

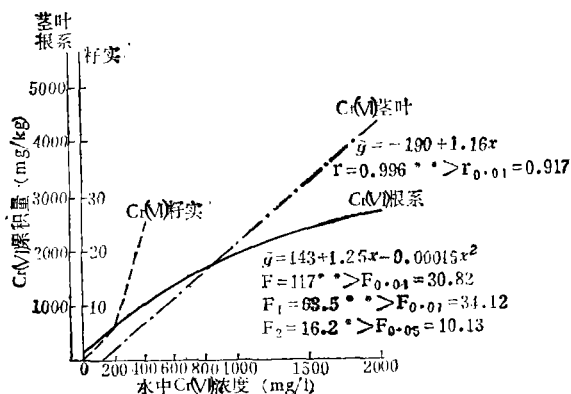


图 5 Cr(VI) 在油菜各器官中的积累

量接近  $900 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 茎叶中铬的积累量已大大超过根系中的含铬量, 这可能与在较高浓度的 Cr(VI) 环境中根系受到严重伤害, 因而其对 Cr(VI) 进入植物体内的保护性生理机制失去作用和  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  能在体内运输有关。值得注意的是, 受铬危害的油菜根系比籽实含铬量高 45—320 倍, 而对照处理不论其土壤有机质含量多少, 籽实中均未检出铬 (表 4)。

若从菠菜、芹菜、大青菜、黑油菜和葱 5 种叶菜类蔬菜的食用部分分析, 污染区蔬菜铬含量的平均值为  $0.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 是对照区这 5 种蔬菜含铬量平均值  $0.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  的

3.2 倍。虽然因我国尚无蔬菜含铬标准, 无法判断野狐庄附近蔬菜受铬污染的程度, 但是经常食用含铬量是一般蔬菜 3 倍以上的蔬菜, 对人体健康的影响是值得进一步研究的。

综上所述, 野狐庄附近的浅层地下水、耕层土壤和农作物均已受铬的污染, 因此部分浅井水既不宜用于灌溉, 更不宜饮用; 另一部分浅井水虽尚可用于灌溉但也不宜饮用。开采利用该地区的深井水将是解决灌溉用水和饮水的最好措施。已被污染的耕层土壤则以增加有机质的措施, 诸如施农家肥、稻秆还田、绿肥翻耕等对减轻铬的危害效果较佳。种植茄子、辣椒、甘蓝等对铬污染抗性较强的作物也是可取的。当然, 化学试剂厂改变含铬废渣的排放方式则是消除野狐庄附近铬污染的治本措施。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤所, 土壤和植物中微量元素分析方法, 科学出版社, 1979 年。
- [2] 中国科学院南京土壤所, 土壤理化分析, 上海科技出版社, 1978 年。
- [3] Bartlett, R. J., and Kimble, J. M., *J. Environ. Qual.*, **5**(4), 384(1976).
- [4] 中国科学院地理所, 中国环境科学, (1)19, (1982).
- [5] 曹仁林等, 农业环境保护, (3), 15(1982).
- [6] 郑泽群等, 西北农学院学报, (4), 84(1984).

## 砷、镉、铅对土壤酶活性的影响

谢思琴 顾宗濂 吴留松

(中国科学院南京土壤研究所)

### 前 言

土壤酶活性是探讨生物对重金属污染影响有前途的研究方法, 它能详细地阐明重金属离子对物质分解过程的影响。国外关于重金属对土壤酶影响的报告时有所见。Tyler, G.<sup>[1]</sup> 以铜、锌污染的云杉粗腐植土研究了铜

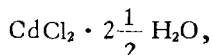
和锌对脲酶、酸性磷酸酶和  $\beta$ -葡萄糖苷酶活性的影响。Cole, M. A.<sup>[2]</sup> 报道在给土壤加富淀粉或麦芽糖的同时添加  $\text{Pb}^{+2}$ , 可使淀粉酶和  $\beta$ -葡萄糖苷酶的合成受到抑制。国内有关这方面的资料极少。本试验研究了砷、镉、铅对六种土壤水解酶的影响。这些酶为蛋白酶、磷酸-酯酶、脲酶、蔗糖酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶和

淀粉酶。本试验的目的是探讨土壤添加砷、镉、铅浓度与上述多种土壤酶活性的相关性。为确定三元素的土壤环境容量提供依据,同时试图找出对砷、镉、铅敏感的酶以作重金属污染的指标。

## 材料和方法

### 一、土壤处理

1. 于江西省全南县未被镉、砷污染的红壤地区采集土壤,经过风干混合后,分成若干份,按镉的系列浓度: 0, 1, 3, 5, 7, 10, 30, 60, 100, 160(mg/kg 土),添加



拌匀装盆,每盆装 3kg 土。

2. 同上来源的土壤,按砷的系列浓度: 0, 4, 8, 12, 16, 20, 40, 80, 160(mg/kg 土),

添加  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ , 拌匀装盆,每盆装 3kg 土。

3. 于湖南省临湘县未被铅污染的红壤地区采集红壤性水稻土,风干混匀后分成若干份,按铅的系列浓度: 0, 250, 500, 700, 1000, 2000, 3000, 4000(mg/kg 土),添加  $\text{PbCl}_2$ , 拌匀装盆,每盆装 6kg 土。

每种金属各浓度均设三个重复。在各盆装土内栽插早稻,每盆栽插三株,按盆栽水稻技术常规水肥管理。在水稻分蘖期采集土样,于盆栽表层 0—3cm、离植株 2 cm 左右采样,经风干、磨碎、过筛(2 毫米孔径),剔除砂砾、杂草和植物根,混匀备用。

### 二、土壤酶活性测定

土壤酶的种类很多,本试验只选择了六种对土壤生化过程起重要作用并估计可能对铅、镉、砷敏感的酶进行测试。土壤酶活性测

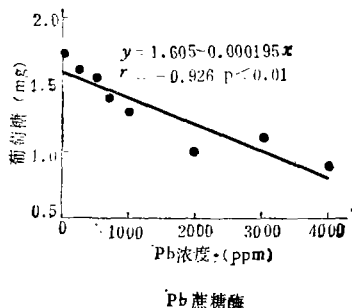
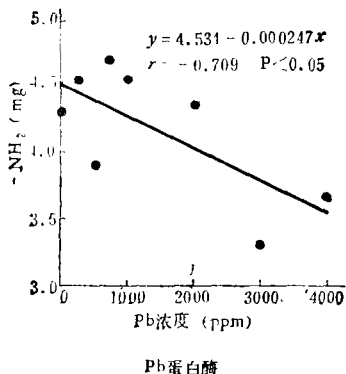
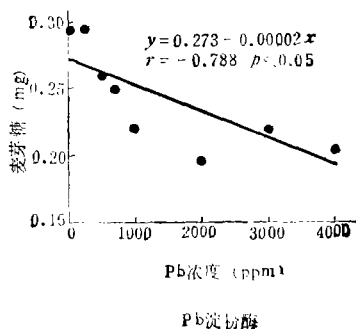
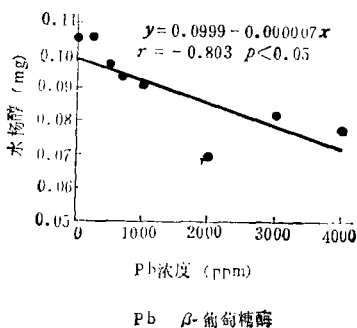


图1 酶活性与土壤添加 Pb 浓度呈显著高度负相关的土壤酶

定一律采用比色法:蛋白酶活性测定用 G. Hoffmann 与 K. Teicher 法<sup>[3]</sup>;蔗糖酶、淀粉酶活性测定均采用 T. A. Илербакова 法<sup>[3]</sup>;β-葡萄糖苷酶活性测定用 G. Hoffmann 与 M. Dedeken 法<sup>[3]</sup>;脲酶活性测定用 G. Hoffmann 与 K. Teicher 法<sup>[3]</sup>;磷酸-酯酶活性测定用 H. T. Rogers 法<sup>[3]</sup>. 测定时,蔗糖酶(37℃)培养 24 小时,β-葡萄糖苷酶培养 5 小时,脲酶培养 5 小时,其它测定时的温度、pH、时间均按上述介绍的方法中规定的进行。

蛋白酶活性,以 20 小时后 1 克土壤中氨基氮的毫克数表示。

蔗糖酶活性,以 24 小时后 1 克土壤中葡萄糖的毫克数表示。

淀粉酶活性,以 24 小时后 1 克土壤中麦芽糖的毫克数表示。

β-葡萄糖苷酶的活性,以 5 小时后 1 克土壤中水杨醇的毫克数表示。

脲酶的活性,以 5 小时后 1 克土壤中氨态氮的毫克数表示。

磷酸-酯酶活性,以 20 小时后 1 克土壤解脱出来的  $\text{PO}_4^{3-}$  的微克数表示。

对以上诸酶活性进行数理统计时,为方便起见,均以每小时每克土壤中酶促生成物的毫克数表示。

蛋白酶用靛青溶液显色法;蔗糖酶、淀粉酶均用 3,5-二硝基水杨酸显色法;β-葡萄糖苷酶用 2,6-氯替二溴对苯醌亚胺显色法;磷酸-酯酶用钼酸铵显色法<sup>[3]</sup>。

## 结果和讨论

一、在土壤盆栽水稻分蘖期,酶活与添加 Pb 浓度呈显著高度负相关的有:蛋白酶、蔗糖酶、β-葡萄糖苷酶、淀粉酶(图 1)。它们的相关系数  $r$  值在  $-0.709 \sim -0.925$  之间,其机率  $P$  值小于百分之五甚至小于百分之一。这一结果表明,随着添加 Pb 浓度的增加,蛋白酶、蔗糖酶、β-葡萄糖苷酶、淀粉酶的活性降低。Pb 浓度在 0—4000ppm 范围内,蛋白

酶的活性降低了 21.79%,蔗糖酶的活性降低了 48.6%,β-葡萄糖苷酶的活性降低了 28.1%,淀粉酶的活性降低了 29.3%,显示了 Pb 在此浓度范围内对蛋白酶、蔗糖酶、β-葡萄糖苷酶、淀粉酶的活性均有不同程度的抑制作用。

酶活与添加金属浓度呈显著高度正相关的有:脲酶—Cd、Pb,淀粉酶—Cd(图 2)。它们的相关系数  $r$  值为  $0.838 \sim 0.939$ ,其机率  $P$  值均小于 0.01。Cd 浓度在 0—160ppm 范围内,脲酶活性增强了 84.8%,淀粉酶活性增

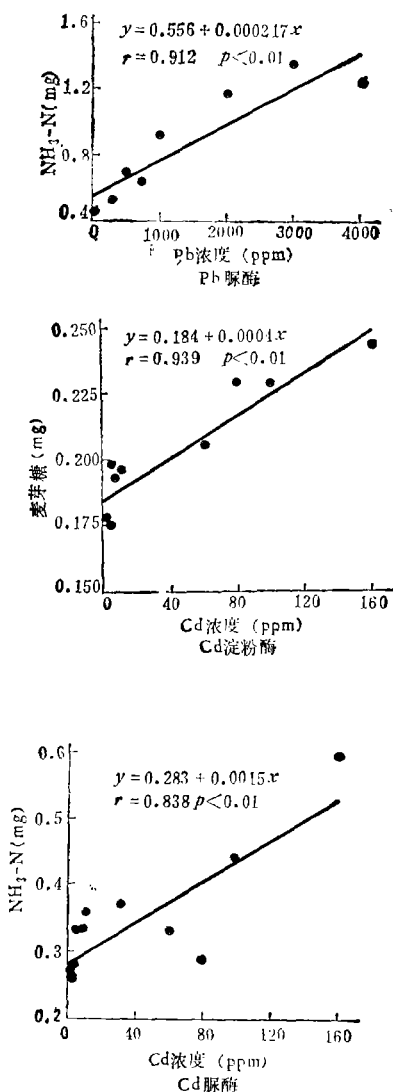


图 2 酶活性与土壤添加金属浓度呈显著高度正相关的土壤酶

表 1 土壤添加金属对酶活影响浓度范围

| 酶 类            | Cd(0—160ppm) |      | As(0—160ppm) |        | Pb(0—4000ppm) |           |
|----------------|--------------|------|--------------|--------|---------------|-----------|
|                | 显著抑制         | 显著刺激 | 显著抑制         | 显著刺激   | 显著抑制          | 显著刺激      |
| 蛋白酶            | 160          | 无    | 无            | 无      | 无             | 无         |
| 脲酶             | 无            | 160  | 无            | 无      | 无             | 1000—4000 |
| 磷酸-酯酶          | 无            | 无    | 无            | 80—160 | 无             | 无         |
| 淀粉酶            | 无            | 无    | 无            | 无      | 1000—4000     | 无         |
| 蔗糖酶            | 无            | 无    | 无            | 无      | 1000—4000     | 无         |
| $\beta$ -葡萄糖苷酶 | 无            | 无    | 无            | 无      | 700—4000      | 无         |

强了 34.78%。Pb 浓度在 0—4000ppm 范围内,脲酶的活性增强了 156%。可见在供试浓度范围内,Cd 对脲酶和淀粉酶、Pb 对脲酶的活性均具有不同程度的刺激作用。

蛋白酶、磷酸-酯酶、蔗糖酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶的活性与 Cd 浓度无相关性;前述六种土壤水解酶的活性与 As 浓度之间也无相关性或相关不显著;磷酸-酯酶的活性与 Pb 浓度也无相关性。它们的相关系数  $r$  的绝对值在 0.02~0.65 之间,且  $P$  值均大于 0.05。

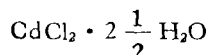
二、为了进一步评价不同添加浓度下 Cd、As、Pb 对土壤酶活性的影响,根据公式:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$$

求出各元素的某一组处理平均值与对照平均

值的差异显著系数,找出  $P$  小于 5% 时的“显著刺激”或“显著抑制”浓度范围,结果见表 1。从表 1 可以看出,Pb 浓度为 700~4000ppm, $\beta$ -葡萄糖苷酶显著受抑制;Pb 浓度为 1000~4000ppm,淀粉酶、蔗糖酶显著受抑,而脲酶显著激活。Cd 浓度为 160ppm,蛋白酶显著受抑,而脲酶显著受刺激。

三、本试验还研究了自然土壤中重金属元素对土壤酶的影响。原来预料在自然土壤中,由于没有植物根系、根系分泌物和根际微生物等种种影响,土壤酶对金属离子的敏感性应高于水稻盆栽土壤,然而事实并不存在这一规律,而是情况各异。以  $PbCl_2$  和



为例,在盆栽土壤内(水稻分蘖期),添加 Pb

表 2 盆栽土与自然土中添加金属对酶活影响

| 酶 类            | Cd     |       |        |       | Pb     |       |        |       |
|----------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                | 盆 栽 土  |       | 自 然 土  |       | 盆 栽 土  |       | 自 然 土  |       |
|                | 相关系数   | 高度相关性 | 相关系数   | 高度相关性 | 相关系数   | 高度相关性 | 相关系数   | 高度相关性 |
| 蛋白酶            | -0.272 | 无     | -0.703 | 负     | -0.709 | 负     | -0.737 | 负     |
| 蔗糖酶            | 0.184  | 无     | 0.806  | 正     | -0.925 | 负     | 0.418  | 无     |
| $\beta$ -葡萄糖苷酶 | 0.04   | 无     | -0.262 | 无     | -0.803 | 负     | -0.499 | 无     |
| 淀粉酶            | 0.939  | 正     | 0.079  | 无     | -0.787 | 负     | 0.633  | 无     |
| 磷酸-酯酶          | 0.016  | 无     | -0.857 | 负     | -0.429 | 无     | —      | —     |
| 脲酶             | 0.838  | 正     | -0.82  | 负     | 0.912  | 正     | -0.063 | 无     |

注:  $|r| = 0.66 \sim 1$  属高度相关。

表 3 不同溶解度的盐对土壤酶活的影响

| 酶 类            | 化合物<br>相关性 | PbCl <sub>2</sub> |       | Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> |       |
|----------------|------------|-------------------|-------|-----------------------------------|-------|
|                |            | 相关系数              | 高度相关性 | 相关系数                              | 高度相关性 |
| 蛋白酶            |            | -0.737            | 负     | -0.96                             | 负     |
| 淀粉酶            |            | 0.633             | 无     | -0.962                            | 负     |
| 磷酸-酯酶          |            | —                 | —     | -0.93                             | 负     |
| 脲酶             |            | -0.063            | 无     | -0.723                            | 负     |
| $\beta$ -葡萄糖苷酶 |            | -0.499            | 无     | -0.445                            | 无     |
| 蔗糖酶            |            | 0.418             | 无     | 0.933                             | 正     |

注: Pb 浓度为 0--4000ppm

浓度与蛋白酶、蔗糖酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶、淀粉酶的活性呈显著高度负相关,而自然土壤内添加 Pb 浓度仅与蛋白酶活性呈显著高度负相关,所以相比之下,盆栽土壤中酶似乎比自然土壤中酶对 Pb 更为敏感。然而,Cd 正好相反,自然土壤中添加 Cd 浓度与蛋白酶、磷酸-酯酶、脲酶的活性呈显著高度负相关,而盆栽土壤中,六种酶对添加 Cd 均不敏感,甚至对脲酶和淀粉酶还显示刺激作用,见表 2。

四、在自然土壤中,还研究了金属盐类的溶解度对酶活的影响。结果表明,金属盐类的溶解度对酶活有很大的影响。同一种金属盐类,溶解度大的对酶毒性强。以 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 PbCl<sub>2</sub> 为例(表 3),易溶的 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 浓度与蛋白酶、脲酶、淀粉酶的活性呈显著高度负相关,其相关系数  $r$  值为 -0.723~-0.962,其  $P$  值小于 5% 或 1%,而几乎不溶的 PbCl<sub>2</sub> 仅对蛋白酶活性呈显著高度负相关。

## 结 语

在供试金属浓度范围内,土壤盆栽水稻分蘖期,蛋白酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶、淀粉酶的活性与添加 Pb 浓度呈显著高度负相关。脲酶与 Cd、Pb 和淀粉酶与 Cd 之间,酶活与添加金属浓度呈显著高度正相关。蛋白酶、磷酸-

酯酶、蔗糖酶、 $\beta$ -葡萄糖苷酶与 Cd,磷酸-酯酶与 Pb,六种酶与 As 之间,酶活与金属离子浓度无相关性或相关不显著。自然土壤中,酶对金属离子的敏感性并不一定高于水稻盆栽土壤,而是情况各异。同种金属元素不同溶解度的盐对酶活有很大的影响,溶解度大的对酶毒性强。

由上可见,试验的六种土壤水解酶中,尚未找到一种酶对添加 Pb、Cd、As 均显示敏感,且酶活与金属浓度均呈显著高度负相关的。唯有一种元素对一种酶即 Pb 对蛋白酶,无论在盆栽土或自然土内,无论是 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 还是 PbCl<sub>2</sub> 形态,均显示抑制作用,蛋白酶活性与 Pb 浓度呈显著高度负相关,其相关系数为 -0.709~-0.96,  $P$  值小于百分之五或百分之一。至于有的金属化合物在盆栽下对酶的毒性比自然土内对酶的毒性大,而另一种金属化合物则与此相反,有的酶对金属离子敏感,有的酶甚至还显示受刺激,所有这些现象的实质尚待进一步探讨。

## 参 考 文 献

- [1] Tyler, G., Plant and Soil, **41**, 303 (1974).
- [2] Cole, M. A., Appl. Environ. Microbiol., **33**, 262 (1977).
- [3] Ф. X. 哈兹耶夫 (郑洪元等译), 土壤酶活性, 第 49—122 页, 科学出版社, 1980.