

城市污泥对作物种子发芽及幼苗生长影响的初步研究^{*}

莫测辉 吴启堂 周友平 O. C. Gaston

(华南农业大学资源与环境学院, 广州 510642)

【摘要】 不同类型污泥及其堆肥对通菜、菜心种子发芽和幼苗生长影响的研究表明,深圳生活污水、佛山生活污水和广州生活污水及其堆肥对通菜种子的发芽率有明显的影响,前者仅为73%,其余的在85%左右,均低于对照处理(93%)。而它们对菜心种子的发芽率,除了深圳生活污水有抑制作用外(75%),其余均表现为促进作用(90%),均高于对照处理(85%)。它们对于两种作物幼苗的生长则均表现为不同程度的抑制作用甚至是损害作用。污泥及其堆肥中抑制作物种子发芽和幼苗生长的物质主要是有机酸和醛类等有机物。生活污水经过消化作用或适当的堆沤作用可降解这些有机物,从而减弱或消除这种抑制作用。因此,生活污水经过消化作用或适当的堆沤作用后用于农业生产更为安全。但对刚施用污泥或污泥堆肥的耕地最好不要直接播种。

关键词 城市污泥 种子发芽 幼苗生长 通菜 菜心

A preliminary study on the effect of municipal sludge on crop seed germination and seedling growth. Mo Cehui, Wu Qitang, Zhou Youping and O. C. Gaston (College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642). -Chin. J. Appl. Ecol., 1997, 8(6): 645 ~ 649.

Studies on the effect of different municipal sludges on seed germination and seedling growth of *Ipomoea aquatica* and *Brassica parachinensis* show that the original sludges from Shenzhen and Foshan and the original sludge and its compost from Guangzhou were observed to be inhibitory to the germination of *I. aquatica*, but ameliorative to that of *B. parachinensis* seed. The same sludges and compost were found to be inhibitory or even harmful to the seedling growth of both *I. aquatica* and *B. parachinensis*. Organic acids and aldehydes in the sludges and compost were the major compounds inhibitory to the seed germination and seedling growth. Digestion and composting could degrade these organic matters, and hence, attenuate or eliminate the inhibitory effect of original sludges, which can be used as a practical way of the safer agricultural application of sludges. Immediate dissemination of crop seeds to newly-sludge-fertilized land is not recommendable.

Key words Municipal sludge, Seed germination, Seedling growth, *Ipomoea aquatica*, *Brassica parachinensis*.

1 引言

城市污泥填埋、焚烧和倒海等非农资源化处置,既受场地限制,浪费资源,污染环境,又要花大量的处置费用。而城市污泥的农资源化处置已被证明是最有意义而且经济可行的方法,深受各国重视。英

国、瑞士、瑞典和荷兰等国城市污泥的农资源化率达40%左右,法国达52%。我国对城市污泥农资源化的研究与实践与国

^{*}中国博士后科学基金(中博基[1996]4号)、广东省博士后科学基金(粤人专[1996]6号)和中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室研究基金(OGL-9607)联合资助项目。

1997年7月21日收稿,9月29日接受。

外相比均相差甚远.在广东省,城市污泥几乎都运到垃圾场填埋,每年需要的污泥处置费用仅广州大坦沙污水处理厂就达 20 多万元.其实,广东省的城市污泥含有丰富的 N、P、K 和有机质,作为农用处置前景广阔.

关于城市污泥农用资源化的研究,前人的注意力主要放在对土壤的改良和作物的最终产量和品质上.本文研究城市污泥及其堆肥对作物种子发芽及其幼苗生长的影响,以便为污泥在农业上的合理施用提供科学依据.

表 1 供试土壤、城市污泥及其堆肥的理化性质($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 Physical and chemical properties of experimental soil, original municipal sludges and composted sludges

	土壤 Soil							
有机质 Organic matter($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	29.14	303.77	162.90	203.11	214.50	600.38	261.70	290.32
全 N Total N ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.41	24.98	17.56	22.36	17.23	36.97	19.87	29.60
全 P Total P($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	1.18	11.66	25.63	34.61	20.92	17.67	12.18	18.37
全 K Total K($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	17.94	16.05				21.52	12.36	10.28
有效 N Available N	65.30	2316.94	2077.00	2470.07	2154.28	2449.42	2325.87	2541.56
有效 P Available P	89.51	1545.16	1371.93	1766.59	1448.94	989.34	522.66	2356.14
有效 K Available K	108.48	4549.04	1282.64	5033.41	7390.34	899.36	396.28	4915.91
Cu	19.95	2291.22	2515.30	1529.05	1718.98	1529.14	1273.21	636.96
Zn	95.02	2138.01	2475.25	1886.08	1945.08	nd	nd	19.51
Pb	82.51				210.00	223.30	48.01	
Cr	1151.30				195.02	80.00	139.02	
Cd	1.32				2.37	2.43	9.37	
Hg					2.95	3.67		

.广污 Sludges from Guangzhou, .污堆 Composted sludges, .污牛 Sludges and cow dung, .污稻 Sludges and rice stems, .深生 Sludges from Shenzhen, .深消 Digested sludges from Shenzhen, .佛污 Sludges from Foshan. nd:未检出 No detection. 下同 The same below.

2.2 试验方法

2.2.1 发芽床 将风干后的土壤、城市污泥及其堆肥粉碎,过 20 目筛,分别准确称重 1 g,置于内直径为 8 cm 培养皿中,加入 10 ml 去离子水(水土比为 10:1),摇匀.再将大小适中的滤纸铺在溶液表面上,使其湿润.共设 8 个处理,分别是去离子水、土壤、广州生污泥(简称广污,)、广州生污泥对照堆肥(简称污堆,)、广州生污泥 + 牛粪混合堆肥(简称污牛,)、广州生污泥 + 稻草混合堆肥(简称污稻,)、深圳生污泥(简称深生,)、深圳消化污泥(简称深消,)、佛山生污泥(简称佛污,).每个处理设 3 个重复.

2.2.2 种子处理 将种子铺在白纸上,选出杂质和有虫蚀、裂口及成熟度低的种子.将选好的种子放入烧杯,滴入适量的 0.1 % HgCl_2 无水乙醇

2 材料与方法

2.1 试验材料

供试的城市污泥(简称污泥)是城市污水处理厂产生的污泥,包括广州大坦沙污水处理厂的生污泥及其堆肥(污泥对照堆肥、污泥 + 牛粪混合堆肥和污泥 + 稻草混合堆肥)、深圳滨河污水处理厂的生污泥和消化污泥,以及佛山污水处理厂的生污泥.供试土壤采自本校农场稻田.其成分见表 1.供试作物种子为白梗通菜 (*Ipomoea aquatica*)和 60 天大特青菜芯 (*Brassica parachinensis*),分别从广东省农业科学院种子店和广州市张水江种子店购买.

溶液,搅拌,使之均匀湿润.放置约 3 min 后,再用自来水冲洗数次,并将浮在水面上的种子去掉,最后用去离子水冲洗 3 次.将处理好的种子倒在滤纸上吸干,按照每个发芽床上通菜种子 30 粒、菜心种子 70 粒,分别置于各发芽床上使之均匀分布.分别将各个处理通菜和菜心种子的发芽床放在一起,避光保存.室温为 23 ~ 28 .通菜种子发芽试验于 1997 年 5 月 7 日进行,菜心种子发芽试验于 1997 年 5 月 16 日进行,均于次日开始观察其发芽情况.

种子萌发过程大致分为 3 个阶段,即吸胀萌动 发芽.当胚根、胚芽伸出种皮达到一定长度时(本文按胚根与种子等长、胚芽长度达到种子一半^[1]),就认为种子已经发芽.按照去离子水和土壤这两个对照处理的种子已大部分发芽为

依据开始统计各处理的发芽率. 分别于 5 月 9 日和 5 月 18 日开始统计通菜种子和菜心种子的发芽率,并连续几天(通菜 3 d,菜心 2 d,以发芽率基本不再变化为准)观察统计其发芽率和幼苗生长情况.

3 结果与讨论

3.1 对种子发芽的影响

由表 2 可见,试验后第 3 天(5 月 9 日),各处理通菜种子的发芽率高低顺序为:去离子水>土壤>污堆、深消>广污>污稻>污牛>深生>佛污. 其中,去离子水和土壤这两个对照处理的发芽率达 87 % 以上. 与之相比,除了污堆和深消的发芽率相差不显著(达 80 % 以上)外,其余处理的发芽率均差异显著,广污、污稻、污牛处理通菜种子的发芽率较差,佛污和深生的发芽率最差. 第 4、第 5 天后,各处理通菜种

子的发芽率均有所提高,其中以各种污泥及其堆肥的种子发芽率显著提高. 但从最终结果来看,各处理通菜种子的发芽率高低顺序与第 3 天相比基本不变. 去离子水和土壤这两个对照处理通菜种子的发芽率高达 90 % 以上,其余处理的种子发芽率均低于此值. 但污堆、深消和广污这 3 个处理通菜种子的发芽率也较高,达 85 % 以上. 其余处理的种子发芽率除了深生较低以外,也均达 80 % 以上. 总的看来,各种污泥及其堆肥对通菜种子发芽均有较明显的不良影响,致使发芽率不同程度偏低,尤其是深生、佛污和污牛影响更大. 深消、广污及其堆肥虽然最终对通菜种子的发芽率也较高,但在时间上有不同程度的抑制作用. 因此,生污泥经过消化作用或适当的堆沤作用后,能在相当程度上减轻其对通菜种子

表 2 不同处理通菜种子的发芽率(%)

Table 2 Germination rate of Ipomoea aquatica seed in different treatments(%)

日期 Date	去离子水 Deionization water	土壤 Soil							
5. 9	90. 00a (5. 77)	87. 78a (8. 39)	72. 22b (1. 92)	81. 11ab (1. 92)	62. 22bc (6. 94)	70. 00bc (3. 33)	60. 00c (8. 82)	81. 11ab (6. 94)	55. 55d (6. 94)
5. 10	93. 33a (3. 34)	93. 33a (3. 34)	81. 11abc (7. 70)	85. 56ab (1. 93)	74. 44bc (5. 09)	81. 11abc (6. 94)	71. 11bc (12. 62)	86. 67ab (6. 67)	68. 89c (13. 48)
5. 11	94. 44a (1. 93)	93. 33ab (3. 34)	86. 67ab (3. 34)	88. 89ab (3. 85)	82. 22bc (5. 09)	84. 45abc (3. 85)	73. 33c (14. 53)	86. 67ab (6. 67)	82. 22bc (6. 94)

含相同字母者为差异不显著(p = 0. 05);括号内数据为标准差. Figures with the same letter are not significantly difference (p = 0. 05);Figures in brackets are standard deviation. 下同 The same below.

发芽的不良影响.

由表 3 可见,试验后第 3 天(5 月 18 日),与上述各处理通菜种子的发芽率情况不同,各处理菜心种子的发芽率高低顺序为:污堆>污牛>广污>深消>污稻、佛污>去离子水>土壤>深生. 其中除了深生的发芽率明显偏低,仅为 61. 9 % 以外,其

余各处理的发芽率均达 80 % 以上,并且各种污泥及其堆肥的发芽率均高于去离子水和土壤这两个对照处理,但它们之间的发芽率高低差异并不显著. 第 4 天后,各处理菜心种子的发芽率略有提高,深生的发芽率显著提高. 但最终结果深生的发芽率还是明显偏低,仅为 75. 71 %. 其余各处理的

表 3 不同处理菜芯种子的发芽率(%)

Table 3 Germination rate of Brassica parachinensis seed in different treatments(%)

日期 Date	去离子水 Deionization water	土壤 Soil							
5. 18	84. 76a (5. 02)	83. 34a (1. 65)	88. 09a (2. 18)	90. 00a (1. 43)	89. 05a (4. 36)	85. 71a (3. 79)	61. 90b (9. 52)	86. 19a (4. 12)	85. 71a (3. 78)
5. 19	85. 24b (5. 77)	85. 72b (3. 77)	90. 48ab (2. 98)	90. 00ab (1. 43)	92. 38a (0. 38)	91. 43ab (6. 23)	75. 71c (4. 29)	89. 52ab (3. 30)	88. 57ab (1. 43)

发芽率均在 85 % 以上. 各种污泥及其堆肥的发芽率仍高于去离子水和土壤这两个对照处理, 尤其是污土的发芽率与之相比达到显著程度. 因此, 除了深生对菜心种子的发芽有明显的不良影响, 致使发芽率偏低外, 深消、佛污、广污及其堆肥不但未影响菜心种子的发芽, 而且还有一定程度的促进作用. 因此, 深生经过消化作用后, 能明显减轻其对菜心种子发芽的不良影响, 甚至有促进作用.

上述表明, 对通菜种子的发芽, 各种污泥及其堆肥均有不同程度的抑制作用或不良影响(发芽率低); 而对菜心种子的发芽, 除了深生有明显的不良影响外, 其余均有一定的促进作用. 对于使作物种子发芽率降低或推迟其发芽的物质, 本文统称为发芽抑制物质. 问题是从种子发芽一开始就阻碍发芽, 还是仅仅妨碍刚刚开始发芽的胚芽的继续伸长. 如果是后者, 可能是一般生长抑制物质的一种. 但从实际观察来看, 本文所谓的发芽抑制物质包括上述两种, 它们存在于上述污泥及其堆肥中.

污泥中所含的发芽抑制物质可能是盐分、重金属等无机物或其它有机物. 分析结果表明, 污泥及其堆肥的浸出液(水土比为 5:1)的电导率 EC_{25} 均小于 $2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, 即浸出液的盐分均小于 0.1 %. 这种浓度的盐分抑制作物种子发芽的可能性不大. 再说, 深消浸出液的盐分 ($EC_{25} = 0.68 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) 比深生浸出液的盐分 ($EC_{25} = 0.45 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) 高, 但前者对于作物种子的发芽率却高得多. 至于污泥及其堆肥中重金属影响作物种子发芽的可能性也不大. 因为深生和深消的重金属含量差不多, 且 Cu 含量均严重超过农用标准, 但前者影响很大, 后者却影响不大. 而佛污重金属的含量较低, 各种重金属的含量基本符合农用标准, 但影响却较大. 广污和污堆, 后者的重

金属含量更高些, 但其对通菜种子发芽的影响反而比前者小. 因此, 上述污泥及其堆肥中所含的发芽抑制物质, 很可能不是无机物而是有机物, 如酚类、醛类和各种有机酸等均属于发芽抑制物质^[1]. GC/MS 分析表明, 广污和深生均含有较高的醛类和各种有机酸, 而它们在污堆和深消中均明显降低, 即消化作用或适当的堆沤作用均可使污泥中的发芽抑制物质明显降解. 这就是为什么广污与污堆相比, 或深生与深消相比, 前者对于通菜种子发芽的抑制作用更为明显的原因.

发芽抑制物质的抑制作用并不是绝对的. 同一物质, 浓度高时表现为发芽抑制作用, 浓度低时则表现为发芽促进作用^[2]. 同一浓度的发芽抑制物质对不同作物种子的作用也可能不一样, 有的可能表现为发芽抑制作用, 有的则可能表现为发芽促进作用. 因此, 上述污泥及其堆肥中的发芽抑制物质, 对于通菜种子表现为发芽抑制作用, 而对于菜心种子则表现为发芽促进作用(深生除外).

3.2 对幼苗生长的影响

不同处理之间对通菜和菜心幼苗(包括种子发芽后不同长度的芽)生长也有明显不同(表 4 和表 5). 通菜幼苗试验后第 3 天(5 月 9 日), 去离子水和土壤这两个对照处理长得最好, 多数长达 1 ~ 1.5 cm, 其次为广污、污堆、污稻、污牛和深消, 它们之间差别不大, 也有部分幼苗长达 1 ~ 1.5 cm, 而深生和佛污最差, 仅刚出芽. 第 4 天后, 幼苗的生长情况较为复杂. 一是不同处理之间幼苗的长度差别较大. 总的来说, 最好的是污牛、污稻、广污、深消和土壤, 均有部分幼苗长达 2.5 ~ 3 cm, 其次为去离子水和广污, 其幼苗长度 < 2 cm, 深生和佛污仍最差, 幼苗长度 < 1 cm; 二是同一个处理内部各幼苗之间的长度差别也较大, 如污

表 4 不同处理通菜幼苗的生长状况(cm)

Table 4 Growth situation of *Ipomoea aquatica* seedling in different treatments(cm)

日期 Date	去离子水 Deionization water	土壤 Soil								
5.9	1~1.5	1~1.5	1~1.5	1~1.5	1~1.5	1~1.5	1~1.5	1~1.5	刚发芽	刚发芽
5.10	1.5~2	2~2.5	0.5~2.5	1~2	0.5~3	0.5~3	1.5~2.5	0.5~1	0.5~1	

表 5 不同处理菜心幼苗的生长状况(cm)

Table 5 Growth situation of *Brassica parachinensis* seedling in different treatments(cm)

日期 Date	参数 Parameter	去离子水 Deionization water	土壤 Soil							
5.18	茎长 Stem length	0.8	1.0	0.8	0.5	0.5~1	0.5~0.9	0.9	0.2~0.4	0.7
	根长 Root length	0.5~1.3	1~2	0.2~0.5	0.2~0.5	0.5~0.7	0.5~0.7	0.5~0.7	0.1~0.2	0.2~0.5
	根毛 Root hair	发育	发育	较差	发育	发育	发育	发育	差	较差
5.19	茎长 Stem length	1.2~2.0	1.6~2.9	1.8~3.1	1.5~2.5	2.5~3.5	2.5~3.6	1.7~2.0	0.5~1.0	1.0~1.5
	根长 Root length	1.8~2.8	3.5~4.5	1.5~1.8	0.7~0.8	1.2~1.8	1.0~1.2	1.0~1.2	0.2~0.5	0.2~0.5
	根毛 Root hair	发育	发育	较差	发育	发育	发育	发育	差	差
	长势 Growing	正 常	畸形、部分翻倒	正				常	畸形、翻倒	

稻和污牛处理的幼苗长度在 0.5~3 cm 之间.这是由于污泥及其堆肥中存在某种成分抑制种子的发芽,致使不同颗粒种子之间在时间上发芽不整齐造成的.因此,相对地说,去离子水和土壤这两个对照处理内部幼苗生长较整齐.

对于菜心幼苗,不同处理之间幼苗在茎长、根长和根毛的发育程度上均有明显的差别(表 5). 试验后第 3 天(5 月 18 日),幼苗茎长明显差一些的处理是污堆、深生和佛污,其余各处理相差不大.根长最差的处理也是污堆、深生和佛污,还有广污,最长的是去离子水和土壤这两个对照处理.根毛的发育程度除广污、深生和佛污差一些外,其余的均发育良好.第 4 天后,幼苗茎长最长的处理是污牛和污稻,其次是广污、污堆和土壤,再次是去离子水和深消,最差的是深生和佛污.各处理根长和根毛的发育程度之间的差异情况与第 3 天的大

体一致.需要指出的是,广污、深生和佛污这 3 个处理中的幼苗由于其根毛发育差,致使其幼苗立不起来而呈倒伏、翻倒状或畸形生长.这表明生污泥对菜心幼苗的生长有不良影响.

根据上述讨论和表 1 数据的分析,上述污泥及其堆肥中对于通菜幼苗和菜心幼苗生长的影响因素除了 N、P、K 等营养元素以外,可能主要还是有机物,因为主要是广污、深生和佛污抑制甚至损害了幼苗的正常生长.这些生污泥经过消化作用或适当的堆沤作用后,由于其中的生长抑制物质被降解而降低,这种抑制或损害作用就减弱或消失.

参考文献

1 中山包著(马云彬译). 1988. 发芽生理学. 北京:农业出版社,221~253.
2 浙江农业大学. 1980. 种子学. 上海:上海科学技术出版社,135~137.