

阿特拉津污染胁迫下土壤微生物生物量对外源有机无机物质的响应*

张超兰^{1,2} 徐建民¹ 姚斌¹

(1 浙江大学土水资源与环境研究所, 杭州 310029)

(2 广西大学农学院, 南宁 530005)

THE RESPONSE OF SOIL MICROBIAL BIOMASS TO ORGANIC AMENDMENTS AND FERTILIZERS UNDER ATRAZINE STRESS

Zhang Chaolan^{1,2} Xu Jianmin¹ Yao Bin¹

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

(2 College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China)

关键词 土壤微生物生物量; 阿特拉津; 有机物料; 无机肥料

中图分类号 S154.3

文献标识码 A

土壤微生物与土壤自净作用密切相关, 它直接参与土壤动植物残体、外来有机物质和其它有毒有害有机化合物的降解过程。然而, 这些有机物质的存在也同样会影响土壤微生物的活性及其多样性^[1]。土壤生物学性能敏感地反映出土壤质量和健康的变化, 是土壤质量评价不可缺少的指标^[2]。土壤生物极易受土壤环境因子的影响, 如土壤水分、温度的季节变化、作物根茬和根际产物(如根分泌物、粘胶物质、脱落细胞等)以及有机无机肥料的施用均会对土壤生物产生较大的影响。大量研究证明^[1,3], 合理施用有机、无机营养物质明显增加土壤微生物的数量; 土壤微生物生物量碳、氮和磷也随着施用有机物质或有机物质配施无机物质(N、P)而明显增加^[4~5]。土壤微生物对分解土壤中的有机污染物具有独特的影响, 为了更好地了解这一过程, 研究污染胁迫条件下土壤微生物生物量、微生物的种类以及微生物群体之间的相互作用是十分重要的。近年来, 国内外学者对土壤微生物生物量的研究十分重视, 但以往的研究主要侧重于非污染土壤中微生物生物量测定方法的研究或把它作为一种肥力指标^[6]以及重金属污染对微生物生物量的影响^[7]。有

机污染物如除草剂对土壤微生物生物量的影响也有较多报道^[8]。而对除草剂污染胁迫下土壤微生物生物量对外源有机无机营养物质响应的动态研究较少, 本研究试图揭示添加阿特拉津除草剂条件下土壤微生物生物量对外源有机无机营养物质响应的动态变化, 旨在通过添加外源有机无机营养物质等措施激发土壤土著微生物的活性, 为原位快速修复阿特拉津除草剂污染土壤提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采于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, 测土壤理化性质用。

有机物料为腐熟猪粪、水稻秸秆和紫云英, 采集后, 风干粉碎过 1 mm 筛备用。无机肥为分析纯尿素和磷酸二氢钾。供试土壤及有机物料的基本性状见表 1。阿特拉津的纯度为 98.4%, 由国家农药检测中心提供。

* 国家自然科学基金(40171051)、高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划基金和浙江省自然科学基金资助(RC99032)项目

- 通讯作者, E-mail: jku@mail.lz.zj.cn

作者简介: 张超兰(1971~), 女, 广西梧州人, 博士研究生, 主要从事土壤化学与环境研究

收稿日期: 2002-11-18; 收到修改稿日期: 2003-05-27

1.2 培养试验

土壤从冰箱中取出后置于 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 恒温生化培养箱中进行暗培养一周。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 $1\ 000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 阿特拉津除草剂甲醇水溶液(甲醇: 水 = 1: 1) 0.6 ml , 使土壤中阿特拉津浓度为 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 待甲醇挥发后混匀。按以下试验设置加入不同有机无机营养物质, 调节含水量至田间持水量的 50% , 混匀后加橡皮塞, 置于 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 恒温生化培养箱中暗培养

70 d 。培养过程中损失的水分通过称重法给予补充, 土壤样品分别于第 $0、7、14、28、42、70$ 天采集, 分析测定微生物生物量碳和磷。试验设 7 个处理, 3 次重复: (1) 对照(CK); (2) 加药土壤(A) (阿特拉津浓度为 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$); (3) 加药土壤+ P(AP) (P_2O_5 $75.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); (4) 加药土壤+ NP(ANP) (N $75.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $75.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); (5) 加药土壤+ 2% 腐熟猪粪(AM); (6) 加药土壤+ 2% 水稻秸秆(AS); (7) 加药土壤+ 2% 紫云英(AL) 等。

表 1 供试土壤及有机物料的基本性状

试验材料	全 P($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机 C($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全 N($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C/N	CEC($\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH
水稻土	0.73	10.73	3.17	3.38	98.82	7.38
水稻秸秆	2.02	174.42	4.8	36.34	—	—
紫云英	8.13	144.43	13.6	10.62	—	—
腐熟猪粪	14.54	394.64	30.8	12.81	—	—

1.3 分析测定方法

微生物生物量碳采用氯仿熏蒸-提取法^[9]测定, 提取液中的总有机碳用 Shimadzu TOC-500 型总有机碳分析仪测定。微生物生物量磷参照 Brookes 等人的方法^[10]测定, 提取液为 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 溶液 ($\text{pH}=8.5$), 提取液中的磷含量采用钼酸铵-抗坏血酸比色法测定。

2 结果与分析

2.1 添加阿特拉津土壤微生物生物量 C 对外源有机无机物质的响应

图 1 结果表明, 与对照比较, 土壤单施阿特拉津, 浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时(处理 A), 土壤微生物生物量碳明显降低。但添加有机或无机物质后土壤微生物生物量 C 均明显增加, 添加不同有机或无机物质增加程度各异。在培养最初 7 d , 微生物生物量 C 呈下降趋势, 而加入有机或无机物质的处理, 微生物生物量 C 仍然高于 CK 与 A 处理。 $7\sim 14\text{ d}$ 微生物生物量 C 迅速增加, 其中以 AM 处理微生物生物量 C 增加最多, 从第 7 天的 $669.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到第 14 天的 $1\ 270.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 其次是 AL 处理, 从第 7 天的 $503.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到第 14 天的 $979.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 再次是 ANP 处理, 从第 7 天的 $296.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 $800.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 然后是 AS 处理, 从 $321.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 $706.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 最后是 AP 处理从 $296.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 $592.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。 14 d 时, AM、AL、ANP、

AS、AP 处理, 土壤微生物生物量 C 分别是 A 处理的 $5.3、4.0、3.3、2.9、2.5$ 倍。 $14\sim 28\text{ d}$ 微生物生物量 C 基本呈下降趋势, 28 d 后微生物生物量 C 变化较小。至培养试验结束时, 加入有机或无机物质的处理微生物生物量 C 依然高于 A 处理和 CK。在整个培养过程中, 不同处理对土壤微生物生物量碳的影响顺序为: $\text{AM} > \text{AL} > \text{AS} > \text{ANP} > \text{AP} > \text{CK} > \text{A}$ 。与空白对照相比, AM、AL、AS、ANP 和 AP 处理微生物生物量碳分别平均增加了 $442.7、245.8、141.6、100.5、58.24\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 而 A 处理平均降低了 $56.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

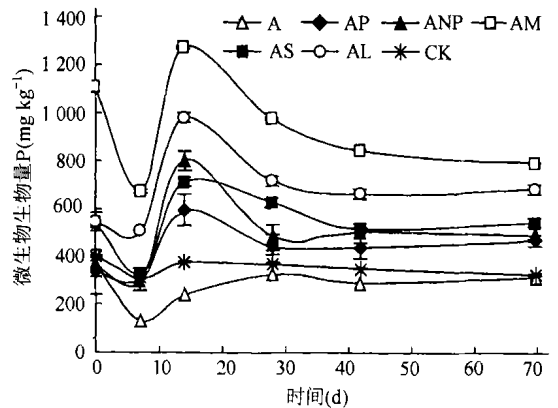


图 1 不同处理中微生物生物量 C 的动态变化

2.2 添加阿特拉津土壤微生物生物量 P 对外源有机无机物质的响应

与微生物生物量 C 相比, 土壤微生物生物量 P 对外源有机或无机物质的响应更复杂一些(图 2)。方差分析结果表明, 不同处理之间对微生物生物量

P 的影响差异显著 ($p < 0.01$), 并且这种影响随培养时间不同而变化。除 AL 处理外, 其余处理在培养后 7 d 土壤微生物生物量 P 呈下降趋势, 但第 7 天, 加入营养物质的土壤微生物生物量 P 仍然高于 CK 和 A 处理。在 7~14 d 微生物生物量 P 迅速增加, 14 d 时添加有机物的处理微生物生物量 P 明显高于添加化肥的处理, 在添加有机物料的处理中 AM 处理土壤微生物生物量 P 极显著 ($p < 0.01$) 高于 AL、AS 处理。14 d 后微生物生物量 P 又下降, 28 d 后变化不大。在整个培养过程中, 不同处理对土壤微生物生物量 P 的影响顺序为: AM > AL > AS > AP > ANP > CK > A。与 A 处理相比, AM、AL、AS、AP 和 ANP 处理土壤微生物生物量 P 分别平均增加了 20.5、11.7、7.1、6.9、6.3 和 4.7 mg kg^{-1} 。与 CK 相比, AM、AL、AS、AP 和 ANP 分别平均增加了 15.8、7.0、2.4、2.2、1.6 mg kg^{-1} , 而 A 处理平均降低了 4.7 mg kg^{-1} 。不同化肥的处理之间差异不显著 ($p > 0.05$)。

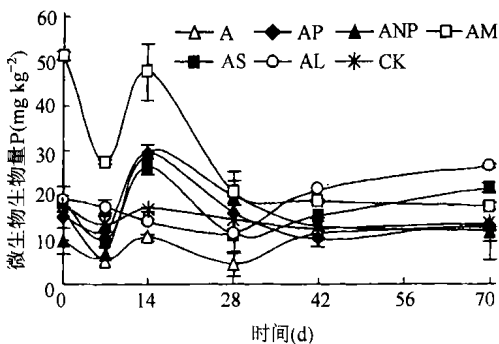


图 2 不同处理中微生物生物量 P 的动态变化

3 讨论

土壤微生物生物量 C、P 是反映土壤微生物活性的很重要的指标。图 1、图 2 结果表明, 在最初培养 7 d, 土壤微生物生物量 C、P 均明显降低, 这与阿特拉津对微生物的毒性有关, 较高浓度的阿特拉津降低了土壤微生物的活性。添加有机或无机物料的土壤中, 微生物生物量 C、P 均高于 CK 和 A 处理, 与空白对照比较, 在整个培养过程中, AM、AL、AS、ANP 和 AP 处理土壤微生物生物量 C 分别平均增加了 163.6%、90.8%、52.3%、37.1%、21.5%, 而 A 处理则平均降低了 20.8%。AM、AL、AS、AP 和 ANP 处理土壤微生物生物量 P 分别平均增加了 107.2%、47.7%、16.6%、14.9%、10.9%, 而 A 处理则平均降

低了 31.8%。这表明有机无机物质对减缓甚至消除阿特拉津对土壤微生物的毒害起作用。土壤中添加有机物料可以加速阿特拉津的降解作用^[11], Hance 认为加入有机物质可以激活微生物的活性, 从而使微生物共代谢作用加强^[12]。阿特拉津降解后, 其生物毒性也随之降低^[13]。本研究中, 土壤微生物生物量 C 在 14 d 达到高峰, 不同处理对土壤微生物生物量 C 的影响顺序为 AM > AL > ANP > AS > AP。除 AL 处理外, 土壤微生物生物量 P 也是在第 14 天达到最大值, 但影响顺序有所不同, 为 AM > AL > AS > AP > ANP。加入腐熟猪粪的处理中微生物量磷最高与腐熟猪粪含磷量高且易于分解有关。即使长期单施化肥, 土壤微生物生物量 C、P 也有较大幅度的增加, 究其原因可能是施用无机肥后促进了微生物的生长繁殖和增加了其对磷的同化固定。沈宏等^[14]研究了施肥对不同农田土壤微生物活性的影响, 结果表明, 施肥均提高了土壤微生物生物量, 其中影响顺序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。王艳等^[5]研究结果表明, 有机物料施入污染土壤后, 土壤微生物生物量碳在第 3 天即达到高峰, 土壤微生物生物量磷在第 10 天达到高峰。这些报道与我们的结果是相吻合的。加入紫云英的处理, 微生物生物量 P 在培养后 28 d 降到最低, 28 d 后逐步上升, 至培养结束时还在上升, 这也许是由于紫云英在培养条件下分解释放出大量有机酸, 从而降低了土壤 pH 值(本研究在取样测定微生物生物量同时测定了土壤的 pH 值, 在 0~28 d, AL 处理 pH 降低 1~2 个 pH 单位)。何振立等^[14]研究比较了氯仿熏蒸后用 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃ 和 H₄F-HCl 提取的微生物生物量 P, 结果表明较低土壤 pH 时, 用 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃ 提取测定的土壤微生物生物量 P 较低。他认为一方面在较低土壤 pH 时, 土壤微生物活性降低或者部分微生物可能被杀死; 另一方面, 较低 pH 时 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃ 可提取的无机磷可能降低。

不同的有机物质由于组成不同, 特别是 C/N 比的不同, 微生物的可利用性不同, 在土壤中的分解、转化也各具其特点。腐熟猪粪和紫云英的 C/N 比较低, 更利于微生物分解利用, 一部分转化为 CO₂, 另一部分转化为土壤微生物生物量, 以及其它的代谢产物。所以加入腐熟猪粪和紫云英的处理, 微生物量 C、P 均高于其它处理。此外, 腐熟猪粪本身也含有大量微生物, 在适宜的环境中大量生长繁殖, 所以, 施用腐熟猪粪的处理中微生物生物量 C、P

极显著高于其他处理。而水稻秸秆 C/N 比较高,其矿化速率显著低于前两者,对土壤微生物生物量的影响在前期相对较小,但随着时间的延续,有增加的趋势。以一定 N:P 比施用化肥的处理,土壤微生物生物量碳比单施 P 肥的处理高,并且初始增加较快,甚至比 AS 处理增加的还快,但 AP 和 ANP 处理微生物生物量 P 差异不显著。由此可见在生产实践中可以通过施用有机、无机肥来提高污染土壤土著微生物的活性,从而可以在原位有效地快速修复被污染的土壤。

参 考 文 献

- [1] Lovell R J S, Bandgett R. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: Effects of management changes. *Soil Bio. Biochem.*, 1995, 27: 969~ 975
- [2] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境 III. 土壤质量评价的生物学指标. *土壤*, 1997, 5: 225~ 234. Sun B, Zhao Q G, Zhang T L, *et al.* Soil quality and sustainable environment III. The biological indicators for assessing soil quality (In Chinese). *Soils*, 1997, 5: 225~ 234
- [3] Ladd J N, *et al.* Agronomic practice and soil microbial biomass. *Soil Bio. Biochem.*, 1994, 26(7): 821~ 831
- [4] Kanazawa S, Asakawa S, Takia Y. Effect of fertilizer and manure application on microbial numbers, biomass, and enzyme activities in volcanic ash soils: I. Microbial numbers and biomass carbon. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1988, 34(3): 429~ 439
- [5] 王艳, 孙杰, 吴金水, 等. 有机物料对污染土壤微生物生物碳和磷的影响. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(3): 300~ 305. Wang Y, Sun J, Wu J S, *et al.* Effect of organic amendments on microbial biomass carbon and phosphorus in contaminated soil (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(3): 300~ 305
- [6] O' Donnell A G, Wu J, Syers J K. Sulphate-S amendments in soil and their effect on the transformation of soil sulphur. *Soil Biol. and Biochem.*, 1994, 26: 1 507~ 1 514
- [7] Baath E. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and population. *Water, Air and Soil Pollution*, 1989, 47: 335~ 379
- [8] Perucci P, Dumontet S, Bufo S A, *et al.* Effects of organic amendment and herbicide treatment on soil microbial biomass. *Biol. Fertil. Soils*, 2000, 32: 17~ 23
- [9] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, *et al.* Measurement of soil microbial biomass by fumigation-extraction—An automated procedure. *Soil Biol. and Biochem.*, 1990, 22: 1 167~ 1 169
- [10] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1982, 14: 319~ 329
- [11] Topp E, Tessier L, Gregorich E G. Dairy manure incorporation stimulates rapid atrazine mineralization in an agricultural soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 1996, 76(3): 403~ 409
- [12] Hance H J. The effect of nutrients on the decomposition of the herbicides atrazine and linuron incubated with soil. *Pesticide Science*, 1973, 4: 817~ 822
- [13] 弓爱君, 叶常明. 除草剂阿特拉津 (Atrazine) 的环境行为综述. *环境科学进展*, 1997, 5(2): 37~ 47. Gong A J, Ye C M. A review on the environmental fates of atrazine (In Chinese). *Advance in Environmental Science*, 1997, 5(2): 37~ 47
- [14] He Z L, O' Donnell A G, Syers J K. Measurement of soil microbial biomass phosphorus in acid soils using CHCl_3 fumigation and $\text{H}_4\text{F-HCl}$ extraction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2000, 64: 1 976~ 1 983