

# 湿垃圾好氧堆肥产品施用方式对土壤理化性状的影响

## Effect of Application Method of Compost Products of Food Waste on Soil Physicochemical Properties

张青青 徐 冰 李跃忠 张 浪 梁 晶\*  
ZHANG Qingqing XU Bing LI Yuezhong ZHANG Lang LIANG Jing\*

文章编号: 1000-0283 (2020) 07-0074-06

DOI: 10.12193/j.laig.2020.07.0074.013

中图分类号: TU986

文献标识码: A

收稿日期: 2020-04-24

### 张青青

1992年生/女/山西运城人/硕士/上海市园林科学规划研究院助理工程师/研究方向为城市土壤质量评价与改良修复(上海200232)

### 徐 冰

1990年生/男/上海人/上海市园林科学规划研究院助理工程师/研究方向为土壤有机废弃物再利用研究(上海200232)

### 梁 晶

1981年生/女/山西长治人/博士/高级工程师/上海市园林科学规划研究院土壤研究所所长/研究方向为城市土壤质量评价、修复及有机废弃物再利用(上海200232)

\*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: liangjing336@163.com

### 摘要

为了探讨湿垃圾堆肥产品施用方式对土壤理化性质的影响,本研究以上海市闵行外环线林带为对象,通过分析沟施、撒施及对照3种处理的土壤容重、pH、EC、有机碳、全氮、有效磷、速效钾和全盐量的变化,评价不同施用方式对土壤肥力质量的影响。结果表明:与CK相比,施用湿垃圾好氧堆肥产品1个月后,不同土层土壤的pH均降低,EC、有机碳、全氮、有效磷、速效钾均增高,其中撒施处理显著提高了0~5 cm土层土壤EC、有机碳、全氮、有效磷、速效钾含量,沟施处理显著提高了5~30 cm和30~60 cm土层土壤EC、有机碳、全氮、有效磷、速效钾含量。土壤肥力质量评价结果表明:施用湿垃圾堆肥产品1个月后,不同施用方式处理的土壤质量均得到提升,其中沟施处理对30~60 cm土壤质量提升优于撒施处理。该研究为湿垃圾堆肥产品合理利用于绿林地土壤改良提供了依据。

### 关键词

湿垃圾好氧堆肥产品;沟施;撒施;土壤肥力质量评价

### Abstract

In order to explore the effect of the application method of compost products of food waste on the soil, a field experiment was carried out outer ring forest belt of Minhang in Shanghai, to investigate the effects of compost products of food waste being applied with two methods of furrowing and broadcasting on the soil bulk density, pH, EC, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, available potassium and total salt, and evaluate the effects of different application methods on soil fertility quality, with no compost products of food waste as control. The results showed that soil pH decreased, and EC, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, and available potassium increased in different soil layers after applying food aerobic composting products for one month compared with CK. The content of soil EC, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, and available potassium of broadcasting treatments significantly increased in the soil layer of 0~5 cm. The furrowing treatment significantly increased the soil EC, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and available potassium in layers of 5~30 cm and 30~60 cm. The soil-fertility-quality evaluation results showed that the soil quality of different application methods improved after applying food waste compost products for one month, and the soil quality improvement of furrowing treatment to 30~60 cm was better than that of broadcasting treatment. The study provides a basis for the rational utilization of food waste compost products to improve green forest soil.

### Key words

aerobic fermentation compost products of food waste; furrow application; broadcasting application; soil-fertility-quality evaluation

据统计,2017年上海生活垃圾清运量为900万t,其中约60%的生活垃圾为湿垃圾。湿垃圾富含有机质、N、P、K营养元素等植物所需的养分<sup>[1]</sup>,也含有畜禽生长所需的蛋白质、糖类<sup>[2]</sup>,合理地将湿垃圾减量化、资源化和无害化处理显

得尤为重要。2019年1月31日上海市人大表决通过了《上海市生活垃圾管理条例》，明确提出在公共绿地、公益林优先使用湿垃圾资源化利用产品。

目前，贾璇等<sup>[3]</sup>发现施用湿垃圾调理剂可提高土壤有机碳含量，且随着施用时间的增加向深层土壤迁移。王越等<sup>[4]</sup>发现湿垃圾堆肥产品可以增加土壤颗粒有机碳含量，且可同土壤颗粒胶结形成大团聚体来提高土壤团聚体稳定性。李丰杰等<sup>[5]</sup>发现土表覆盖的湿垃圾堆肥产品对土壤的影响主要集中在表土层，对土壤的pH值和EC值无显著影响 ( $P>0.05$ )；且随施用量的增加，土壤有机质、硝态氮和有效磷显著增加 ( $P<0.05$ )。Lee等<sup>[6]</sup>发现与对照、商业堆肥和无机肥相比，湿垃圾堆肥产品处理的根际真菌和细菌数量、土壤生物量和土壤酶活性在2、4和6周时显著增加，且pH、EC、全氮含量、有机质含量普遍高于对照、商业堆肥和无机肥处理。Lee等<sup>[7]</sup>发现施用湿垃圾堆肥产品使作物收获后土壤pH、EC、有机碳、有效磷含量增加，尤其是CEC和交换性钠含量在不同水分条件下均增加。但现有的研究主要是关于湿垃圾不同处置方式的产品对土壤理化性质的影响<sup>[8]</sup>，而关于湿垃圾堆肥产品不同施用方式对绿林地土壤地力提升的研究较少。

本研究将湿垃圾好氧堆肥产品采用沟施、撒施的方式施用于上海市闵行外环线林带，通过研究施用前、施用后1个月、施用后6个月的土壤的容重、pH、EC、有机质、全氮、有效磷、速效钾、全盐量等指标，评价湿垃圾堆肥产品沟施、撒施处理方式对土壤肥力质量的影响，为湿垃圾堆肥产品施用于绿林地提供了数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本试验布设在上海市闵行外环线林带，试验面积约1200 m<sup>2</sup>，将其划分为3个小区，每个小区400 m<sup>2</sup>，其中2个小区分别采用沟施、撒施湿垃圾产品，施用量为5 t/亩，1个小区不施湿垃圾堆肥产品作为对照。

湿垃圾堆肥产品由湿垃圾原料+15%木屑+10%黑碳素堆肥而成，其有机质含量为464.2 g/kg，全氮含量为21.0 g/kg，全磷含量为6.24 g/kg，全盐量为46.1 g/kg，pH值为7.22，EC值为3.59 mS/cm。

### 1.2 土壤样品的采集与处理

本试验于施用湿垃圾前和施用后1个月、6个月进行土壤样

品的采集。采集土壤时先清除覆盖在土壤表面的堆肥层，避免影响试验数据。采用梅花点法在每个试验小区采集5个样点，每个样点分0~5 cm、5~30 cm和30~60 cm 3层采集，再将同一土层5个采样点的土壤混合，用四分法取足量土壤装入自封袋，并编号记录。自然风干，磨细备用。同时，对不同小区、不同土层进行环刀取样，每层取3个。

### 1.3 测定指标与方法

采用环刀法测土壤容重；pH值按水土比5:1浸提后用pH计测定；EC值采用电导仪测定；土壤有机碳采用重铬酸钾—外加热法测定；全氮采用凯氏定氮仪测定；有效磷、速效钾分别采用钼锑抗比色法、乙酸铵浸提—火焰光度法测定；土壤全盐量采用质量法测定。

### 1.4 数据处理与统计分析

采用SAS 9.0对不同处理进行方差分析判别差异显著性水平 ( $P<0.05$ )，并用origin 8.5软件进行作图。

为了评价施用前和施用后不同时期的土壤肥力，参照DB 31/T1191-2019《绿化土壤肥力质量评价方法》，选用容重、pH、EC、有机质、全氮、有效磷、速效钾共7项指标作为评价指标，运用修正的内梅罗 (Nemoro) 公式，对土壤肥力进行定量综合评价。内梅罗 (Nemoro) 计算公式如下：

$$P = \sqrt{\frac{(\bar{P}_i)^2 + (P_{i\min})^2}{2}} \times \frac{n-1}{n}$$

式中：

P——土壤肥力质量指数；

$\bar{P}_i$ ——样品中单质量指数的平均值；

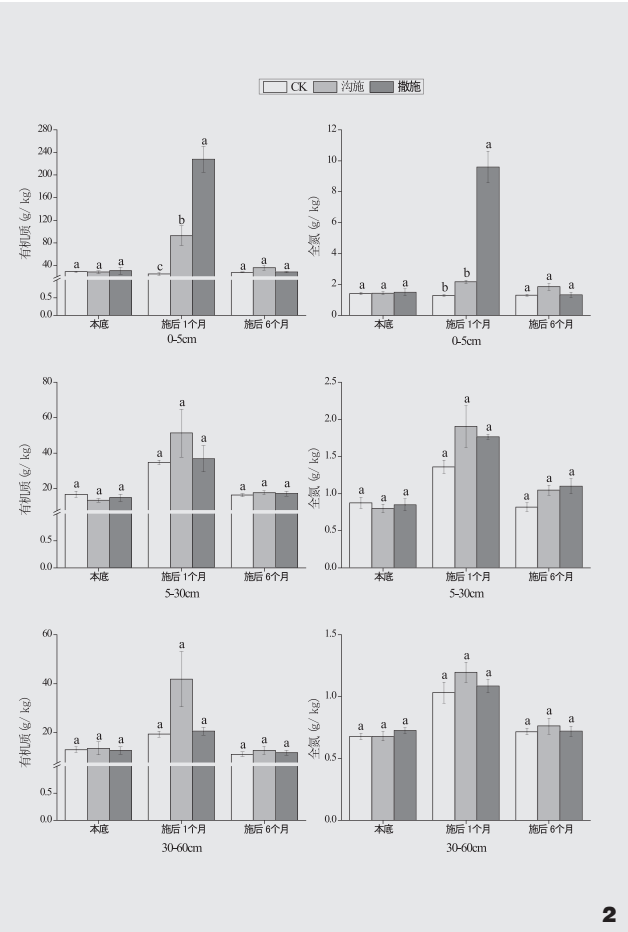
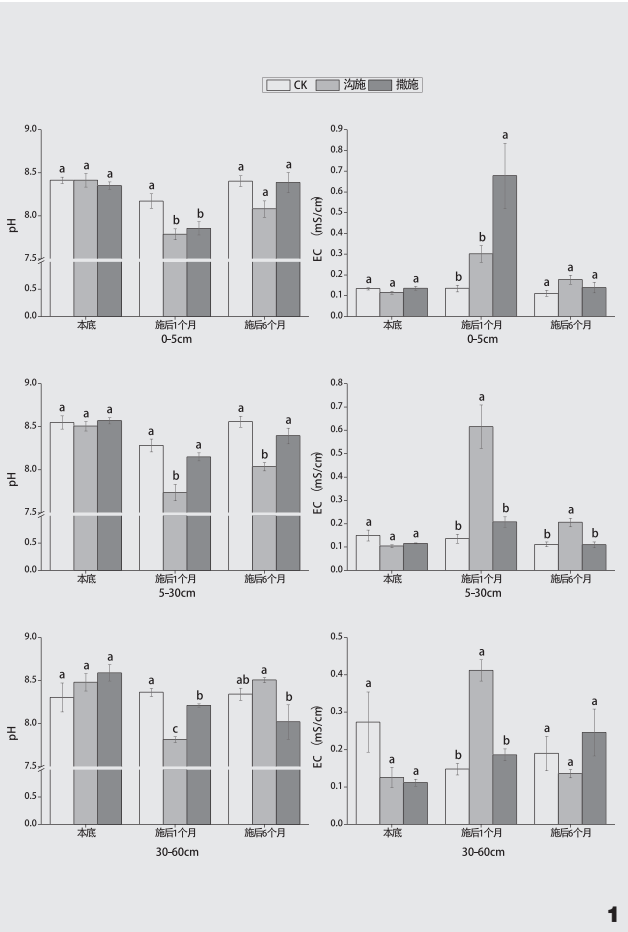
$P_{i\min}$ ——单质量指数的最小值；

n——参数个数。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤物理性质

从表1中可以看出，与CK相比，沟施和撒施处理前后土壤容重无显著差异 ( $P>0.05$ )。但施用后半年，沟施处理在0~5 cm、5~30 cm和30~60 cm土层的容重均降低，分别由1.40 g/cm<sup>3</sup>、1.59 g/cm<sup>3</sup>、1.62 g/cm<sup>3</sup>降至1.23 g/cm<sup>3</sup>、1.46 g/cm<sup>3</sup>、1.44 g/cm<sup>3</sup>。撒施处理0~5 cm和5~30 cm土层容重降低，分别由1.43 g/cm<sup>3</sup>、



1. 不同处理不同土层的pH和EC变化  
2. 不同处理不同土层的有机质和全氮的变化

1.56 g/cm<sup>3</sup>降至1.27 g/cm<sup>3</sup>、1.52 g/cm<sup>3</sup>，但对30 ~ 60 cm土层的容重影响不明显（表1）。研究表明，湿垃圾堆肥产品可以改善土壤的结构，疏松土壤孔隙，降低土壤容重，其中以沟施的效果较佳。

## 2.2 土壤化学性质

### 2.2.1 土壤pH值

施用湿垃圾前，不同土层不同处理的土壤pH值无显著差异 ( $P > 0.05$ )，均在8.30 ~ 8.60之间。施用后1个月，施用湿垃圾堆肥产品的小区土壤pH降低明显，其中以沟施和撒施的表层土pH值降低较多，且显著低于对照 ( $P < 0.05$ )。沟施处理中

0 ~ 5 cm、5 ~ 30 cm和30 ~ 60 cm土层pH值均降低，从8.4降至7.8左右；撒施处理中，仅有0 ~ 5 cm的表层土pH值降低明显，从8.35降至7.85，较深的土层pH值降幅较小。施用6个月后，土壤pH值有所回升，但是仍低于施用前。其中，0 ~ 5 cm不同处理的pH无显著差异；5 ~ 30 cm，沟施处理的土壤pH显著低于对照和撒施处理 ( $P < 0.05$ )；30 ~ 60 cm，撒施处理的土壤pH显著低于对照和沟施处理 ( $P < 0.05$ )（图1）。

### 2.2.2 土壤EC值

施用湿垃圾堆肥产品前，不同土层不同处理的土壤EC值基本均在0.1 ~ 0.2 mS/cm之间，无显著差异 ( $P > 0.05$ )。湿垃

表1 不同处理的土壤容重变化

土壤物理指标	土层 (cm)	时间	CK	沟施	撒施
容重 (g/cm <sup>3</sup> )	0~5	本底	1.36 ± 0.03a	1.40 ± 0.05a	1.43 ± 0.08a
		施后6个月	1.35 ± 0.04a	1.23 ± 0.05a	1.27 ± 0.05a
	5~30	本底	1.50 ± 0.04a	1.59 ± 0.06a	1.56 ± 0.04a
		施后6个月	1.49 ± 0.04a	1.46 ± 0.02a	1.52 ± 0.07a
	30-60	本底	1.55 ± 0.05a	1.62 ± 0.05a	1.54 ± 0.06a
		施后6个月	1.49 ± 0.04a	1.44 ± 0.05a	1.54 ± 0.06a

注：小写字母代表同一时间不同处理的显著差异 ( $P < 0.05$ )。

圾堆肥产品施用后，对照的土壤EC值没有明显变化，而沟施和撒施处理的土壤EC值均升高，变化的幅度因土层和施肥方式而异。施后1个月，沟施处理5~30 cm和30~60 cm土层EC值显著升高；而撒施处理的0~5 cm土层EC值显著升高，从0.14 mS/cm升高到0.68 mS/cm。施后6个月，0~5 cm和30~60 cm土层沟施、撒施处理与对照间差异不显著 ( $P > 0.05$ )；5~30 cm土层沟施处理EC值显著高于对照 ( $P < 0.05$ )，但与施用前差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图1)。

2.2.3 土壤有机质含量

在施用湿垃圾堆肥产品前，不同土层不同处理的有机质含量差异不明显 ( $P > 0.05$ )。施用后土壤有机质含量有不同程度的增加。施后1个月，撒施处理的表层土(0~5 cm)大幅度升高，显著高于对照 ( $P < 0.05$ )，有机质含量从30 g/kg增至228 g/kg。而沟施处理在5~30 cm的土壤有机质含量较高。施后6个月，沟施与撒施处理的土壤有机质含量均比施用前增加，但是与对照间差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图2)。

2.2.4 土壤全氮含量

在施用湿垃圾前，不同土层不同处理的全氮含量差异不显著 ( $P > 0.05$ )。施用后1个月在撒施处理的表层土(0-5cm)中大幅度升高，从1.5 g/kg升高到9.6 g/kg，显著高于对照 ( $P < 0.05$ )。而沟施处理在5-30cm的土壤全氮含量较高。施用后6个月，施用湿垃圾堆肥产品的小区土壤全氮含量高于对照，但差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图2)。

2.2.5 土壤有效磷含量

土壤有效磷含量可以反映对当季作物供应磷素能力<sup>[9]</sup>。湿垃圾堆肥产品施用前，不同处理小区的有效磷含量差异不显著

( $P > 0.05$ )。施用后1个月，撒施处理的表层(0~5 cm)有效磷大幅度升高，有效磷从9.7 mg/kg升高到269.4 mg/kg，而沟施处理在5~30 cm土层有效磷含量显著升高，与对照差异显著 ( $P < 0.05$ )。施后6个月，撒施与沟施处理有效磷含量均升高，但仅有0~5 cm土层的沟施处理显著高于对照 ( $P < 0.05$ ) (图3)。

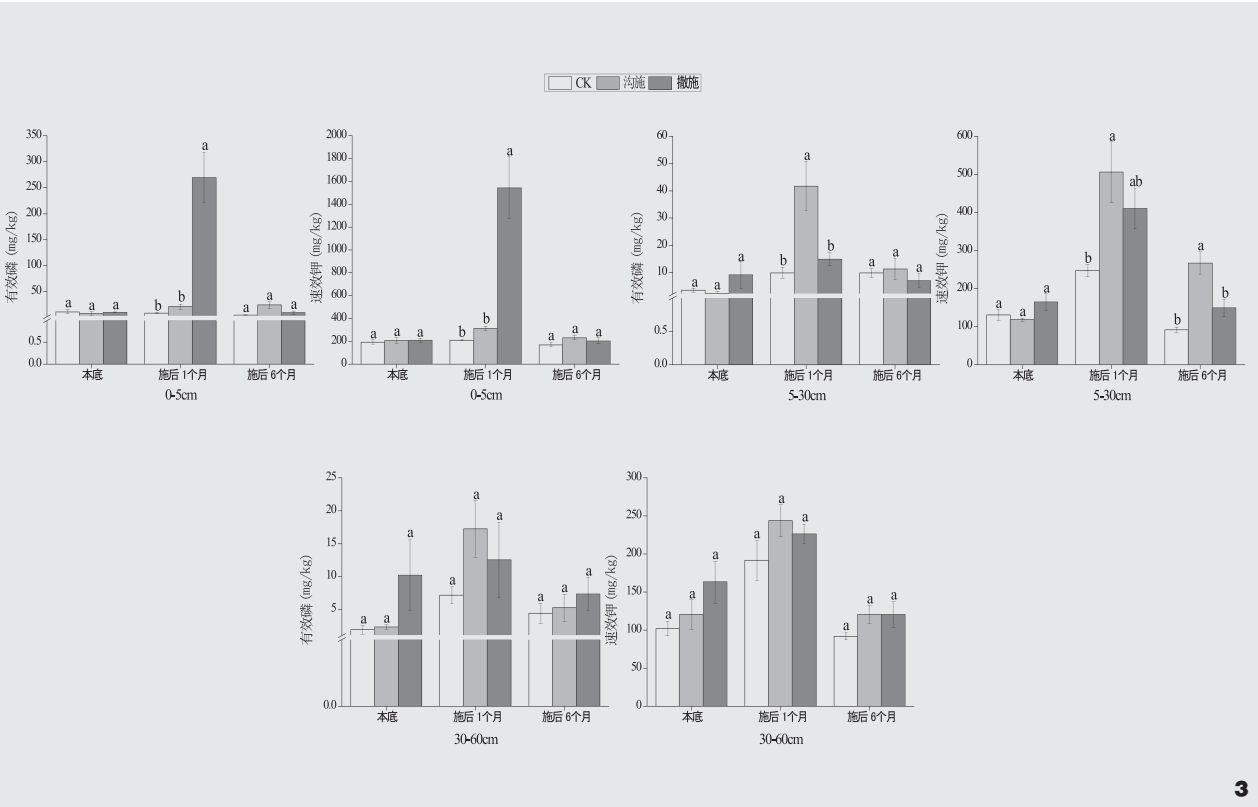
2.2.6 土壤速效钾含量

土壤速效钾含量能够直观反映土壤可供植物利用的钾素含量水平<sup>[10]</sup>。湿垃圾产品施用前，不同处理小区的速效钾含量差异不显著 ( $P > 0.05$ )。施用后1个月，速效钾在撒施处理的表层(0~5 cm)大幅度升高，比对照增加5倍，差异显著 ( $P < 0.05$ )；沟施处理小区5~30 cm土层速效钾含量也显著升高。施后6个月，0~5 cm和30~60 cm土层沟施处理和撒施处理的速效钾含量均降低，且与对照间差异不显著 ( $P > 0.05$ )，5~30 cm土层沟施处理的速效钾含量有所降低，但仍显著高于对照 ( $P < 0.05$ ) (图3)。

2.2.7 土壤全盐量

湿垃圾堆肥产品施用前，不同土层不同处理土壤全盐量均在1.0 g/kg以下，处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。施用1个月，沟施处理各土层和撒施处理的表层土的全盐量有明显升高。其中，沟施处理在5~30 cm和30~60 cm土层全盐量显著高于对照 ( $P < 0.05$ )；撒施处理的表层土盐分升高最多，为1.8 g/kg，显著高于对照 ( $P < 0.05$ )，土壤为轻度盐碱。这是由于湿垃圾中含有较多的盐分，这些盐分在堆肥过程中没有得到有效的去除，故导致施用湿垃圾堆肥产品后土壤盐分增加。施用6个月后，沟施和撒施处理的土壤全盐量下降，均降至1.0 g/kg以下，与施用前差异不显著，与对照间也无显著性差异(表2)，这可能是在雨水的作用下土壤中的盐分被淋溶的缘故。





3

3. 不同处理不同土层的有效磷和速效钾的变化

### 2.3 土壤质量综合评价

根据DB 31/T1191-2019《绿化土壤肥力质量评价方法》对不同土层不同处理的土壤质量进行评价分级,  $P > 2.7$ , 土壤质量为“优”;  $1.8 \leq P \leq 2.7$ , 土壤质量为“良”;  $0.9 \leq P \leq 1.8$ , 土壤质量为“中”;  $P < 0.9$ , 土壤质量为“差”。从表3可以发现, 施用湿垃圾好氧堆肥产品1个月后土壤质量得到了提升, 其中沟施处理在30 ~ 60 cm对土壤的改良效果优于撒施处理。施用湿垃圾好氧堆肥产品6个月后, 不同处理之间土壤质量无显著差异。

### 3 结论与讨论

通过分析湿垃圾堆肥产品不同施用方式对上海市闵行外环林带的土壤理化性质的影响, 可以看出, 相比CK, 湿垃圾堆肥产品施用后土壤pH值有所降低, EC值升高, 有机质、全

盐量及速效养分含量均有所升高。湿垃圾好氧堆肥产品施用1个月后, 不同土层的土壤pH存在不同程度的降低, 土壤EC、有机质、全氮、有效磷、速效钾均增加。其中, 在0 ~ 5 cm土层, 撒施处理的土壤EC、有机质、全氮、有效磷、速效钾、全盐量高于沟施处理。在5 ~ 30 cm和30 ~ 60 cm, 沟施处理的土壤EC、有机质、全氮、有效磷、速效钾、全盐量高于撒施处理。这是因为撒施处理是将湿垃圾堆肥产品直接撒在土壤的表面, 湿垃圾堆肥产品暴露于地表容易造成养分流失, 对深层土壤影响较小; 而沟施处理则是将湿垃圾堆肥产品施在30 cm内, 在雨水的作用下, 养分会随着雨水的下渗而向下流失。施用后6个月, 各处理的pH值比施用前低, EC值、全盐量、有机质及速效养分比施用前高, 但差异不显著, 这可能是因为湿垃圾堆肥产品释放养分较快, 属于短效肥。

综合而言, 根据内罗梅指数法评价土壤肥力质量, 发现

表2 不同处理的土壤全盐量变化

土壤化学指标	土层 (cm)	时间	CK	沟施	撒施
全盐量 (g/kg)	0~5	本底	0.72±0.06a	0.73±0.02a	0.82±0.04a
		施后1个月	0.64±0.12b	0.94±0.15ab	1.81±0.36a
		施后6个月	0.53±0.09a	0.71±0.15a	0.36±0.06a
	5~30	本底	0.63±0.08a	0.59±0.07a	0.72±0.06a
		施后1个月	0.55±0.04b	1.23±0.20a	0.81±0.11ab
		施后6个月	0.40±0.11a	0.35±0.05a	0.47±0.10a
	30~60	本底	0.52±0.07a	0.50±0.10a	0.57±0.05a
		施后1个月	0.59±0.10b	0.94±0.09a	0.55±0.07b
		施后6个月	0.46±0.08a	0.42±0.03a	0.39±0.10a

表3 不同处理的土壤肥力质量综合评价

土层 (cm)	时间	CK		沟施		撒施	
		P	质量评语	P	质量评语	P	质量评语
0~5	本底	1.48	中	1.32	中	1.40	中
	施后1个月	1.40	中	2.28	良	2.00	良
	施后6个月	1.22	中	2.00	良	1.45	中
5~30	本底	0.84	差	0.68	差	0.80	差
	施后1个月	1.47	中	1.89	良	1.84	良
	施后6个月	0.86	差	1.29	中	0.94	中
30~60	本底	0.72	差	0.66	差	0.75	差
	施后1个月	1.20	中	2.18	良	1.57	中
	施后6个月	0.77	差	0.85	差	0.83	差

施用湿垃圾堆肥产品1个月后，不同施用方式处理的土壤质量均得到提升，其中沟施处理对30~60 cm土壤质量提升优于撒施处理。湿垃圾堆肥产品原料易得，堆肥方法操作简单，可作追肥沟施于绿林地，为实现湿垃圾废物再利用提供了现实可行的方案。

参考文献

[1] 毕珠洁, 邵俊, 陈奕, 等. 上海市有机垃圾原料特性研究[J]. 环境卫生工程, 2016, 24(4): 5-7.

[2] 农传江, 徐智, 汤利, 等. 餐厨垃圾特性及处理技术分析[J]. 环境工程, 2014, SI: 626-629+692.

[3] 贾璇, 赵冰, 任连海, 等. 施用餐厨垃圾调理剂对果园土壤有机碳组分的影响[J]. 环境科学研究, 2019, 32(3): 485-492.

[4] 王越, 刘东明, 侯佳奇, 等. 餐厨垃圾制备的外源有机碳对土壤团聚体

的影响[J]. 环境科学研究, 2019, 32(1): 172-179.

[5] 李丰杰, 周丕生, 李跃忠. 不同用量厨余垃圾堆肥对土壤理化性质的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2016, 34(5): 92-98.

[6] Lee J J, Park R D, Kim Y W, et al. Effect of Food Waste Compost on Microbial Population, Soil Enzyme Activity and Lettuce Growth[J]. Bioresource Technology, 2004, 93(1): 21-28.

[7] Lee C H, Ko B G, Kim M S, et al. Effect of Food Waste Compost on Crop Productivity and Soil Chemical Properties under Rice and Pepper Cultivation[J]. Korean Journal of Soil Science & Fertilizer, 2016, 49(6): 682-688.

[8] Reynolds W D, Drury C F, Tan C S, Yang X M. Temporal Effects of Food Waste Compost on Soil Physical Quality and Productivity[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2015, 95(3): 251-268.

[9] 付倩雯, 宋锋惠, 史彦江, 等. 不同施肥方式对枣园土壤及叶片养分含量的影响[J]. 新疆农业科学, 2018(3): 448-456.

[10] 陈钦程, 徐福利, 王渭玲, 等. 秦岭北麓不同林龄华北落叶松土壤速效钾变化规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1243-1249.