

有机肥水溶性养分及评价指标研究

冯 龙¹, 张旭博^{2*}, 孙 楠³, 梁 硕², 唐 瑜¹, 吴正肖¹, 李 雄¹, 陶 雯¹, 张崇玉^{1*}

(1. 贵州大学农学院, 贵州 贵阳 550025;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所/生态网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;

3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/耕地培育技术国家工程实验室, 北京 100081)

摘 要: 为修订有机肥料标准提供理论和参考依据, 本研究设置3类有机肥模拟样品: (1) 畜禽粪便有机肥: 鸡粪有机肥(C1)、C1+化肥+煤矸石(C1-CF-M1)、C1+化肥+风化煤(C1-CF-M2)、C1+化肥+腐殖酸土(C1-CF-M3); (2) 中草药渣(发酵完全, Z1)、Z1+化肥(Z1-CF)、中草药渣(发酵不完全, Z2)、Z2+化肥(Z2-CF); (3) 玉米芯菌菇包(H1)、H1+化肥(H1-CF), 并测定其总养分和水溶性养分含量及容重, 以探究有机肥养分及品质评价指标的合理范围。结果表明: 1) 各供试有机肥全氮、全磷、全钾含量相等时, C1的水溶性氮、磷、钾含量最低(3.83、3.58、8.50 g·kg⁻¹), 而添加化肥的有机肥样品(C1-CF-M1、C1-CF-M2、C1-CF-M3、Z1-CF、Z2-CF、H1-CF)的水溶性氮、磷、钾含量分别高于7.45、8.71、15.78 g·kg⁻¹; 2) 正常发酵的有机肥(C1、Z1、H1)水溶性氮占全氮含量的16.48%~24.66%, 水溶性磷占全磷含量的12.92%~22.19%, 水溶性钾占全钾含量的19.48%~39.27%, 水溶性有机质占总有机质含量的6.37%~9.80%, 容重低于0.51 g·cm⁻³; 而添加化肥的有机肥样品(C1-CF-M1、C1-CF-M2、C1-CF-M3、Z1-CF、Z2-CF、H1-CF)的水溶性氮占全氮含量的47.91%以上, 水溶性磷占全磷含量的54.03%以上, 水溶性钾占全钾含量的72.90%以上; C1-CF-M1、C1-CF-M2、C1-CF-M3处理的水溶性有机质占总有机质含量的1%以下, 容重高于0.69 g·cm⁻³; 3) 未发酵完全的处理Z2, 其水溶性氮占全氮含量的13.93%以下, 水溶性磷占全磷含量的10.37%以下, 水溶性钾占全钾含量的21.94%以下, 水溶性有机质占总有机质含量的2.29%, 容重低于0.51 g·cm⁻³。因此, 供试有机肥均达到农业行业标准(NY 525-2012)的前提下, 进一步检测其水溶性养分含量以及容重, 可为农业行业标准(NY 525-2012)修订提供多元检测方法和理论依据。

关键词: 有机肥; 品质评价; 水溶性养分; 容重

中图分类号: S146+.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257(2018)03-0122-06

有机肥含有丰富的有机质、氨基酸、蛋白质等有机养分, 以及氮、磷、钾等无机养分^[1-2]。其推广应用, 对减少化肥施用、改善和提高土壤肥力、促进农作物优质和高效生产有着不可替代的作用^[3-5], 在农业发展进程中越来越受到人们的重视^[6]。同时, 国家及各地方政府连续出台鼓励施用有机肥的政策及措施^[7], 以及农业部门大力推广有机肥的施用, 这给商品有机肥的开发利用提供了良好的条件^[8]。但基于当前农业行业标准(NY 525-

2012)^[9]还不够完善, 标准仅对有机肥中有机质和总养分含量、5种重金属含量及pH值、含水率等进行了检测, 而这些指标难以鉴别掺入化肥、风化煤等生产的“合格有机肥”, 施用这类“合格有机肥”不仅导致农作物伤苗或者减产, 而且还严重威胁耕地质量安全^[8,10-12], 直接影响有机肥推广和应用^[13]。研究有机肥掺假造假鉴别的新指标, 规范有机肥生产企业的生产行为, 保证有机肥质量, 保护农民利益, 已成为确保我国有机肥产业不断发展的当务之急。

本研究从有机肥市场现状出发, 选择市场上常用的几种制作有机肥的掺假原料, 通过添加化肥、无机碳源等材料配制一系列符合农业行业标准(NY 525-2012)^[9]的“合格有机肥”模拟样, 并对这些“合格有机肥”的总养分含量、容重以及水溶性养分含量等指标测定和分析, 试图补充国家有机肥检测方法, 确立反映有机肥内在品质的指标及

收稿日期: 2017-10-13; 最后修订日期: 2018-01-28

基金项目: 贵州省农业科技攻关项目: 黔科合NY(2013)3028; 国家科技支撑计划(2014BAD14B03)。

作者简介: 冯龙(1990-), 男, 贵州省德江县人, 硕士研究生, 研究方向为施肥原理与养分管理。E-mail: 517843749@qq.com。

通讯作者: 张旭博, E-mail: zhangxb@igsnrr.ac.cn; 张崇玉, E-mail: zhcy600116@sina.com。

其评价标准,为农业行业标准 (NY 525 - 2012)^[9] 修订提供多元检测方法和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

由于当前有机肥市场掺假原料鱼龙混杂,难以辨别,本研究从商品有机肥市场现状出发,选取了市场上制作伪劣有机肥常用的几种掺假材料。制备的 10 种有机肥处理包含了有机肥混合市场上几种常见掺假材料(煤矸石、腐殖酸土、风化煤)的劣质有机肥、畜禽粪便有机肥以及秸秆类有机肥料,具有较好的代表性,对于不断发展变化的有机肥市场具有一定的现实参考意义。

本研究设置 3 类有机肥模拟样品:

1) 经完全发酵腐熟制备的畜禽粪便有机肥:鸡粪有机肥 (C1)、C1 + 化肥 + 煤矸石 (C1 - CF - M1)、C1 + 化肥 + 风化煤 (C1 - CF - M2)、C1 + 化肥 + 腐殖酸土 (C1 - CF - M3), 其中风化煤、煤矸石来源于贵州省贵阳市花溪区煤场;

2) 完全发酵腐熟的中草药渣 (Z1)、Z1 + 化肥 (Z1 - CF)、未经完全发酵腐熟的中草药渣 (Z2)、Z2 + 化肥 (Z2 - CF);

3) 玉米芯菌菇包 (H1)、H1 + 化肥 (H1 - CF)。为了便于分析各处理间养分的差异,除处理 Z1、Z2、H1 外,其余各处理全氮、全磷、全钾均用化肥调配为 N 1.55%, P₂O₅ 3.69%, K₂O 2.62%。

其中,各有机肥模拟样制备 1 000 g 需要的原料及化肥含量情况见表 1。

表 1 有机肥料模拟样的制备 (g)

处理	原料	尿素	过磷酸钙	氯化钾
C1	1 000	0	0	0
C1 - CF - M1	694.1	33.7	230.6	41.6
C1 - CF - M2	694.1	33.7	230.6	41.6
C1 - CF - M3	740.7	16.5	207.5	35.3
Z1	1 000	0	0	0
Z1 - CF	796.7	3.5	170.5	29.3
Z2	1 000	0	0	0
Z2 - CF	753.3	12.1	201.4	33.2
H1	1 000	0	0	0
H1 - CF	736.2	24.2	202.1	37.7

1.2 测定项目及方法

水溶性养分以及水溶性有机质的前处理方法的确定:由于目前还没有关于水溶性养分以及水溶性有机质的前处理方法的农业行业标准,所以在试验

前,通过 web of science、中国知网、万方和百度学术等文献数据库对水溶性养分、土壤水溶性养分、有机肥水溶性有机质等进行检索,得出土壤水溶性养分用去离子水浸提,土水比 1:5,常温下振荡 30 min 条件下提取完全,回收率达到 96.8%,有机肥水溶性有机质在肥水比 1:50,常温下振荡 45 min 条件下提取完全。

本研究通过控制同一振荡时间不同水肥比以及同一水肥比不同振荡时间进行了试验,得出水溶性养分在肥水比 1:50,常温下振荡 30 min 提取较为完全,水溶性有机质在肥水比 1:50,常温下振荡 1 h 提取较为完全。所以得出:(1)水溶性养分的前处理方法为精确称取 0.500 g 干样,放入 150 mL 锥形瓶中,加入 25 mL 去离子水,常温下振荡 30 min 后过 0.45 μm 滤膜,定容到 100 mL 容量瓶为待测液,其中,水溶性氮采用凯氏定氮法测定,水溶性磷采用钼锑抗比色法测定,水溶性钾采用火焰光度法测定^[14];(2)水溶性有机质的前处理方法为肥水比为 1:50,常温下振荡 1 h 后用 0.45 μm 滤膜过滤,定容到 100 mL 容量瓶,然后滤液用重铬酸钾外加热法测定^[15]。

全氮、全磷、全钾、总有机质按 NY 525 - 2012:全氮采用浓硫酸消煮 - 凯氏定氮法、全磷采用浓硫酸消煮 - 钒钼黄比色法、全钾采用浓硫酸消煮 - 原子吸收分光光度法、总有机质采用外加热法^[9];参照 NY/T 2118 - 2012,采用环刀法测定有机肥料容重^[16]。

1.3 数据分析

利用 Excel 2007 进行数据整理。用 SPSS 17.0 软件进行方差分析;用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 有机肥水溶性养分分析

2.1.1 有机肥中水溶性氮含量范围

表 2 显示,在全氮含量相同的情况下,不同处理间水溶性氮的含量差异明显,其中含量最高的是 C1 - CF - M1 处理 (13.76 g · kg⁻¹),含量最低的是 C1 处理 (3.83 g · kg⁻¹)。同时,分析表明 C1 - CF - M1 与 C1 - CF - M2 处理之间水溶性氮含量差异不显著 ($P > 0.05$),与 C1 - CF - M3 处理差异显著 ($P < 0.05$),且水溶性氮含量平均值高于 Z1 - CF、Z2 - CF、H1 - CF 处理,且差异显著 ($P < 0.05$)。另外,Z1、Z2、H1 处理之间的水溶性氮含量差异不明显 ($P > 0.05$)。

表 2 不同有机肥模拟样中水溶性氮含量

处理	SN (g · kg ⁻¹)	TN (g · kg ⁻¹)	SN/TN (%)
C1	3.83d	15.55	24.66f
C1 - CF - M1	13.76a	15.55	88.48a
C1 - CF - M2	13.74a	15.55	88.37a
C1 - CF - M3	12.45b	15.55	80.06b
Z1	2.15e	13.05	16.48g
Z1 - CF	7.45c	15.55	47.91e
Z2	1.85e	13.28	13.93h
Z2 - CF	10.76c	15.55	69.19d
H1	1.03e	5.89	17.49g
H1 - CF	11.52bc	15.55	74.06c

注：SN 为水溶性氮，TN 为全氮，SN/TN 为水溶性氮占全氮百分比。同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

从水溶性氮占全氮含量的百分比来看，C1 - CF - M1、C1 - CF - M2、C1 - CF - M3 处理大于 80.06%，且高于其余处理，有显著差异 ($P<0.05$)。同时，分析也表明 Z1 - CF、Z2 - CF、H1 - CF 处理的水溶性氮占全氮含量的百分比明显高于 C1 处理，有显著差异 ($P<0.05$)。另外，Z1、Z2、H1 处理的水溶性氮占全氮含量的百分比比处理 C1 低，表现出显著差异 ($P<0.05$)。

2.1.2 有机肥中水溶性磷含量范围

不同处理水溶性磷含量表现出显著差异 ($P<0.05$) (表 3)。在全磷含量相同情况下，水溶性磷含量最大的是无机碳源加化肥 C1 - CF - M1、C1 - CF - M2、C1 - CF - M3 处理，其水溶性磷含量可高达 12.12 g · kg⁻¹，相比 C1 处理 (3.58 g · kg⁻¹) 差异显著 ($P<0.05$)，相比 Z1 - CF、Z2 - CF、H1 - CF 处理也表现出显著差异 ($P<0.05$)。Z1 - CF、Z2 - CF、H1 - CF 处理的水溶性磷 (8.71 ~ 10.90 g · kg⁻¹) 与 C1 处理差异显著 ($P<0.05$)。水溶性磷含量最低的是 Z1、Z2、H1 处理 (低于 1.00 g · kg⁻¹)，另外，中草药渣原料未发酵 Z2 的水溶性磷含量低于中草药渣发酵的处理 Z1，但差异不明显 ($P>0.05$)。

从水溶性磷占全磷含量百分比可得出，C1 处理为 22.19%，显著低于 C1 - CF - M1、C1 - CF - M2、C1 - CF - M3 处理 ($P<0.05$)，C1 处理的水溶性磷占全磷含量百分比也明显低于 Z1 - CF、Z2 - CF、H1 - CF 处理，同样表现出显著差异 ($P<0.05$)。另外，有机物料加化肥的处理水溶性磷占全磷含量百分比相比原料均有不同程度的提高，

Z1 - CF、Z2 - CF、H1 - CF 处理的水溶性磷占全磷含量百分比比 Z1、Z2、H1 处理高出 5 倍。

表 3 不同有机肥模拟样中水溶性磷含量

处理	SP (g · kg ⁻¹)	TP (g · kg ⁻¹)	SP/TP (%)
C1	3.58d	16.12	22.19d
C1 - CF - M1	12.12a	16.12	75.19a
C1 - CF - M2	12.05a	16.12	74.77a
C1 - CF - M3	11.09b	16.12	68.77b
Z1	0.85e	5.29	16.07e
Z1 - CF	8.71c	16.12	54.03c
Z2	0.57e	5.50	10.37g
Z2 - CF	10.88b	16.12	67.51b
H1	0.35e	2.71	12.92f
H1 - CF	10.90b	16.12	67.64b

注：SP 为水溶性磷，TP 为全磷，SP/TP 为水溶性磷占全磷百分比。

2.1.3 有机肥中水溶性钾含量范围

结果表明，在全钾含量相同时，各处理间水溶性钾含量差异明显 (表 4)，与 C1 相比，所有处理水溶性钾含量均显著增加 ($P<0.05$)，其中，C1 - CF - M1、C1 - CF - M2、C1 - CF - M3 处理的含量最大，其含量高于 19.48 g · kg⁻¹。其次是 Z1 - CF、Z2 - CF、H1 - CF 处理，含量为 15.78 ~ 18.62 g · kg⁻¹，含量低于 C1 - CF - M1、C1 - CF - M2、C1 - CF - M3 处理，且差异明显 ($P<0.05$)。另外，Z1、Z2、H1 处理之间水溶性钾含量差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 不同有机肥模拟样中水溶性钾含量

处理	SK (g · kg ⁻¹)	TK (g · kg ⁻¹)	SK/TK (%)
C1	8.50d	21.65	39.27f
C1 - CF - M1	20.05a	21.65	92.62a
C1 - CF - M2	20.39a	21.65	94.19a
C1 - CF - M3	19.48ab	21.65	89.98b
Z1	1.95e	6.15	31.71g
Z1 - CF	15.78c	21.65	72.90e
Z2	1.36e	6.20	21.94h
Z2 - CF	18.11b	21.65	83.66d
H1	0.53e	2.72	19.48i
H1 - CF	18.62b	21.65	86.02c

注：SK 为水溶性钾，TK 为全钾，SK/TK 为水溶性钾占全钾百分比。

结果同时也得出，各处理间水溶性钾占全钾含量的百分比存在显著差异 ($P<0.05$) (表 4)，其中最大的是 C1 - CF - M2 处理 (94.19%)，最小的为 H1 处理 (19.48%)。C1 处理的水溶性钾占全钾含量的百分比为 39.27%，显著低于 C1 - CF - M1、C1 - CF - M2、C1 - CF - M3、Z1 - CF、Z2 - CF、

H1 - CF 处理 ($P < 0.05$)。另外, 添加化肥的有机肥样品中水溶性钾占全钾含量的百分比相比未添加处理提高了 2.4 ~ 5.5 倍; 中草药渣原料发酵 Z1 与未发酵 Z2 之间水溶性钾占全钾含量百分比也存在明显差异 ($P < 0.05$)。

2.2 有机肥中水溶性有机质含量范围

表 5 显示, 各试验处理之间的总有机质含量差异显著 ($P < 0.05$), 各处理总有机质含量符合国家有机肥标准 (有机质 $\geq 45\%$)。分析水溶性有机质含量可得出, C1 - CF - M1、C1 - CF - M2、C1 - CF - M3 处理的水溶性有机质含量 ($< 6.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 显著低于对照处理 C1 ($P < 0.05$)。其次, 各处理水溶性有机质占总有机质的百分比差异明显, 例如, C1 - CF - M1、C1 - CF - M2、C1 - CF - M3 处理水溶性有机质占总有机质含量的百分比最低 (分别是 0.15%、0.36%、1.07%), 显著低于对照处理 C1 ($P < 0.05$)。另外, 中草药渣原料发酵 Z1 与未发酵 Z2 之间其水溶性有机质以及水溶性有机质占总有机质含量百分比也存在显著差异 ($P < 0.05$)。

表 5 不同有机肥模拟样中水溶性有机质含量

处理	SOM ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	TOM ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	SOM/TOM (%)
C1	39.67c	458.06h	8.66a
C1 - CF - M1	0.77h	524.48f	0.15d
C1 - CF - M2	2.40g	667.57b	0.36d
C1 - CF - M3	6.49f	606.01d	1.07cd
Z1	54.28a	553.80e	9.80a
Z1 - CF	43.25b	441.21i	9.80a
Z2	15.34d	668.18b	2.29c
Z2 - CF	11.54e	503.34g	2.29c
H1	54.05a	848.35a	6.37b
H1 - CF	39.79c	624.27c	6.37b

注: SOM 为水溶性有机质, TOM 为总有机质, SOM/TOM 为水溶性有机质占总有机质百分比。

2.3 有机肥容重范围

由图 1 可知, 各处理中 C1 - CF - M2 处理容重 ($1.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 最大, 显著高于 C1 处理 ($P < 0.05$)。C1 处理的容重明显高于 Z1 - CF、Z2 - CF、H1 - CF 处理, 差异显著 ($P < 0.05$)。另外, 有机物料加化肥处理后容重都明显增加 ($P < 0.05$), Z1 - CF 处理比 Z1 处理高 28.21%, Z2 - CF 处理比 Z2 处理高 27.02%、H1 - CF 处理比 H1 处理高 22.50%。同时, 研究表明中药渣未发酵完全 Z2 处理的容重低于已发酵完全 Z1 处理的容重, 但差异不明显 ($P > 0.05$)。

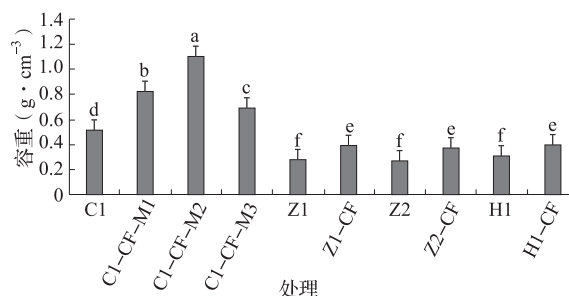


图 1 不同有机肥模拟样容重含量

注: 不同处理间不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

容重的大小与物质的质地、结构、紧实度、含水率等多项性质有关, 能反应物质的综合性质。图 2 为 C1 处理添加不同无机碳源以及有机物料后容重的变化情况。分析表明, 随着煤矸石、风化煤以及腐殖酸土的量的增加, C1 处理容重均显著增加, 对容重变化进行回归分析, C1 处理容重随着煤矸石、风化煤以及腐殖酸土的添加呈极显著线性增加 ($P < 0.01$)。而对于有机物料的添加, 如, Z1、Z2、H1 的增加 C1 的容重呈极显著线性减少 ($P < 0.01$)。

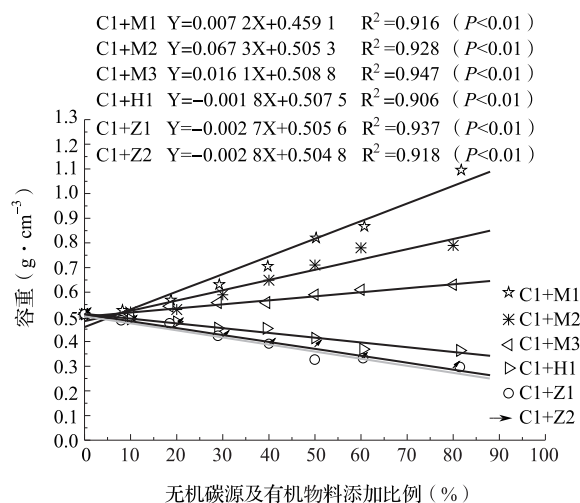


图 2 添加 M1、M2、M3、Z1、Z2、H1 对 C1 处理容重的影响

3 讨论

农业行业标准 (NY 525 - 2012)^[9] 中规定了有机肥总养分 $\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O} \geq 5.0\%$, 有机质 $\geq 45\%$, 许多厂商为了达到这一指标, 则采取添加化肥以及添加无机碳源的方式生产所谓的有机肥。这类有机肥, 总养分及有机质含量虽符合农业行业标准 (NY 525 - 2012)^[9], 但由于标准中总养分含量的检测方法不能区分有机和无机养分, 导致一些不

法生产者生产出的假冒有机肥总养分均来自化肥的添加,甚至出现有机质全部来源于无机碳源的添加的现象。针对这一现象,某一商品有机肥总养分符合农业行业标准(NY 525-2012)^[9]的前提下,应进一步检测其水溶性养分含量。

水溶性养分是指溶解于水中的植物营养物质^[17],本研究中合格有机肥(C1、Z1、H1)水溶性氮约占全氮含量的16.48%~24.66%,水溶性磷占全磷含量的12.92%~22.19%,水溶性钾占全钾含量的19.48%~39.27%。有研究表明有机肥的水溶性磷约占全磷含量的12%~25%之间^[18-19],与本研究结果相似。另外,本研究表明同一原料未发酵处理水溶性养分含量明显低于发酵处理,Gupta^[20]研究也表明随着发酵时间的增加,其水溶性养分含量逐渐增加,因为随着发酵时间的增加,微生物、细菌等将有机物破碎和降解以及在各种酶系统作用下生成可溶性的物质。在总养分含量一致时,添加化肥的处理(C1-CF-M1、C1-CF-M2、C1-CF-M3、Z1-CF、Z2-CF、H1-CF)的水溶性氮占全氮含量高于25%,水溶性磷占全磷含量高于22%,水溶性钾占全钾含量高于39%,其中以鸡粪+无机碳源+化肥的处理其水溶性养分含量最高,水溶性养分占总养分含量百分比也最高^[21-22];仅次于无机碳源处理的是有机物料+化肥处理,其原因是有机物料含有一定的养分^[23],所以添加的化肥较少,其水溶性养分含量较低;最低的是鸡粪有机肥料,其原因是未添加化肥。

水溶性有机质是指土壤和水体中由一系列大小、结构不同的分子组成,可通过0.45 μm孔径滤膜、能溶于水的有机物总称^[24]。钟秀娟^[25]研究表明有机物料经发酵处理后,水溶性有机质含量会增加。本研究表明,发酵不彻底的中草药渣Z1其水溶性有机质含量很低,仅占总有机质含量的2.29%,而发酵彻底的中草药渣、玉米芯菌菇包、鸡粪等处理(C1、Z1、H1)的水溶性有机质占总有机质含量的6.37%~9.8%,显然,有机物料经发酵处理后,水溶性有机质含量会增加,水溶性有机质占总有机质的百分比也增高。风化煤、煤矸石等处理,其总有机质含量都>45% [符合农业行业标准(NY 525-2012)^[9]],但它们都是无机碳源,水溶性有机质含量及水溶性有机质占总有机质含量的百分比都很低。因此,水溶性有机质含量范围能作为评价有机肥质量的指标之一。

本研究表明,容重也可作为评价有机肥质量的潜在指标。加入煤矸石、风化煤和腐殖酸土的劣质有机肥容重均高于0.69 g·cm⁻³,这与陈红金等^[26]研究的容重大于0.70 g·cm⁻³的有机肥料具有明显掺假行为的结果一致。另外,何铁光等^[27]认为在一定水平下同一有机物料随着发酵时间增加其容重越来越大,与本研究结果一致,本研究表明,发酵腐熟的中药渣容重高于未发酵腐熟的中药渣。此外,本研究中,C1处理是由鸡粪制备的有机肥料,其容重为0.51 g·cm⁻³,比有机原料的容重大,这是因为畜禽粪便的容重高于有机物。

4 结论

有机肥在达到农业行业标准(NY 525-2012)^[9]的前提下,水溶性养分含量以及容重可作为进一步客观评价有机肥品质的指标。本研究选取的合格有机肥中,水溶性氮约占全氮含量的16%~25%,水溶性磷约占全磷含量的13%~22%,水溶性钾约占全钾含量的19%~39%,水溶性有机质占总有机质含量的6%~10%,容重低于0.51 g·cm⁻³。该结果可为农业行业标准(NY 525-2012)^[9]的进一步修订提供多元检测方法和理论参考。

参考文献:

- [1] 张夫道. 有机-无机肥料配合是现代施肥技术的发展方向[J]. 土壤肥料, 1984, (1): 16-19.
- [2] 莫淑勋, 钱菊芬, 钱承梁. 猪粪等有机肥料中磷的养分循环再利用的研究[J]. 土壤学报, 1993, (3): 309-315.
- [3] 任伟, 赵鑫, 黄收兵, 等. 不同密度下增施有机肥对夏玉米物质生产及产量构成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, (10): 1146-1155.
- [4] 李本银, 黄绍敏, 张玉亭, 等. 长期施用有机肥对土壤和糙米铜、锌、铁、锰和镉积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 17 (1): 129-135.
- [5] 宇万太, 姜子绍, 马强, 等. 施用有机肥对土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 16 (5): 1057-1064.
- [6] 杨帆, 李荣, 崔勇, 等. 我国有机肥料资源利用现状与发展建议[J]. 中国土壤与肥料, 2010, (4): 77-82.
- [7] 黄锦法, 倪雄伟, 石艳平, 等. 基于NY 525-2012的嘉兴商品有机肥标准制定[J]. 浙江农业科学, 2013, (1): 89-91.
- [8] 张文磊. 有机肥推广的问题与对策研究[J]. 中国环保产业, 2008, (3): 28-31.
- [9] NY 525-2012, 有机肥料[S].
- [10] 程旭艳, 王定美, 乔玉辉, 等. 中国商品有机肥重金属分析[J]. 环境污染与防治, 2012, (2): 72-76.
- [11] 谭晓冬, 董文光. 商品有机肥中重金属含量状况调查[J].

- 农业环境与发展, 2006, (1): 50-51.
- [12] Zhao Y, Yan Z, Qin J, et al. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, 21 (12): 1-10.
- [13] 段丽丽, 朱有为. 浙江省商品有机肥发展现状及对策建议 [J]. *浙江农业科学*, 2013, (8): 925-937.
- [14] Uselman S M, Qualls R G, Lilienfein J. Quality of soluble organic C, N, and P produced by different types and species of litter: Root litter versus leaf litter [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, 54 (6): 57-67.
- [15] 张甲坤, 陶澍, 曹军. 土壤中水溶性有机碳测定中的样品保存与前处理方法 [J]. *土壤通报*, 2000, 31 (4): 174-176.
- [16] NY/T 2118-2012, 蔬菜育苗基质 [S].
- [17] Murphy D V, Macdonald A J, Stockdale E A, et al. Soluble organic nitrogen in agricultural soils [J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2000, 30 (5-6): 374-387.
- [18] 罗春燕, 林超文, 张维理, 等. 水肥比和振荡时间对畜禽肥水溶性磷含量测定的影响 [J]. *西南农业学报*, 2009, 22 (4): 1123-1128.
- [19] 宋春萍, 徐爱国, 张维理, 等. 有机肥水溶性磷与易溶性磷的研究 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36 (1): 242-243.
- [20] Gupta D R. Bio-fertilizer from biogas plants. *Changing villages* [M]. Nepal: Kathmandu, 1991.
- [21] 李文, 任晓旭, 蔡体久. 不同排研年限煤矸石废弃地养分含量及重金属污染评价 [J]. *林业科学*, 2011, 47 (6): 162-166.
- [22] 赵瑞芬, 张强, 程滨, 等. 不同类型煤矸石养分状况对比研究 [J]. *山西农业科学*, 2009, 37 (8): 35-37.
- [23] 王如芳, 张吉旺, 董树亭, 等. 我国玉米主产区秸秆资源利用现状及其效果 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22 (6): 1504-1510.
- [24] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. [J]. *Soil Science*, 2000, 165 (4): 277-304.
- [25] 钟秀娟. 不同工艺对堆肥水溶性有机物及肥效的影响 [D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [26] 陈红金, 姚燕来, 朱有为, 等. 商品有机肥容重测定方法的建立及不同原料对有机肥容重的影响 [J]. *浙江农业科学*, 2016, 57 (6): 945-950.
- [27] 何铁光, 何永群, 张野, 等. 木薯加工废弃物发酵过程中理化性动态变化研究 [J]. *中国园艺文摘*, 2014, (3): 4-9.

Assessment of soluble nutrients and indicators in organic fertilizers

FENG Long¹, ZHANG Xu-bo^{2*}, SUN Nan³, LIANG Shuo², TANG Yu¹, WU Zheng-xiao¹, LI Xiong¹, TAO Wen¹, ZHANG Chong-yu^{1*} (1. Agricultural College of Guizhou University, Guiyang 550025; 2. Key Lab. of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Laboratory for Improving Quality of Arable Land, Beijing 100081)

Abstract: To further expand the national organic fertilizer standard, three types of organic fertilizer samples were set up: (1) Pig and chicken manure; chicken manure (C1), C1 + chemical fertilizer + coal gangue (C1-CF-M1), C1 + chemical fertilizer + weathered coal (C1-CF-M2), C1 + chemical fertilizer + humic soil (C1-CF-M3); (2) Chinese herb residue (fermented) (Z1), Z1 + chemical fertilizer (Z1-CF), Chinese herb residue (unfermented) (Z2), Z2 + chemical fertilizer (Z2-CF); (3) corn cob mushroom package (fermented) (H1), H1 + chemical fertilizer (H1-CF). The total nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, and organic matter), and soluble nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, and organic matter) and bulk density were detected. The results showed that: 1) when the contents of total nitrogen, total phosphorus, total potassium of the tested organic fertilizers were equal, soluble nitrogen, soluble phosphorus and soluble potassium of C1 were the lowest (i.e. 3.83, 3.58, 8.50 g · kg⁻¹, respectively), but those in the C1-CF-M1, C1-CF-M2, C1-CF-M3, Z1-CF, Z2-CF, H1-CF treatments were higher than 7.45, 8.71, 15.78 g · kg⁻¹, respectively; 2) The contents of soluble nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter accounted for 16.48% ~ 24.66%, 12.92% ~ 22.19%, 19.48% ~ 39.27% and 6.37% ~ 9.8% of total nutrients for the C1, Z1, H1 treatment, respectively, and the bulk density were less than 0.51 g · cm⁻³. While those in C1-CF-M1, C1-CF-M2, C1-CF-M3, Z1-CF, Z2-CF, H1-CF treatments were more than 47.91%, 54.03% and 72.90%, respectively, and the ratio of soluble organic matter to total organic matter in C1-CF-M1, C1-CF-M2, C1-CF-M3 treatments were less than 1%, and the bulk density were more than 0.69 g · cm⁻³; 3) The contents of soluble nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter accounted for 13.93%, 10.37%, 21.94% and 2.29% of total nutrients for the Z2 treatments, respectively, and the bulk density in the treatments was less than 0.51 g · cm⁻³. The indicators in all treatments were passed the national organic fertilizer standard (NY 525-2012). However, further testing the contents of soluble nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter, and bulk density in the organic fertilizers could be an accurate way to evaluate the quality of commercial organic fertilizer and to provide theoretical basis for national organic fertilizer standard (NY 525-2012) supplement.

Key words: organic fertilizer; quality evaluation; soluble nutrients; bulk density