

垃圾堆肥在农业生产和环境保护中的作用

王晓娟 金 耀

顾宗濂 林先贵

(复旦大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室 上海 200433) (中国科学院南京土壤研究所)

摘 要 本文综述了垃圾堆肥及其产品在农业生产和环境保护中的作用。主要论述了以下三个方面的问题: 1) 垃圾堆肥化对有机污染物的降解作用; 2) 垃圾堆肥对重金属污染的治理; 3) 垃圾堆肥产品对土壤的改良作用。

关键词 垃圾堆肥; 农业; 环境保护

堆肥是目前广泛应用且能有效地处理城市生活垃圾和污泥的方法之一。堆肥化过程主要是通过微生物活动降解垃圾中的有机物质(其中包括有机有害污染物质)。一方面垃圾堆肥产品中含有大量的有机物质及植物生长所需的养分, 因此可以用来肥田和改良土壤; 另一方面, 由于垃圾中含有金属等物质, 具有污染环境、危害健康的负效应, 如何降低重金属的危害也是垃圾堆肥化研究的一个热点问题。目前, 有关垃圾堆肥方面的研究较多, 本文就堆肥化处理有毒有机污染物以及堆肥产品在农业生产中的应用进行论述。

1 堆肥化对有机污染物质的降解作用

1.1 对人工合成的有机污染物的降解作用

人工合成的有机污染物主要有农药、塑料制品及其所含的各类增塑剂等物质, 这些物质的使用给环境带来了严重的污染。目前主要采用物理化学方法或筛选专性微生物降解以上各类有机污染物。垃圾堆肥化过程中产生的高温环境以及堆料中含有多种易降解的有机物可作为微生物共代谢的碳源和能源, 为微生物在堆肥过程中降解有机污染物提供了潜力。

塑料薄膜是由高分子聚合而成的高聚物, 一般情况下较难被生物降解。Gucci 等采用绳状青霉(*Penicillium funiculosum*)、木霉(*Trichoderma reesei* [*T. longibrachiatum*])和黑色曲霉(*Aspergillus niger*)等人工筛选的降解菌以及从草地、活性污泥等环境中得到的土著微生物为降解菌, 研究添加1~1.5%玉米淀粉、0.5~1%脂肪酸对聚乙烯薄膜在堆肥中的降解效果, 实验结果表明添加玉米淀粉或脂肪酸后聚乙烯薄膜的降解率有所提高; 同时发现采用人工筛选的降解菌, 其处理效果要比土著微生物好^[1]。酞酸酯是塑料制品中的一类非常重要的添加剂, 约占塑料的20~50%, 顾宗濂等利用从垃圾中分离筛选的不动杆菌降解垃圾堆肥中的酞酸酯(含量为197 $\mu\text{g/g}$), 其降解率达72%^[2]。

Liu X. Z. 等研究了利用垃圾堆肥来降解农药的可能性, 结果表明当垃圾的施用量达到20~40%的时候, 在温度里经过4个星期或实验室条件下经过16个星期, 85%的Trifluralin(氟乐灵), 100%的Metolachlor(丙草安)和79%的Pendimethalin(胺硝草)都能够被降解; 实验结果同时显示, 垃圾施用量与农药污染土壤的修复作用具有相关性^[3]。一般而言, 初始反应为水解反应的杀虫剂在城市垃圾堆肥过程中很容易被微生物降解^[4]。目前, 在农药污染的土壤中通过种植植物和施用堆肥, 利用堆肥提高微生物的活性, 促进植物生长, 从而使

除草剂、杀虫剂钝化,达到生物修复土壤的目的^[5]。综上所述,垃圾堆肥是处理农药污染的一种经济有效的方法。

1.2 对石油类污染物的降解

自从石油被开采利用以来,石油类污染物就一直是困扰人类的一个非常严重的环境问题。其中由于链烷烃结构简单,不含共轭键,很容易被微生物降解,方法已比较成熟,因而近期的研究主要集中在芳香烃和多环芳烃方面。多环芳烃化合物(polycyclic aromatic hydrocarbons, 简称 PAHs)性质稳定,具有致畸、致癌、致突变作用,难以用理化方法降解,但大多数的 PAHs 可以被微生物降解,因而日益受到人们的关注。

在利用垃圾堆肥处理石油类污染物过程中,易降解有机物在堆料中所占的比例对堆肥化处理效果有很大影响,主要是因为易降解有机物为微生物的生长提供充足的碳源和能源,以维持堆料中的微生物活性和必要的高温,同时多样的碳源为共代谢降解石油类污染物提供了物质基础,增强了堆肥生物降解的潜力。但过多的易降解有机物反而会降低污染物的降解速率,因此需要确定一个适宜的范围,找到最适堆料比将有助于有害废弃物的工程化处理效率。张甲耀等采用高温好氧堆肥化技术,发现当石油烃废弃物/易降解有机物(堆料比)为 1:30 时为最适堆料比,在这一条件下,废弃物中的石油烃经 28 天堆肥处理后去除率可达 59.12%^[9]。

另外,PAHs 的降解程度与环数有关,环数越多,越难降解。对于那些环数比较少的 PAHs,接种降解菌可比不接种降解菌产生比较明显的降解效果;与未加降解菌的堆肥比较,加入降解菌的可迅速进入升温期,并且具有较高的降解效率^[7]。张文娟的研究结果表明,堆制处理对 4~6 环的 PAHs 的降解作用随着苯环数的增加而降低,其去除率的大小顺序为 苊> 苯并[a]苊> 苯并[a]芘> 苯并[b]苊> 苯并[k]苊> 苯并[ghi]芘,当 PAHs 初始浓度提高约 50 倍时,除苊外降解率均随着污染浓度的提高而降低;该研究还发现不同的 C/N(碳/氮)比对污染物的降解有一定的影响,当 C/N 比为 25:1 时效果较好^[8]。菲作为另外一种多环芳烃,由于它的初始反应是一个氧化反应,因而在垃圾堆肥化过程中是比较稳固的,当堆肥结束后仍将有一部分污染物随垃圾的施用而进入土壤^[4]。

马瑛等研究原毛平革菌(*Phanerochaete chrysosporium*)在堆肥化过程中对多环芳烃的降解作用,在人工模拟含苊废弃物中接入原毛平革菌进行装置式堆肥,经过 42 天的处理,苊含量从 5800mg/kg 降低为 1967.36mg/kg,去除率为 66.08%,表明原毛平革菌可有效用于多环芳烃类有害废弃物的堆肥处理^[9]。

2 对重金属污染的防治

重金属污染是垃圾堆肥施用过程中的一个重要问题。研究表明,垃圾堆肥中的重金属主要以残渣态形式存在,经过堆肥化处理后,水浸提态重金属的含量减少,而交换态和有机结合态增加^[10]。由于不同形态重金属的生物有效性不同:水溶态、交换态和有机结合态的生物有效性较高,而碳酸盐及硫化物结合态和残渣态则较低,因而如何降低垃圾堆肥中重金属的危害是一个重要的研究课题。

在田间定位试验条件下,潘洁等研究了垃圾堆肥对土壤和农产品中重金属含量的影响。结果表明,当垃圾肥施用量超过 150t/hm² 时,土壤中重金属含量随着垃圾肥用量的增加而增加^[11]。在施用垃圾的过程中,不同的土壤对垃圾的最大承纳量有所不同:黄棕壤的承纳量为 225~900t/hm²,潮土的承纳量为 450t/hm²,红壤的承纳量为 900t/hm²,当垃圾堆肥施

用量大于以上标准时,由于重金属危害等原因,将导致作物和蔬菜产量的增幅减少^[12]。

对农产品品质而言,连续多年使用垃圾肥 $150\text{t}/\text{hm}^2$ 后,白菜和小麦籽粒中重金属含量与对照相差不大^[11]。郭郟兰等研究指出当农田施用 $37.5\text{t}/\text{hm}^2$ 污泥或污泥堆肥 $120\text{t}/\text{hm}^2$ 时,植物可食部分和茎秆中的铅、镉、汞、砷等重金属元素的含量均未超过国家食品卫生标准;研究进一步分析了影响污泥与污泥堆肥中的重金属向植物转移、积累的因素,提出当土壤有机质及 pH 愈高,污泥和土壤中的可给态重金属元素愈低,重金属元素越不易向植物体内转移与积累^[13]。

谢思琴等的研究表明单施垃圾肥会增加蔬菜中重金属的累积量,但若施垃圾堆肥同时拌施 $0.5\% \sim 1\%$ 的 CaCO_3 ,可以显著的降低堆肥中重金属的累积水平,与单施垃圾肥相比,蔬菜中 Pb 的含量下降 $29\% \sim 41\%$, Cr 下降 $5\% \sim 46\%$, Cd 下降 $9\% \sim 42\%$, Cu 下降 $2\% \sim 24\%$, As 下降 $4\% \sim 60\%$ ^[14]。

Saciragic B 研究了采用蚯蚓 (*Eisenia fetida*) 和蠕虫处理城市下水道污泥中的重金属。经过 3 个月的堆肥处理后的结果表明: 1) 与对照相比, 积累在蚯蚓体内的重金属含量非常高: Cu 12 倍、Pb 10 倍、Cr 8 倍、Zn 7.5 倍、Ni 6 倍、Cd 4.5 倍、Mn 3.5 倍和 Co 1.6 倍; 2) 在蠕虫堆肥中只有 Fe 的浓度增加 1.5 倍, 而其它元素都有所降低: Mn 92%、Zn 89%、Cu 90%、Cr 88%、Pb 87%、Cd 86%、Ni 51% 和 Co 42%^[15]。

3 垃圾堆肥产品对土壤的改良作用

垃圾堆肥产品不仅含有丰富的氮、磷等有机养分,而且可以明显改良土壤的理化性状,因而有望成为发展粮食、蔬菜、花卉、林木生产等方面的有效资源^[16]。

Agassi M. 等研究了利用垃圾减少水土流失的可行性: 在实验室条件下,采用 $100\text{m}^3/\text{hm}^2$ 的垃圾覆盖,可以有效的预防 260mm 的降水对土壤的冲洗,使雨水渗入土壤,而且垃圾分解后可使土壤的理化性状得到明显改良^[17]。关于垃圾堆肥施用后对土壤的影响,陆文龙通过盆栽和田间定位试验研究了垃圾肥对潮土 pH、盐分、全氮、速磷、速钾和土壤理化性状的影响。结果表明,垃圾肥能明显提高土壤养分含量,土壤物理性状也有显著改善。垃圾肥对土壤 pH 降低的幅度尽管不大,但对潮土中微量元素的活化具有重要意义。另一方面,随着垃圾肥用量的增加,土壤全盐含量上升,因此在施用垃圾肥时应注意土壤盐分的累积^[18]。Ferreira M. E. 等采用经过蚯蚓消化处理的城市垃圾堆肥施用于玉米试验田,发现在不加石灰,而仅施用 $60 \sim 80\text{t}/\text{hm}^2$ 垃圾肥和化学肥料,或在同时施用 $40 \sim 60\text{t}/\text{hm}^2$ 垃圾肥和石灰、化学肥料时,都能产生显著的增产效应^[19]。另外,在一定的范围内,土壤中的有机质、全 N、有效 P 含量、呼吸强度、纤维分解强度及微生物生物量 C、N 含量均随垃圾堆肥施用量提高而增加,并呈显著的正相关性^[20]。

污泥作为另外一类废弃物,因含有丰富的营养物质而被施用于农田。如果污泥在利用到土地之前经过堆肥化处理,可以降低病原体污染、地表水污染和臭气排放的潜在危险。Liang Q. 用铝土炼制渣(红泥)处理污泥堆肥,测定堆肥过程中的温度、pH、湿度、挥发性固体物、二氧化碳、氧、氮及堆肥中的总有机碳等数据,结果表明,红泥通过提高温度、除湿和提高分解速度等方面改进堆肥效果;同时红泥吸附了解过程中污泥释放出的 CO_2 ,增加了堆肥的缓冲能力。但消化污泥中红泥的碱性和 C/N 的低比率增加了污泥堆肥过程中的氮挥发性,增添外部有机碳可以有效地提高 C/N 的比率,减少氮的挥发^[21]。

垃圾堆肥运用现代工艺,作成各种颗粒肥料已经成为新兴的研究方向。Barbolina 等利

用猪粪活性污泥生产的生物颗粒肥料(BAMIL)中含有的主要有效细菌为 *Bacillus* (*B. cereus*, *B. megaterium*, *B. pumilis*), 研究表明肥料中所含的微生物数量与生产颗粒肥时的烘干温度成反比^[22]。薛澄泽等将污水处理厂污泥与调理剂(麦糠或玉米秸糠、鸡粪)及膨胀剂(玉米秸秆短节)按一定比例混合, 调节水分为 50%~60%, C/N 为 30, 用通气静态堆肥化处理后, 腐熟的堆肥风干、过筛, 加入一定量的尿素和磷肥使全氮达 2%, 全磷达 1%, 并补充必要的微量元素制成复合有机肥料。施用该肥料, 林木、花卉、草坪及育苗, 均获得良好的生长响应, 土壤理化性状也有所改善^[23]。

Cooperband L. R. 等研究了利用城市垃圾作为碳源, 与鸡粪按不同的比例进行混合堆肥的可行性, 通过对堆肥八个月的连续测定(温度、氧气浓度、湿度、pH、电导率、C:N:P、呼吸作用以及微生物的多样性等)表明垃圾与鸡粪的比例为 21:1 和 6:1 的堆肥, 要比 3:1 和 1:1 的堆肥腐熟度高^[24]。

郭笃发用盆栽法研究了 γ -射线处理的垃圾对蔬菜生长的影响及其机理, 结果发现经 γ -射线处理的垃圾比未处理的有更大的增产效果, 这种效果在肥力低的土壤上尤为显著; 但产量的提高并不随着照射量的增加而明显增强, 这是由于 γ -射线能提高垃圾中有机质和氮磷钾的活性, 但其活性的提高不随照射量的增加而增强^[25]。

参 考 文 献

- 1 Gucci PMB et al. *Fresenius Environmental Bulletin*. 1998, 7(11~12): 659~664
- 2 顾宗濂等. 城市生活垃圾中酞酸酯的降解. *应用与环境生物学报*. 1995, 1(3): 244~251
- 3 Liu Xz et al. *The science of composting: part 2*. 1996, 903~912
- 4 Racke K. D. et al. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 1989, 42(4): 526~533
- 5 Cole M. A. et al. *Compost Science and Utilization*. 1995, 3(4): 20~30
- 6 张甲耀等. 不同物料比对石油废弃物堆肥处理效率的影响. *环境科学*. 1999, 20(5): 86~89
- 7 张勇等. 降解菌对堆肥中多环芳烃降解作用的初步研究. *农业环境保护*. 2000, 19(1): 53~55
- 8 张文娟等. 堆制处理过程中的多环芳烃降解. *应用与环境生物学报*. 1999, 5(6): 605~609
- 9 马瑛等. 原毛皮革菌堆肥处理有害废弃物的可行性. *环境科学*. 1999, 20(6): 67~70
- 10 张增强等. 污泥堆肥化处理对重金属形态的影响. *农业环境保护*. 1996, 15(4): 188~190
- 11 潘洁. 垃圾肥对土壤和农产品重金属含量的影响. *农业环境保护*. 1998, 17(3): 109~112
- 12 周德智等. 土壤施加垃圾肥的允许负荷量. *应用与环境生物学报*. 1995, 1(4): 349~357
- 13 郭郢兰等. 城市污泥和污泥垃圾堆肥作为肥源对作物重金属积累的影响. *农业环境保护*. 1995, 14(2): 67~71
- 14 谢思琴等. 垃圾堆肥拌施 CaCO_3 对蔬菜中重金属的累积影响. *应用与环境生物学报*. 1995, 1(3): 260~266
- 15 Saciragic B. et al. *Radovi Poljoprivrednog Fakulteta Univerziteta Sarajevu*. 1990, 38(42): 42
- 16 周德智等. 天然腐熟垃圾的微生物活性和肥效. *土壤*. 1993, 25(4): 205~208
- 17 Agassi M. et al. *Compost Science and Utilization*. 1998, 6(3): 34~41
- 18 陆文龙. 垃圾肥对土壤养分及物理性状的影响. *农业环境保护*. 1998, 17(3): 104~108, 112
- 19 Ferreira M. E. et al. *Cientifica Jaboticabal*. 1992, 20(1): 217~226
- 20 许月蓉等. 垃圾堆肥对土壤微生物的影响. *应用与环境生物学报*. 1995, 1(4): 398~402
- 21 Liang Q. *Water Res*. 1997, 31(5): 1056~1064
- 22 Barbolina II et al. *Microbiology New York*. 1995, 64(1): 110~112
- 23 薛澄泽等. 污泥制作堆肥及复合有机肥料的研究. *农业环境保护*. 1997, 16(1): 11~15, 31
- 24 Cooperband L. R. et al. *Compost Science and Utilization*. 1996, 4(4): 24~34
- 25 郭笃发. γ -射线处理城市生活垃圾的农业利用. *农业环境保护*. 1996, 15(2): 78~80