

添加有机物对莠去津污染土壤微生物生物量的动态影响

张超兰, 徐建民*, 姚斌

(浙江大学 水土资源与环境研究所, 浙江 杭州 310029)

摘要: 土壤微生物生物量C和N及其C/N比是反映土壤质量的重要生物学指标。研究了除草剂莠去津污染土壤(每kg土壤中含莠去津10mg)中分别添加3种不同有机物料(腐熟猪粪、水稻秸秆和紫云英,用量均为每1kg土壤中加入有机物料10g)对上述生物学指标的动态影响。结果表明,莠去津污染土壤后,土壤微生物生物量C和N及其C/N比率均明显降低;加入有机物料后,土壤微生物生物量C和N及其C/N比率均显著增加,增加幅度与加入有机物料的组成和生物特性有关,依次为腐熟猪粪>紫云英>水稻秸秆。

关键词: 土壤微生物生物量; 莠去津污染土壤; 有机物料

中图分类号: S154.36; X592 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7303(2003)02-0079-06

莠去津(2-氯-4-乙氨基-6-异丙氨基-1,3,5-三氮苯)又名阿特拉津,属均三氮苯类化合物,是选择性内吸传导型苗前、苗后除草剂,适用于玉米、高粱、果园和林地等,可防除一年生禾本科杂草和阔叶杂草,对某些多年生杂草也有一定的抑制作用^[1],目前已在世界各地得到了大面积的推广应用。到2000年我国年施用量已达到2 835.2 t,每年用量平均以20%的速度递增^[2]。莠去津虽然是一种低毒除草剂,但在土壤中具有中等持留性,其半存留期长达4~57周^[3]。由于其广泛使用,所带来的生态与环境问题日益严重,该化合物及其降解产物已在世界许多国家及地区的地表水^[4,5]、地下水^[6,7]、雨水^[8]、大气^[9]中被检测出来,其浓度远远超过美国环保局规定的安全浓度^[10],造成对环境的污染。莠去津在土壤中的持留期较长并具有生物蓄积性,用药量高时其在土壤中的残留量易伤害后茬敏感作物(如大豆、油菜、棉花、甜菜等),对粮食和其他食品安全构成潜在威胁^[11,12]。如黑龙江地区每公顷用有效成分超过2 kg,第二年只能种植玉米,若种植大豆、小麦、水稻、甜菜、油菜、瓜类、蔬菜等均可导致药害^[12]。人们对该除草剂在土壤中的吸附、迁移、降解、残留等行为及土壤性质和环境因素对它的影响进行了大量的研究^[13-15]。相比较,莠去津除草剂进入土壤后对土壤微生物及与之有关的土壤生物化学过程影响的研究报道却较少。鉴此,笔者研究了莠去津污染条件下,3种外源有机物料对土壤微生物生物量的动态影响,旨在寻求通过添加外源有机营养物质等农业措施激发土壤土著微生物的活性,为原位快速修复被莠去津除草剂污染的土壤提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤: 采自浙江省杭州市袁浦镇0~20 cm的淡涂泥田水稻土,过2 mm筛,混匀后分成两部分,一部分置于4℃冰箱中保存,供培养试验用,另一部分于室温下风干,供土壤理化性

作者简介: 徐建民(1965-),男,浙江桐乡人,教授,博士生导师,主要从事土壤化学与环境方面的研究

基金项目: 国家自然科学基金(40171051)资助项目;高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划基金资助项目。

质测定。

莠去津(atrazine), 纯度为 98.4%, 由国家农药检测中心提供。

有机物料为腐熟猪粪、水稻秸秆和紫云英(*Chinese clover, A stragalus sinicus* Linn)。猪粪采自广西南宁市郊某农户, 猪的喂养按照传统方法, 不喂任何市场出售的猪饲料, 猪粪不含稻草等猪圈杂质, 经堆制腐熟后, 风干粉碎过 1 mm 筛备用; 水稻秸秆采自广西大学农场; 紫云英(开花期)采自浙江省平湖市新埭镇。三种物料均经风干后粉碎过 1 mm 筛备用。供试土壤及有机物料的基本性状见表 1。

Table 1 Characteristics of the soil and organic materials

| Materials | Organic C /mg · g ⁻¹ | Total N /mg · g ⁻¹ | Total P /mg · g ⁻¹ | C/N | CEC/ cmol · kg ⁻¹ | pH |
|----------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------|---------------------------------|-----|
| Soil | 20.4 | 1.8 | 0.7 | 11.3 | 9.8 | 7.4 |
| Pig manure | 394.6 | 30.8 | 14.5 | 12.8 | — | — |
| Rice straw | 174.4 | 4.8 | 2.0 | 36.3 | — | — |
| Chinese clover | 144.4 | 13.6 | 8.1 | 10.6 | — | — |

1.2 培养试验

土壤从冰箱中取出后置于 25 ± 1 °C 恒温生化培养箱中暗培养 7 d。称取相当于 60 g 烘干土重的新鲜土壤置于 250 mL 三角瓶中, 加入 1 000 mg/L 莠去津甲醇溶液 0.6 mL, 使每 1 kg 土壤中所含莠去津的量为 10 mg, 将三角瓶置于通风橱中使甲醇挥发; 然后于每 kg 土壤中分别加入 10 g 腐熟猪粪、水稻秸秆和紫云英, 调节含水量至田间持水量的 50%, 混匀后加橡皮塞, 置于 25 ± 1 °C 恒温生化培养箱中暗培养, 培养过程中损失的水分通过称重法给予补充。分别于培养后第 0、3、7、14、28、42、70、98 d 采集土壤样品, 测定微生物生物量 C 和生物量 N。同时进行不加有机物料的莠去津污染土壤的培养试验以及未污染土壤的空白对照试验。各处理重复 3 次。

1.3 测定方法

土壤微生物生物量 C 和 N 均采用氯仿熏蒸-0.5 mol/L K₂SO₄ 提取测定^[16], 采用总有机碳分析仪(TOC-500, Shimadzu, Kyoto, Japan)测定提取液中的有机碳含量, 提取液中的氮采用凯氏法消煮^[17], 并采用氮磷自动分析仪(ASTORIA-PACIFIC, NC, Clackamas, USA)测定消煮液中的氮。

2 结果

2.1 有机物料对莠去津污染土壤微生物生物量 C 的影响

结果(见表 2)表明, 莠去津污染土壤中微生物生物量 C 明显降低, 在整个培养过程中降低的幅度为 10.4~131.2 mg/kg。添加有机物料均能显著增加土壤微生物生物量 C 的含量, 但增加的程度与有机物料的种类有关。在培养的最初 7 d 内, 所有处理的土壤微生物生物量 C 均呈降低趋势, 其中不加有机物料的莠去津处理土壤的降低幅度最大, 添加有机物料处理的土壤微生物生物量 C 显著高于空白对照和加有机物料的莠去津处理。在 7~14 d 期间, 微生物生物量 C 呈上升趋势, 14~28 d 又呈下降趋势, 28 d 后变化不大。培养结束时, 添加有机物料处理者微生物生物量 C 始终高于空白对照和加有机物料的污染土壤。有机物料种类对土壤微生物

物生物量 C 的影响顺序为腐熟猪粪> 紫云英> 水稻秸秆。与空白对照相比, 腐熟猪粪、水稻秸秆、紫云英处理组微生物生物量 C 分别平均增加了 471.3、122.9、225.5 mg/kg, 而不加有机物料的污染土壤微生物生物量 C 平均降低了 42.7 mg/kg。

Table 2 Effect of different organic amendments on microbial biomass carbon in atrazine-added soil (mg/kg)

| Sampling time/d | Control | atrazine | atrazine+ pig manure | atrazine+ rice straw | atrazine+ Chinese clover |
|-----------------|----------|----------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| 0 | 378.2dD* | 367.06dD | 992.8bB | 529.2cC | 518.2cC |
| 3 | 327.4eE | 316.8eE | 867.0bB | 447.5dD | 472.3cdCD |
| 7 | 248.7fE | 177.6gF | 614.8bA | 295.3eDE | 421.0dC |
| 14 | 370.9fF | 239.7gG | 1011.5bB | 550.1eE | 801.2cC |
| 28 | 365.5fE | 324.8fE | 802.5bB | 550.6eD | 678.14cC |
| 42 | 346.2fF | 289.6gF | 765.2bB | 429.4eE | 545.6dD |
| 70 | 322.9eE | 312.5eE | 706.2bB | 431.7dD | 527.5cC |
| 98 | 321.3eE | 310.4eE | 699.4bB | 430.8dD | 528.7cC |

* Means with different letters, within rows, differ significantly according to LSR $P < 0.05$ among small letters and $P < 0.01$ among capital. The same in the following tables.

2.2 有机物料对莠去津污染土壤微生物生物量 N 的影响

莠去津污染土壤中微生物生物量 N 对不同有机物料的响应动态规律与生物量 C 基本一致(结果见表 3), 施用有机物料极显著地增加了土壤微生物生物量 N 的含量, 不同有机物料对微生物生物量 N 的影响顺序也是腐熟猪粪> 紫云英> 水稻秸秆。与空白对照相比, 腐熟猪粪、水稻秸秆、紫云英处理微生物生物量 N 分别平均增加了 24.8、5.7 和 11.5 mg/kg, 仅加莠去津的处理微生物生物量 N 则降低了 3.6 mg/kg。土壤微生物生物量 N 随时间的变化规律也与生物量 C 一致, 即在培养最初 7 d, 微生物生物量 N 降低, 7~ 14 d 土壤微生物生物量 N 增加, 14~ 28 d 又下降, 28 d 以后变化不大。

Table 3 Effect of different organic amendments on microbial biomass nitrogen in atrazine-added soil (mg/kg)

| Sampling time/d | Control | atrazine | atrazine+ pig manure | atrazine+ rice straw | atrazine+ Chinese clover |
|-----------------|----------|----------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| 0 | 38.2dC | 37.8dC | 65.6bB | 39.4cdC | 38.8cdC |
| 3 | 35.6efDE | 33.5fE | 60.1bB | 38.0deCD | 38.3deCD |
| 7 | 32.4fF | 26.6gG | 52.8bB | 36.6eE | 41.7dD |
| 14 | 39.7gG | 34.3hH | 73.7bB | 50.7fF | 64.5dD |
| 28 | 35.8fE | 32.5gE | 62.2bB | 45.6eD | 53.6dC |
| 42 | 33.0fF | 27.7gG | 55.7bB | 37.6eE | 44.4dD |
| 70 | 32.5gF | 29.2hF | 55.1bB | 37.6fE | 44.9dD |
| 98 | 31.9eE | 28.9eE | 51.9bAB | 39.1dD | 44.4cC |

2.3 有机物料对莠去津污染土壤微生物生物量 C/N 比的影响

结果(见表 4)表明, 添加有机物料显著增加了莠去津污染土壤微生物生物量 C/N 比。在

整个培养过程中, C/N 比也随培养时间呈动态变化, 0~ 7 d 下降, 7~ 14 d 呈上升趋势, 第 14 d 时, 腐熟猪粪、水稻秸秆、紫云英处理土壤微生物生物量 C/N 比分别比空白对照增加了 4.4、1.5 和 3.1; 与仅加脩去津的处理相比, 分别增加了 6.7、3.8 和 5.4。28 d 后, 变化较小。不同有机物料对土壤微生物生物量 C/N 比的影响为: 腐熟猪粪 > 紫云英 > 水稻秸秆。在整个培养过程中, 腐熟猪粪、紫云英、水稻秸秆处理土壤微生物生物量 C/N 比分别比空白对照平均增加了 2.5、0.3 和 1.1, 不加有机物料的脩去津处理则降低了 1.6。与不加有机物料的脩去津处理相比, 腐熟猪粪、紫云英、水稻秸秆处理者微生物生物量 C/N 比率分别增加了 4.1、1.9 和 2.7。

Table 4 Effect of different organic amendments on the C/N ratio of microbial biomass in atrazine-added soil

| Sampling time/d | Control | atrazine | atrazine+ pig manure | atrazine+ rice straw | atrazine+ Chinese clover |
|-----------------|---------|----------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| 0 | 9.9cC | 9.7cC | 15.2aA | 13.5bB | 13.4bB |
| 3 | 9.2cC | 9.5cC | 14.4aA | 11.8bB | 12.3bB |
| 7 | 7.7cCD | 6.7dD | 11.7aA | 8.1cC | 10.1bB |
| 14 | 9.4dD | 7.0eE | 13.7aA | 10.9cC | 12.4bB |
| 28 | 10.2bB | 10.0bB | 12.9aA | 12.1aA | 12.7aA |
| 42 | 10.6dC | 10.6dC | 13.8aA | 11.4cBC | 12.3bB |
| 70 | 10.0dC | 10.7cdBC | 12.8aA | 11.5bcB | 11.8bAB |
| 98 | 10.1dC | 10.8cdBC | 13.3aA | 11.0bcBC | 11.8bB |

3 讨 论

土壤微生物生物量是反映土壤质量的重要生物学指标^[18]。本研究中, 在最初培养 7 d, 施用脩去津的土壤微生物生物量 C 均明显降低, 这与脩去津对微生物的毒性有关。添加有机物料的土壤中, 微生物生物量 C 均高于对照和仅加脩去津的处理, 与空白对照比较, 在整个培养过程中, 腐熟猪粪、水稻秸秆、紫云英处理的土壤微生物生物量 C 分别平均增加了 140.6%、36.7%、67.3%, 不加有机物料的脩去津处理则降低了 12.7%, 这表明有机物料能减缓甚至消除脩去津对土壤微生物的毒害作用。土壤中添加有机物料可以加速脩去津的降解作用^[19], Hance 认为加入有机物质可以激活微生物的活性, 从而使微生物代谢作用加强^[20]。25 时在 pH 4 的条件下, 脩去津的半衰期为 244 d, 然而添加 2% 腐植酸可将半衰期降至 1.73 d^[14]。施肥对农田土壤微生物活性的影响为有机肥配施无机肥处理 > 单施有机肥处理 > 单施无机肥处理^[21]。脩去津降解后, 其生物毒性也随之降低^[13]。这些报道与我们的结果是完全吻合的。

表 2 和表 3 的结果显示, 各处理微生物生物量 N 的变化趋势与生物量 C 的变化趋势是基本一致的, 脩去津及有机物料对土壤微生物生物量 C 的影响机理同样适用于说明对土壤微生物生物量 N 的影响。微生物在其代谢过程中吸收部分 C 的同时必需吸收部分 N, 以维持其自身的 C/N 比值, 所以当土壤微生物生物量 C 增加的同时, 生物量 N 也势必增加。与空白对照比较, 在整个培养过程中, 腐熟猪粪、水稻秸秆、紫云英处理者微生物生物量 N 平均增加了 71.0%、16.4% 和 32.9%, 不加有机物料的脩去津处理则降低了 10.2%。不同处理投入的碳源种类和数量不同, 使得土壤微生物对有机物料的 N 和土壤矿质 N 的生物固持作用也不尽相同。在施用水稻秸秆的处理中, 由于水稻秸秆的 C/N 较高, 在不外加氮肥的情况下, 土壤微生物

物则首先从土壤中吸收部分矿质N, 从而使土壤微生物生物量N 增加。

各种有机物料处理的土壤微生物生物量C/N 比均比仅用莠去津处理土壤及空白对照土壤的高, 微生物生物量C/N 比的显著增加与添加有机物料后微生物生物量C 和N 增加的程度不同有关。Khan 和Huang 认为重金属污染土壤中微生物生物量C/N 比率的增加是由于土壤微生物群落结构发生了改变^[22]。

0 d 时, 土壤微生物生物量C、N 以及C/N 比也存在一定差异, 这可能是由于添加不同有机物质所致。腐熟猪粪中生物量C、N 含量最大, 可能是由于腐熟猪粪中所含生物量较高的原因。不同有机物料的C、N、P 含量及C/N 比差异较大(表1), 直接影响它们在土壤中的微生物降解和转化过程。腐熟猪粪和紫云英的C/N 比较低, 容易被微生物降解, 一部分转化为CO₂, 另一部分转化为土壤微生物生物量C、N, 以及其他的代谢产物。与之相比较, 水稻秸秆的C/N 比较高, 其矿化速率较慢, 因此加入猪粪和紫云英的土壤微生物生物量C、N 均高于水稻秸秆处理。这说明通过添加腐熟猪粪和紫云英激发莠去津污染土壤微生物活性的效果比水稻秸秆好。因此对除草剂污染土壤, 在采用添加有机物质等农业措施来恢复土壤土著微生物活性时, 必须考虑到有机物料的C/N 比, 而腐熟程度不同的同一有机物料, 其C/N 比也是不同的。

4 结语

长期大量施用莠去津除草剂会使其在土壤中累积, 从而导致土壤污染。莠去津污染后会降低土壤微生物生物量C、N 的含量和C/N 比, 添加有机物料可以显著提高莠去津污染土壤中土著微生物的生物量和活性, 有利于土壤微生物对莠去津的降解。不同有机物料对污染土壤微生物生物量增加的影响程度是不同的, 腐熟猪粪施入土壤后, 微生物生物量C、N 增加幅度最大, 紫云英其次, 施入水稻秸秆后, 影响程度最小。在生产实践中可以通过施用有机肥来提高污染土壤中土著微生物的活性, 从而可以在原位快速有效地修复被污染的土壤。

参考文献:

- [1] 化学工业出版社组织编写. 除草剂[A]. 中国化工产品大全(下)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1994
- [2] Sintein B. Evaluating the environmental fate of atrazine in France [J]. *Chemosphere*, 1996, 32 (12): 2441-2456
- [3] Cohen S, Creager S, Carsel R. Enfield potential pesticide contamination of groundwater from agricultural uses [A]. Kruefer R F, Treatment J N S. Disposal of Pesticide Waste [M]. Washington, DC: American Chemical Society, 1984. 297-325
- [4] Buster H R. Atrazine and other s-triazine herbicides in lakes and rains in Switzerland [J]. *Environ Sci & Technol*, 1990, 24: 1049-1058
- [5] Thuman E M, Meyer M T. A reconnaissance study of herbicides and their metabolites in surface water of the mid-western United States using immunoassay and gas chromatography/mass spectrometry [J]. *Environ Sci & Technol*, 1992, 26: 2440-2447.
- [6] 蔡思义, 米长虹, 郑振华. 阿特拉津与农业环境[J]. 农业环境与发展, 1994, 11(4): 22-26
- [7] Beltuck D A. Groundwater contamination by atrazine and its metabolites [J]. *ACS Symp Ser*, 1991, 459: 254-273
- [8] Nations B K, Hallberg G R. Pesticides in low precipitation [J]. *Environ Qual*, 1992, 21: 486-492

- [9] Bester K. Atmospheric deposition of atrazine herbicides on north Germany and Germany bight [J]. *Chemosphere*, 1995, 30: 1613-1653
- [10] U S Environmental Protection Agency. Rules and Regulations[R]. Fed Regist, 1991, 56: 35-52
- [11] 李清波, 黄国宏, 王颜红, 等. 阿特拉津生态风险及其检测和修复技术研究进展[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(5): 625-628
- [12] 潘学冬, 虞云龙, 花日茂. 均三氮类除草剂微生物降解与转化[J]. *安徽农业大学学报*, 2001, 28(3): 246-250
- [13] 弓爱君, 叶常明. 除草剂阿特拉津(atrazine)的环境行为综述[J]. *环境科学进展*, 1997, 5(2): 37-47
- [14] 叶常明, 雷志芳, 王杏君, 等. 除草剂阿特拉津的多介质环境行为[J]. *环境科学*, 2001, 22(2): 69-73
- [15] 叶常明, 王杏君, 弓爱君, 等. 阿特拉津在土壤中的生物降解研究[J]. *环境化学*, 2000, 19(4): 300-305
- [16] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, et al. Measurement of soil microbial biomass by fumigation-extraction-an automated procedure[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22: 1167-1169
- [17] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17: 837-842
- [18] 任天志. 持续农业中的土壤生物指标研究[J]. *中国农业科学*, 2000, 33(1): 68-75
- [19] Topp E, Tessier L, Gregorich E G. Dairy manure incorporation stimulates rapid atrazine mineralization in an agricultural soil[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1996, 76(3): 403-409
- [20] Hance H J. The effect of nutrients on the decomposition of the herbicides atrazine and linuron incubated with soil[J]. *Pesticide Science*, 1973, 4: 817-822
- [21] 沈宏, 曹志洪, 徐本生, 等. 施肥对不同农田土壤微生物活性的影响[J]. *农村生态环境*, 1997, 13(4): 29-35, 54
- [22] Khan K S, Huang C Y. Effect of lead-zinc interaction size of microbial biomass in red soil[J]. *Pedosphere*, 1998, 8: 143-148

Effect of Organic Amendments on Soil Microbial Biomass in an Atrazine-contaminated Soil

ZHANG Chao-lan, XU Jian-min*, YAO Bin

(Institute of Soil and Water Resources and Environmental Science,
Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Soil microbial biomass carbon, nitrogen and its C/N ratio are the important biological indicators characterizing soil quality. An incubation experiment was conducted to study the response of soil microbial biomass C, N and C/N ratio to three organic amendments (pig manure, rice straw and Chinese clover) in a soil contaminated by atrazine herbicide at a rate of 10 mg/kg soil. The results showed that soil microbial biomass C and N and C/N ratio were significantly decreased after the soil was contaminated by atrazine. Organic amendments applied at a rate of 10 mg/g significantly increased microbial biomass C, N and C/N ratio in atrazine-contaminated soil. The effect of organic amendments on microbial biomass C, N and C/N ratio followed the order of pig manure > Chinese clover > rice straw.

Key words: soil microbial biomass; atrazine-contaminated soil; organic amendments