

# 长期施用有机固体废弃物对河西走廊风砂土的 培肥效应和环境影响研究<sup>①</sup>

秦嘉海<sup>1,2</sup>, 李会隆<sup>3</sup>

(1 河西学院西部资源环境化学重点实验室, 甘肃张掖 734000; 2 河西学院农学系, 甘肃张掖 734000;  
3 张掖市临泽县农业技术推广中心, 甘肃张掖 734000)

## Effects of Long-Term Application of Organic Solid Waste on Fertilization of Aeolian Sandy Soil and on Environment in Hexi Corridor

QIN Jia-hai<sup>1,2</sup>, LI Hui-long<sup>3</sup>

(1 Key Laboratory of Western Resources and Environmental Chemistry, Hexi College, Zhangye, Gansu 734000, China; 2 Department of Agronomy, Hexi College, Zhangye, Gansu 734000, China; 3 Popularization Center of Agricultural Technology, Linze, Zhangye, Gansu 734000, China)

**摘要:** 系统研究了几种有机固体废弃物对风砂土的改土培肥效应, 结果表明: 有机固体废弃物糠醛渣、羊粪、玉米秸秆、菜籽饼按 0.50:0.25:0.20:0.05 容积比, 经高温发酵处理, 施用量为 45.00 t/hm<sup>2</sup> 时的改土培肥效应最佳, 与不施有机固体废弃物的对照 (CK) 比较, 风砂土的总孔隙度和 >0.25 mm 的团粒结构分别增加 10.57%、5.23%; 土壤有机质、碱解 N、速效 P、速效 K、CEC 和土壤贮水量分别增加 2.93 g/kg、10.71 mg/kg、3.73 mg/kg、34.12 mg/kg、5.86 cmol/kg 和 59.40 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; 西葫芦的产量、产值和利润分别增加 16.28 t/hm<sup>2</sup>、19600 元/hm<sup>2</sup> 和 18500 元/hm<sup>2</sup>; 而风砂土体积质量降低 0.28 g/cm<sup>3</sup>。风砂土上长期施用生活垃圾, 重金属离子有富集的趋势; 而长期施用锯末、蘑菇渣和糠醛渣则无此效应。

**关键词:** 有机固体废弃物; 风砂土; 培肥效应; 环境

**中图分类号:** S157.4

河西走廊分布着 85 万 hm<sup>2</sup> 的风砂土, 质地偏砂, 保水肥能力弱, 有机质和速效 N、P、K 含量低, 是河西走廊的低产土壤。而河西走廊广泛分布着 3470.10 万 t<sup>[1]</sup> 的糠醛渣<sup>[2-4]</sup>、蘑菇渣、生物有机肥料、玉米 (小麦) 秸秆、绿肥、锯末、菜籽饼等有机固体废弃物, 据室内化验分析, 这些有机固体废弃物含有有机质 221.20 ~ 243.40 g/kg, 全 N 3.2 ~ 8.3 g/kg, 全 P 1.5 ~ 4.0 g/kg, 全 K 4.4 ~ 6.7 g/kg<sup>[4]</sup>, 而重金属元素 Hg、Cd、Cr、Pb 含量均小于 GB8172-87 规定的农用有机固体废弃物控制含量标准<sup>[5]</sup>。为了开发利用资源丰富的有机固体废弃物, 实施沃土工程, 本文进行了有机固体废弃物对河西走廊风砂土改土培肥效应的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2004—2006 年在甘肃省张掖市临泽县五泉林场日光温室内进行, 土壤类型是耕种风砂土<sup>[6]</sup>, 0 ~ 20 cm 耕作层土壤有机质含量 6.18 g/kg, 碱解 N 23.11 mg/kg, 速效 P 3.66 mg/kg, 速效 K 107.86 mg/kg, CEC 5.46 cmol/kg, pH 8.43, 体积质量 1.67 g/cm<sup>3</sup>, 质地为砂质土。参试有机固体废弃物是生活垃圾 (粒径 2 ~ 10 mm)、糠醛渣 (粒径 2 ~ 5 mm)、蘑菇渣 (粒径 2 ~ 10 mm)、羊粪 (粒径 2 ~ 20 mm)、菜籽饼 (粒径 2 ~ 3 mm)、锯木屑 (粒径 1 ~ 2 mm)、玉米秸秆 (长度 10 ~ 20 mm)。供试肥料是 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

<sup>①</sup>基金项目: 西部资源环境化学重点实验室项目 (XZ0702) 资助。

作者简介: 秦嘉海 (1954—), 男, 甘肃张掖人, 学士, 教授, 主要从事农业资源与环境方向研究。E-mail: qinjiahai123@163.com

(含 N 18%,  $P_2O_5$  46%),  $CO(NH_2)_2$  (含 N 46%)。供试蔬菜是西葫芦 (品种是翠玉)。

## 1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 共设 5 个处理: ①生活垃圾、羊粪、玉米秸秆、菜籽饼容积比为 0.50:0.25:0.20:0.05, 施用量  $45.00 t/hm^2$ ; ②锯木屑、羊粪、玉米秸秆、菜籽饼, 各物料的容积比和施用量与①相同; ③蘑菇渣、羊粪、玉米秸秆、菜籽饼, 各物料的容积比和施用量与①相同; ④糠醛渣、羊粪、玉米秸秆、菜籽饼, 各物料的容积比和施用量与①相同; ⑤不施有

机固体废弃物的对照处理 (CK), 每个处理重复 3 次, 随机区组排列, 小区面积  $32 m^2$ 。

1.2.2 有机固体废弃物发酵处理 分别按 1.2.1 中的比例配好 4 个处理的有机固体废弃物, 每立方米有机固体废弃物加入  $CO(NH_2)_2$  1.50 kg, 调节 C/N ((25~30):1), 用清水将基质含水量调到用手握有水滴漏出, 全部掺匀, 堆成 80 cm 厚的体形, 将日光温室温度调整到  $32^\circ C \sim 35^\circ C$  堆置发酵 45 天, 每隔 15 天倒翻 1 次, 高温发酵处理的有机固体废弃物理化性质见表 1。

表 1 高温发酵处理后的有机固体废弃物

试验处理	体积质量 ( $g/cm^3$ )	总孔隙度 (%)	EC	pH	有机质 (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)
1	0.72	72.83	4.98	7.14	208.78	170.12	36.18	304.81
2	0.67	74.72	5.16	7.23	219.76	179.06	38.01	320.86
3	0.62	76.60	5.28	7.76	243.34	188.48	40.02	335.52
4	0.57	78.49	6.65	7.05	256.32	198.41	42.13	337.74

1.2.3 试验方法 不同处理的有机固体废弃物发酵处理后在西葫芦定植前施入 0~20 cm 耕作层。分别在 2004 年、2005 年、2006 年 11 月中旬定植, 株距 60 cm, 行距 80 cm。收获时测定西葫芦株高、茎粗、单瓜重、单株瓜重、产量。资料统计方法: 取 2004—2006 年平均数统计分析, LSR 检验。

1.2.4 测定项目与方法<sup>[7-8]</sup> 2004—2006 年, 每年 3 月中旬 (西葫芦收获后) 分别在各试验小区内采集 0~20 cm 耕作层土样 1 kg, 风干、过筛、备用。土壤体积质量、团粒结构用环刀取原状土, 土壤体积质量用环刀法测定, 土壤总孔隙度通过计算求得, 自然含水量用烘干法测定,  $>0.25 mm$  团粒结构用约尔得法测定, 土壤贮水量按公式 (土壤体积质量  $\times$  自然含水量  $\times$  土层深度  $\times$  面积) 求得, 土壤饱和蓄水量按公式 (面积  $\times$  总孔隙度  $\times$  土层深度) 求得, 土壤毛管蓄水量按公式 (面积  $\times$  毛管孔隙度  $\times$  土层深度) 求得, 土壤非毛管蓄水量按公式 (面积  $\times$  非毛管孔隙度  $\times$  土层深度) 求得, 电导率用电导法测定, pH 用水浸提、酸度计法测定, 有机质用重铬酸钾法测定, 碱解 N 用扩散法测定, 速效 P 用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定, 速效 K 用火焰光度计法测定, CEC 用乙酸钠-火焰光度法测定, Cd 用石墨炉原子吸收分光光度法测定, Hg 用冷原子-荧光光谱法测定, Pb 用火焰原子吸收分光光度法测定, Cr 用分光光度法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机固体废弃物对风砂土物理性质的影响

从表 2 可以看出, 风砂土施用有机固体废弃物后, 其土壤总孔隙度、团粒结构有所增大, 体积质量略有下降。其中处理 4 的土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度分别为 47.55%、21.05%、26.50%, 分别较处理 1 增加 7.55%、2.27%、5.28%; 分别较处理 2 增加 5.66%、1.70%、3.96%; 分别较处理 3 增加 2.64%、0.87%、1.77%; 与处理 5 (CK) 比较则分别增加 10.57%、2.97%、7.60%。处理 4 的土壤体积质量为  $1.39 g/cm^3$ , 与处理 1、2、3、5 比较, 分别降低 0.20、0.15、0.07、 $0.28 g/cm^3$ 。连续 3 年施用有机固体废弃物后, 增加了土壤有机物, 有机物在土壤微生物的作用下合成了腐殖质, 腐殖质是土壤团粒结构良好的胶结物质, 对风砂土团粒结构形成具有重要意义。处理 1、2、3、4 的土壤团粒结构分别为 13.33%、14.82%、16.11%、17.10%, 与 CK 比较, 分别增加 1.46%、2.95%、4.24%、5.23%。处理间的土壤孔隙度、团粒结构均为: 处理 4 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 1 > 处理 5 (CK), 而土壤体积质量为: 处理 4 < 处理 3 < 处理 2 < 处理 1 < 处理 5 (CK)。处理间的差异显著性经 LSR 检验达到显著和极显著水平 (表 2)。

### 2.2 有机固体废弃物对风砂土化学性质的影响

由于发酵处理后的有机固体废弃物有机质和速效

表 2 有机固体废弃物对风砂土物理性质的影响

试验处理	体积质量 (g/cm <sup>3</sup> )	总孔隙度 (%)	毛管孔隙度 (%)	非毛管孔隙度 (%)	>0.25 mm 团粒结构 (%)
1	1.59 b B	40.00 c C	18.78 d A	21.22 d C	13.33 b B
2	1.54 b B	41.89 c C	19.35 c A	22.54 c C	14.82 b B
3	1.46 c C	44.91 b B	20.18 b A	24.73 b B	16.11 a A
4	1.39 d D	47.55 a A	21.05 a A	26.50 a A	17.10 a A
5 (CK)	1.67 a A	36.98 d D	18.08 d A	18.90 e D	11.87 c C

注: 大写字母为 LSR<sub>0.01</sub>, 小写字母为 LSR<sub>0.05</sub> 显著差异水平, 下表同。

养分含量较高, 在土壤肥力水平低的风砂土上施用有机固体废弃物后, 土壤有机质、速效养分、CEC 都有所增加。其中处理 4 的土壤有机质、碱解 N、速效 P、速效 K、CEC 含量分别为 9.11 g/kg、33.82 mg/kg、7.39 mg/kg、

141.98 mg/kg、11.32 cmol/kg, 分别比 CK 增加 2.93 g/kg、10.71 mg/kg、3.73 mg/kg、34.12 mg/kg、5.86 cmol/kg。各处理间的土壤有机质、速效养分和 CEC 的增加趋势是: 处理 4>处理 3>处理 2>处理 1>处理 5 (CK) (表 3)。

表 3 有机固体废弃物对风砂土化学性质的影响

试验处理	有机质 (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	Hg (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)
1	6.77 b A	26.08 b A	4.59 b A	117.76 d D	6.55 c A	0.40 a A	0.40 a A	28.50 a A	9.56 a A
2	7.36 b A	28.83 b A	5.58 b A	126.86 c C	7.86 c A	0.34 d A	0.33 b A	24.09 c A	8.10 b A
3	8.27 a A	31.32 a A	6.42 a A	134.57 b B	9.43 b A	0.36 c A	0.35 c A	27.50 b A	8.72 b A
4	9.11 a A	33.82 a A	7.39 a A	141.98 a A	11.32 a A	0.32 e A	0.31 d A	23.95 c A	7.78 c A
5 (CK)	6.18 c A	23.11 c A	3.66 c A	107.86 e E	5.46 d A	0.38 b A	0.37 b A	27.68 b A	9.08 a A

于 2006 年 3 月 16 日收获西葫芦后采集 0~20 cm 耕作层土样, 测定相关重金属元素含量。结果表明, 处理 1 的 Hg、Cd、Cr、Pb 含量高于处理 2、3、4, 这是因为处理 1 加入了 50% 的生活垃圾 (含有一定数量的 Hg、Cd、Cr、Pb 等重金属元素)。表明在风砂土上长期施用生活垃圾, 重金属有富集的趋势<sup>[9-13]</sup>; CK 的土壤重金属含量高于处理 2、3、4, 原因是河西走廊缺 P 的土壤上长期大量施用化学 P 肥使重金属元素富集<sup>[14]</sup>, 而处理 2、3、4 分别加入了 50% 的锯末、蘑菇渣和糠醛渣, 这 3 种有机固体废弃物本身不含重金属, 并且含有较高的有机物质, 这些有机物质在土壤中进行腐殖化过程, 合成土壤腐殖质, 而腐殖质具有多种功能团 (羧基、酚羟基、醌基等), 这些功能团解离后带负电荷, 可吸附土壤中的重金属元素, 形成不溶性的络合物, 从而钝化了重金属元素的活性, 减缓了重

金属元素富集速度<sup>[15-16]</sup>。处理间的差异显著性经 LSR 检验达到显著水平 (表 3)。

### 2.3 有机固体废弃物对风砂土保水性能的影响

混合发酵处理后的有机固体废弃物有机质含量为 208.78~256.32 g/kg, 有机质的吸水能力很强, 在风砂土上施用有机固体废弃物后, 提高了保水性能。据 2006 年 2 月 10 日 5 个处理灌水后第 5 天测定结果表明, 风砂土 0~20 cm 耕作层水分含量均为处理 4>处理 3>处理 2>处理 1>处理 5 (CK)。其中处理 4 耕作层的自然含水量、饱和蓄水量、毛管蓄水量、非毛管蓄水量、贮水量分别为 151.51 g/kg、951.0 t/hm<sup>2</sup>、421.0 t/hm<sup>2</sup>、530.0 t/hm<sup>2</sup>、421.0 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 与 CK 比较分别增加 43.22 g/kg、211.4 t/hm<sup>2</sup>、59.4 t/hm<sup>2</sup>、152.0 t/hm<sup>2</sup>、59.4 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (表 4)。处理间的差异显著性经 LSR 检验达到显著和极显著水平。

表 4 有机固体废弃物对风砂土保水性能的影响

试验处理	自然含水量 (g/kg)	饱和蓄水量 (t/hm <sup>2</sup> )	毛管蓄水量 (t/hm <sup>2</sup> )	非毛管蓄水量 (t/hm <sup>2</sup> )	贮水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )
1	118.14 c C	800.0 d D	375.6 c C	424.4 d D	375.6 c C
2	125.65 c C	837.8 c C	387.0 c C	450.8 c C	387.0 c C
3	138.22 b B	898.2 b B	403.6 b B	494.6 b B	403.6 b B
4	151.51 a A	951.0 a A	421.0 a A	530.0 a A	421.0 a A
5 (CK)	108.29 d D	739.6 e E	361.6 d D	378.0 e E	361.6 d D

## 2.4 有机固体废弃物对西葫芦产量和经济效益的影响

对 2004—2006 年 3 年的数据统计分析可以看出(表 5), 处理 1、2、3、4 西葫芦的经济性状、产量均大于处理 5 (CK)。其中处理 4 的西葫芦株高、茎粗、单瓜重、单株瓜重、产量分别为 91.17 cm、28.07 mm、414.19 g、4.58 kg/株、96.14 t/hm<sup>2</sup>, 分别比 CK 增加 25.42 cm、8.42 mm、128.83 g、0.78 kg/株、16.28 t/hm<sup>2</sup>。处理 1、2、3、4 分别比 CK 增产 7.68%、14.48%、19.41%、20.39%。处理 4 与处理 1、2、3、5 比较, 分别增产 10.15、4.75、0.78 和 16.28 t/hm<sup>2</sup>。因为处理 4 加入的是糠醛渣, 糠醛渣含有丰富的有机质和 N、P、K 以及

微量元素, 从而提高了西葫芦的产量。不同处理间的增产顺序是: 处理 4 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 1 > 处理 5 (CK)。从经济效益方面分析, 处理 1、2、3、4 的产值和利润均 > 处理 5 (CK), 其中处理 4 的产值和利润分别为 115400 元/hm<sup>2</sup> 和 114300 元/hm<sup>2</sup>; 较处理 1 分别增加 12300 元/hm<sup>2</sup> 和 12000 元/hm<sup>2</sup>; 较处理 2 分别增加 5700 元/hm<sup>2</sup> 和 5600 元/hm<sup>2</sup>; 较处理 3 分别增加 1000 元/hm<sup>2</sup> 和 900 元/hm<sup>2</sup>; 较处理 5 (CK) 分别增加 19600 元/hm<sup>2</sup> 和 18500 元/hm<sup>2</sup>。处理间的利润是: 处理 4 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 1 > 处理 5。处理间的差异显著性经 LSR 检验达到显著和极显著水平。

表 5 有机固体废弃物对西葫芦产量和经济效益的影响

试验处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	单瓜重 (g)	单株瓜重 (kg/株)	产量 (t/hm <sup>2</sup> )	增产率 (%)	产值 (元/hm <sup>2</sup> )	废弃物成本 (元/hm <sup>2</sup> )	利润 (元/hm <sup>2</sup> )
1	70.30 d D	21.94 d A	308.57 d C	4.09 c C	85.99 d C	7.68	103100	800	102300
2	78.11 c C	24.11 c A	346.71 c B	4.35 b B	91.42 c B	14.48	109700	1000	108700
3	86.79 b B	26.21 b A	385.23 b A	4.54 a A	95.36 b A	19.41	114400	1000	113400
4	91.17 a A	28.07 a A	414.19 a A	4.58 a A	96.14 a A	20.39	115400	1100	114300
5 (CK)	65.75 e E	19.65 e A	285.36 e D	3.80 d D	79.86 e D	-	95800	0.00	95800

## 3 结论

对有机固体废弃物糠醛渣、羊粪、玉米秸秆、菜籽饼按 0.50:0.25:0.20:0.05 的容积比, 经高温发酵处理, 施用量为 45.00 t/hm<sup>2</sup> 时, 对风砂土的培肥效果好, 可使风砂土体积质量降低, 毛管孔隙度增大; 使团粒结构、自然含水量、饱和蓄水量、毛管蓄水量、有机质、速效养分都有所增加; 使西葫芦的株高、茎粗、单瓜重、单株瓜重、产量显著改善和增加。生活垃圾含有一定数量的 Hg、Cd、Cr、Pb 等重金属元素, 长期施用生活垃圾后, 重金属含量有富集趋势, 而长期施用锯末、蘑菇渣和糠醛渣则无此效应。

### 参考文献:

- [1] 郭新勇, 张树清. 甘肃省有机肥资源分布与利用潜力. 土壤通报, 2007, 38(4): 677-680
- [2] 秦嘉海, 张春年. 糠醛渣的改土增产效应. 土壤通报, 1994, 25(5): 237-238
- [3] 秦嘉海, 陈广全. 糠醛渣混合基质在番茄无土栽培中的应用. 中国蔬菜, 1997(4): 13-15
- [4] 秦嘉海, 金自学, 刘金荣. 含钾有机废弃物糠醛渣改土培肥效应研究. 土壤通报, 2007, 38(4): 705-708
- [5] 曹作中. 当前我国生活垃圾处理方向探讨. 环境保护, 2001(10): 13-18
- [6] 秦嘉海, 吕彪. 河西土壤与合理施肥. 兰州: 兰州大学出版社, 2001: 150-155
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 科学技术出版社, 1978: 110-218
- [8] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析法. 北京: 科学出版社, 1983: 106-208
- [9] 张乃明, 陈建军, 常晓冰. 污灌区土壤重金属累积影响因素研究. 土壤, 2002, 33(2): 90-93
- [10] 腾彦国, 倪师军, 张成江. 应用标准化方法评价攀枝花地区表层土壤重金属污染. 土壤学报, 2003, 40(3): 374-379
- [11] 孔德工, 唐其展, 田忠孝, 方东, 栗学军. 南宁市蔬菜基地土壤重金属含量及评价. 土壤, 2004, 36(1): 21-24
- [12] 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复. 土壤学报, 2003, 40(2): 161-169
- [13] 郑海龙, 陈杰, 邓文清. 六合蒋家湾蔬菜基地重金属污染现状与评价. 土壤, 2004, 36(5): 557-559
- [14] Taylor MD. Accumulation of cadmium derived from fertilizers in New Zealand soil. Sci. Total Environ., 1991, 208(1/2): 123-126
- [15] 陈世和. 城市垃圾堆肥原理与工艺. 上海: 复旦大学出版社, 1990: 52-68
- [16] 曹作中. 生活垃圾堆肥应注意的若干技术经济问题. 环境保护, 2000(8): 39-42