11):56-57. LI C, LUO L X, LIU J F, et al. Discussion on pollution status and resource utilization of livestock and poultry breeding industry[J]. *Modern Animal Husbandry*, 2019(11):56-57.
- [23] 李金容, 刘新, 尚卫敏, 等. 渝北区畜禽粪污处理模式浅析[J]. 中国畜禽种业, 2019, 15(2):9-10. LI J R, LIU X, SHANG W M, et al. Analysis of Yubei district treatment mode of livestock and poultry manure[J]. *The Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 2019, 15(2):9-10.
- [24] 侯丽. 规模奶牛场粪污处理及循环利用模式[J]. 中国乳业, 2018(11):39-42. HOU L. Dung treatment and recycling model for large-scale dairy farms[J]. *China Dairy*, 2018(11):39-42.