

# 生态环境条件对土壤磷酸酶的影响<sup>\*</sup>

和文祥<sup>1, 2</sup>, 蒋新<sup>1</sup>, 余贵芬<sup>1</sup>, 郎印海<sup>1</sup>

(1 中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

**[摘 要]** 对不同生态环境条件下3类磷酸酶活性的研究结果显示, 北方塿土和南方红壤的主导磷酸酶类分别是碱性磷酸酶和酸性磷酸酶, 占到总体酶活性的1/2~2/3, 杀虫双的加入及肥力条件的改变对此比例影响较小, 揭示出土壤生态条件对土壤磷酸酶特征具有决定性的影响; 在同一生态区, 土壤磷酸酶活性随肥力水平的升高而增大; 酸性磷酸酶对杀虫双的反应最敏感, 中性磷酸酶则最迟钝。

**[关键词]** 土壤磷酸酶; 酶活性; 生态环境条件

**[中图分类号]** S154.2

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2003)02-0081-03

土壤酶作为土壤重要的组成部分, 在营养物质转化、能量代谢、污染物的降解等方面发挥着十分重要的作用, 特别是在与生产实践密切相关的氮、磷等的循环中, 磷酸酶能转化有机磷为无机磷。在我国施用的农药品种中, 杀虫剂占70%, 有机磷类又占其中的70%, 一些有机磷农药被磷酸酶催化降解后, 毒性会降为母本化合物的0.5%~1.67%<sup>[1]</sup>。可见对磷酸酶的研究具有重要的理论和实践意义。

据酶促反应的最适pH值, 将磷酸酶<sup>[2]</sup>分为碱性、中性和酸性3类。近30年来, 国内外学者对土壤磷酸酶的性质、来源、存在状态及应用等进行了大量的研究<sup>[3~8]</sup>, 取得了不少有意义的结果, 但有关不同生态环境及农药污染等条件与土壤3类磷酸酶关系的报道较少。为此, 本试验拟对土壤磷酸酶与生态环境间的关系进行研究, 以期揭示其变化规律, 最终为

环境保护、土壤污染的修复和健康农产品的生产提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

土样采自西北农林科技大学资源环境学院于1977年开始的长期肥料定位试验地(1~3号土样)和江西鹰潭中国科学院红壤生态试验站耕地(4~6号土样)。采样时先去除0~5 cm土壤表层, 采集5~20 cm土样, 风干, 过1 mm筛, 保存备用。

杀虫双样由江苏省农药质量监测中心提供。

### 1.2 测定方法

常规方法<sup>[9]</sup>测定土壤理化性质, 其中测定pH值的水土质量比为2.5:1, 结果见表1, 并据理化性质将红壤划分为高、中、低3个肥力水平。

表1 供试土壤的理化性质

Table 1 The physico-chemical properties of soils tested

| 土壤<br>Soil        | 编号<br>No. | 肥力水平<br>Fertility level | 粘粒/%<br>Clay | 粉粒/%<br>Silt | 砂粒/%<br>Sand | 有机质/<br>(g·kg <sup>-1</sup> )<br>O.M | 全氮/<br>(g·kg <sup>-1</sup> )<br>T.N | 全磷/<br>(g·kg <sup>-1</sup> )<br>T.P P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 阳离子<br>交换量/<br>(cmol·kg <sup>-1</sup> )<br>CEC | pH   |
|-------------------|-----------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------|
| 塿土<br>Lou<br>soil | 1         | 厩肥 Manure               | 17.5         | 76.0         | 6.5          | 27.70                                | 1.62                                | 2.51                                                              | 15.06                                          | 8.16 |
|                   | 2         | 化肥 Chemical fertilizer  | 19.4         | 72.3         | 8.3          | 19.30                                | 1.12                                | 1.97                                                              | 14.08                                          | 8.25 |
|                   | 3         | 无肥 Non-fertilizer       | 18.4         | 76.5         | 5.1          | 16.20                                | 0.75                                | 1.71                                                              | 13.24                                          | 8.48 |
| 红壤<br>Red<br>soil | 4         | 高肥 High fertility       | 37.0         | 43.6         | 19.4         | 13.30                                | 0.72                                | 1.48                                                              | 11.60                                          | 4.91 |
|                   | 5         | 中肥 Middle fertility     | 32.3         | 39.4         | 28.3         | 11.40                                | 0.67                                | 1.23                                                              | 10.10                                          | 5.07 |
|                   | 6         | 低肥 Low fertility        | 27.8         | 39.3         | 32.9         | 10.90                                | 0.59                                | 0.95                                                              | 8.56                                           | 5.53 |

注: 粘粒、粉粒和砂粒的粒径分别为<0.002, 0.002~0.050和>0.050 mm。

Note: Diameter of clay, silt and sand soil is <0.002, 0.002~0.050 and >0.050 mm respectively.

[收稿日期] 2002-03-18

[基金项目] 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-401); 国家重点基础研究发展规划项目(G1999011801-3)

[作者简介] 和文祥(1968-), 男, 陕西黄龙人, 副教授, 博士, 主要从事土壤生物化学和生态毒理学研究。E-mail: hewenxiang@sina.com.

### 1.3 试验方案

5 00 g 土样中加入 5 滴甲苯后, 添加 5 mL 不同质量分数(0.00, 0.10, 0.50, 1.00, 10.00, 50.00 g/kg)的杀虫双溶液, 混匀后 30 min, 加入 20 mL 不同 pH 值(9.8, 7.0 和 5.0)的缓冲液配制的磷酸苯二钠溶液, 37℃ 培养, 比色法<sup>[10]</sup>测定磷酸酶活性, 单位以形成的酚量表示。每处理重复 3 次, 并设无底物(磷酸苯二钠)和无土壤处理为对照。

## 2 结果与讨论

供试土壤 3 类磷酸酶活性见表 2。由表 2 可以

看出, 在相同条件下, 娄土 3 类磷酸酶活性呈现碱性 > 酸性 > 中性的规律性变化, 而红壤的为酸性 > 中性 > 碱性, 表明不同生态区土壤磷酸酶活性特征截然不同, 这主要是由于不同生态区的气候、降雨、成土因素等造成土壤中的生物长期处在不同的酸碱环境中, 导致不同生态区土壤中的微生物区系有明显差异, 最终影响到土壤酶活性特征。此外农药的加入和肥力的提高都未能改变土壤磷酸酶活性的顺序。

表 2 还显示, 只有在同一生态区中, 土壤磷酸酶活性才可以比较, 表现出酶活性随肥力水平升高而增大的变化规律。

表 2 供试土壤磷酸酶活性

Table 2 Phosphatase activity in soils tested

mg/(g · h)

| 编号<br>No. | 磷酸酶种类<br>Phosphatase type | 杀虫双浓度/(mg · kg <sup>-1</sup> ) Dinehyo concentration |        |        |        |        |        |
|-----------|---------------------------|------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           |                           | 0.00                                                 | 0.10   | 0.50   | 1.00   | 10.00  | 50.00  |
| 1         | 碱性 Alkaline               | 112.06                                               | 118.01 | 107.59 | 104.61 | 94.18  | 57.30  |
|           | 中性 Neutral                | 13.72                                                | 13.65  | 13.09  | 13.62  | 13.19  | 13.12  |
|           | 酸性 Acidic                 | 74.49                                                | 72.95  | 71.84  | 72.73  | 63.88  | 40.88  |
|           | 总和 Total                  | 200.27                                               | 204.61 | 192.51 | 190.95 | 171.25 | 111.31 |
| 2         | 碱性 Alkaline               | 81.32                                                | 75.57  | 73.36  | 75.13  | 69.82  | 41.07  |
|           | 中性 Neutral                | 7.21                                                 | 7.29   | 7.80   | 7.43   | 7.88   | 7.58   |
|           | 酸性 Acidic                 | 52.46                                                | 48.92  | 45.38  | 45.77  | 47.74  | 30.24  |
|           | 总和 Total                  | 140.99                                               | 131.78 | 126.54 | 128.33 | 125.44 | 78.89  |
| 3         | 碱性 Alkaline               | 71.04                                                | 68.15  | 66.86  | 67.83  | 68.47  | 35.98  |
|           | 中性 Neutral                | 5.91                                                 | 6.00   | 5.91   | 6.27   | 6.09   | 6.00   |
|           | 酸性 Acidic                 | 38.11                                                | 36.73  | 39.09  | 39.67  | 38.30  | 29.46  |
|           | 总和 Total                  | 115.06                                               | 110.88 | 111.86 | 113.77 | 112.86 | 71.44  |
| 4         | 碱性 Alkaline               | 8.30                                                 | 7.01   | 8.14   | 7.85   | 8.46   | 13.93  |
|           | 中性 Neutral                | 38.19                                                | 36.77  | 38.37  | 40.13  | 39.78  | 20.85  |
|           | 酸性 Acidic                 | 52.47                                                | 54.20  | 55.10  | 55.63  | 49.23  | 41.44  |
|           | 总和 Total                  | 98.96                                                | 97.98  | 101.60 | 103.61 | 97.47  | 76.22  |
| 5         | 碱性 Alkaline               | 4.73                                                 | 4.92   | 7.27   | 6.36   | 5.99   | 7.87   |
|           | 中性 Neutral                | 18.22                                                | 17.74  | 17.74  | 17.93  | 16.68  | 15.14  |
|           | 酸性 Acidic                 | 51.56                                                | 46.72  | 50.63  | 48.95  | 42.81  | 32.00  |
|           | 总和 Total                  | 74.51                                                | 69.38  | 75.64  | 73.24  | 65.48  | 55.01  |
| 6         | 碱性 Alkaline               | 1.98                                                 | 2.86   | 2.50   | 2.50   | 2.50   | 3.23   |
|           | 中性 Neutral                | 11.57                                                | 12.24  | 10.79  | 11.28  | 10.21  | 9.44   |
|           | 酸性 Acidic                 | 43.85                                                | 42.26  | 43.85  | 42.79  | 38.72  | 26.33  |
|           | 总和 Total                  | 57.40                                                | 57.36  | 57.14  | 56.57  | 51.43  | 39.00  |

随农药质量分数的增加, 不同生态区磷酸酶的响应有所差别: 北方娄土的碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性降低, 中性磷酸酶活性基本不变; 南方红壤的酸性磷酸酶活性减小, 碱性磷酸酶增加, 中性略有减低。反映出酸性磷酸酶显著地受到杀虫双的抑制作用, 该酶对杀虫双的反应较为敏感, 杀虫双对该酶的生态毒性也较强, 建议将其作为土壤受杀虫双污染程度的酶评价指标之一; 而中性磷酸酶的反应最迟钝。朱南文等<sup>[11]</sup>在乐果的试验中也得到类似的结论。

此外, 由于各种磷酸酶活性未表现出相关性, 而本质上 3 类磷酸酶是相对独立的, 故对它们相加, 即可得到在一定程度上表征供试土壤总体磷酸酶的活性值。表 2 显示娄土的总体酶活性大于红壤; 同一土壤类型中酶活性随肥力水平的增加而增大; 除个别处理外, 农药导致总体酶活性降低, 且二者达到了极显著负相关( $r \geq 0.935^{**}$ ), 揭示出杀虫双对土壤总体酶活性具有强烈地抑制作用, 即整体上减缓了有机磷转化的速度, 相应降低了土壤中磷的有效性。

为进一步了解 3 类磷酸酶间的关系, 计算并得

到 3 类磷酸酶在总体酶活性中所占的比例(表 3), 显示出娄土和红壤中占据第一位的酶类(本文称之为主导酶类)分别是碱性磷酸酶和酸性磷酸酶, 分别占 50.36%~61.74% 和 50.51%~76.74%, 约为 1/2~2/3; 两生态区娄土和红壤中, 碱性、酸性、中性酶活性比分别为(7.11~10.06) : (4.68~6.01) : 1 和 1 : (5.53~14.67) : (2.73~4.10), 两生态区活性最低的酶分别是中性磷酸酶和碱性磷酸酶, 比例均不超过 1/10。揭示出土壤生态条件对土壤酶特征(酶种类及比例等)具有决定性影响。笔者<sup>[12]</sup>对土壤脲酶的研究也得出类似的结论。

表 3 供试土壤磷酸酶总活性构成中各种磷酸酶所占的比例

| Table 3 The constituting percentage of total phosphatase activity |                           |                                                     |       |       |       |       |       | %                    |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| 编号<br>No.                                                         | 磷酸酶种类<br>Phosphatase type | 杀虫双浓度/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Dimehypo concentration |       |       |       |       |       | 平均值<br>Average value |
|                                                                   |                           | 0.00                                                | 0.10  | 0.50  | 1.00  | 10.00 | 50.00 |                      |
| 1                                                                 | 碱性 Alkaline               | 55.95                                               | 57.67 | 55.85 | 57.78 | 54.99 | 51.48 | 55.62                |
|                                                                   | 中性 Neutral                | 6.85                                                | 6.67  | 6.80  | 7.13  | 7.70  | 11.79 | 7.82                 |
|                                                                   | 酸性 Acidic                 | 37.20                                               | 35.66 | 37.35 | 38.09 | 37.31 | 36.73 | 36.56                |
| 2                                                                 | 碱性 Alkaline               | 57.68                                               | 57.35 | 57.97 | 58.54 | 55.66 | 52.06 | 56.54                |
|                                                                   | 中性 Neutral                | 5.12                                                | 5.53  | 6.17  | 5.79  | 6.28  | 9.61  | 6.42                 |
|                                                                   | 酸性 Acidic                 | 37.21                                               | 37.12 | 35.86 | 35.67 | 38.06 | 38.33 | 37.04                |
| 3                                                                 | 碱性 Alkaline               | 61.74                                               | 61.46 | 59.77 | 59.61 | 60.67 | 50.36 | 58.94                |
|                                                                   | 中性 Neutral                | 5.14                                                | 5.41  | 5.29  | 5.51  | 5.39  | 8.40  | 5.86                 |
|                                                                   | 酸性 Acidic                 | 33.12                                               | 33.13 | 34.94 | 34.88 | 33.94 | 41.24 | 35.20                |
| 4                                                                 | 碱性 Alkaline               | 8.39                                                | 7.15  | 8.01  | 7.58  | 8.68  | 18.28 | 9.68                 |
|                                                                   | 中性 Neutral                | 38.59                                               | 37.53 | 37.76 | 38.74 | 40.81 | 27.36 | 36.80                |
|                                                                   | 酸性 Acidic                 | 53.02                                               | 55.32 | 54.23 | 53.69 | 50.51 | 54.37 | 53.52                |
| 5                                                                 | 碱性 Alkaline               | 6.34                                                | 7.10  | 9.61  | 8.68  | 9.16  | 14.30 | 9.20                 |
|                                                                   | 中性 Neutral                | 24.46                                               | 25.57 | 23.46 | 24.49 | 25.47 | 27.52 | 25.16                |
|                                                                   | 酸性 Acidic                 | 69.20                                               | 67.33 | 66.93 | 66.83 | 65.37 | 58.18 | 65.64                |
| 6                                                                 | 碱性 Alkaline               | 3.45                                                | 4.99  | 4.37  | 4.41  | 4.85  | 8.29  | 5.06                 |
|                                                                   | 中性 Neutral                | 20.15                                               | 21.34 | 18.89 | 19.93 | 19.86 | 24.21 | 20.73                |
|                                                                   | 酸性 Acidic                 | 76.40                                               | 73.67 | 76.74 | 75.65 | 75.29 | 67.50 | 74.21                |

随土壤肥力水平的提高, 娄土碱性磷酸酶活性所占比例减小, 红壤酸性磷酸酶活性所占比例增大, 这是由于肥力水平改变导致土壤总酶量增减不一致而引起的。杀虫双的加入对各种磷酸酶比例的影响较小, 进一步表明杀虫双仅对土壤中磷酸酶的活性起作用, 而对各种酶活性所占份额的作用微乎其微。

3 结 论

由以上分析可知, 生态条件对土壤磷酸酶活性及 3 类酶的比例具有决定性影响, 而农药杀虫双仅对活性值的大小有一定作用; 酸性磷酸酶活性可作为土壤受杀虫双污染程度的评价指标之一。

[参考文献]

[1] Nannipieri P, Bollag J M. Use of enzymes to detoxify pesticides-contaminated soils and waters[J]. J Environ Qual, 1991, 20: 510- 517.  
[2] Burns R G. Soil Enzyme[M]. New York: Academic Press Inc, 1978. 197- 250.  
[3] Banerjee M R, Burton D L, Depoe S. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 1997, 66(3): 241- 249.  
[4] Staddon W J, Duchesne L C, Trevors J T. Acid phosphate, alkaline phosphatase and arylsulfatase activities in soils from a jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) ecosystem after clear-cutting, prescribed burning, and scarification[J]. Biology & Fertility of Soils, 1998, 27(1): 1- 4.  
[5] Naseby D C, Moenne Loccoz Y, Powell J, et al. Soil enzyme activities in the rhizosphere of field-grown sugar beet inoculated with the bio-control agent *Pseudomonas fluorescens* F113[J]. Biology & Fertility of Soils, 1998, 27(1): 39- 43.  
[6] 和文祥, 蒋新, 卞永荣, 等. 杀虫双对土壤酶活性影响的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(1): 13- 17.  
[7] Bergstrom D W, Monreal C M, Millette J A, et al. Spatial dependence of soil enzyme activities along a slope[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(5): 1302- 1308.  
[8] Bergstrom D W, Monreal C M, Tomlin A D, et al. Interpretation of soil enzyme activities in a comparison of tillage practices along a topographic and textural gradient[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2000, 80(1): 71- 79.  
[9] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1982.  
[10] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1987. 309- 313.  
[11] 朱南文, 胡茂林. 果乐对土壤中酶活性和微生物数量的影响[J]. 上海环境科学, 1997, 16(4): 43- 45.  
[12] 和文祥, 朱铭. 陕西主要土壤脲酶活性与土壤肥力关系研究[J]. 土壤学报, 1997, 34(4): 392- 398.

(下转第 88 页)

## Kinetic characteristics and concerned factors of N<sub>2</sub>O emission in the orthic anthro soils

BAI Hong-ying, GENG Zeng-chao, ZHANG Yi-ping

(College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Kinetic characteristics of soil N<sub>2</sub>O emission with the mediate moisture (65% of the field capacity) and the concerned factors (N, P and the different soil depths) were studied in the fallow field of Orthic Anthro soils in the south of Loess Plateau. Results showed that the accumulated curves of N<sub>2</sub>O emission with the incubation time could be described by the revised Elovich equation of  $y = b \ln(t) + a$  in both the fertilized treatment and the checks. The initial reactive concentration ( $a$ ) and the apparent reactive rate ( $dy/dt$ ) largely increased with the increase of soil depths. The initial reactive concentration ( $a$ ) in the depth of 10 cm at 15 °C and the apparent reactive rate ( $dy/dt$ ) in the depth of 15 cm at 25 °C reaches the highest. N<sub>2</sub>O occurred mainly in the depth of 10~15 cm of the test soil with the increase of incubation temperature under the mediate soil moisture. The reduction effects of P fertilizer on the N<sub>2</sub>O emission were showed in the total amount of N<sub>2</sub>O emission and were reflected through the initial reactive concentration ( $a$ ) and the apparent reactive rate ( $dy/dt$ ).

**Key words:** accumulated amounts of soil N<sub>2</sub>O emission; kinetic characteristics; initial reactive concentration; apparent reactive rate ( $dy/dt$ )

(上接第 83 页)

## Influence of ecological-environmental conditions on soil phosphatase

HE Wen-xiang<sup>1,2</sup>, JIANG Xin<sup>1</sup>, YU Gui-fen<sup>1</sup>, LANG Yin-hai<sup>1</sup>

(1 Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, Jiangsu 210008, China;

2 College of Resource and Environmental Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Three kinds of soil phosphatase activities were studied under different ecological-environmental conditions. The results show as follows: the dominant enzyme in Lou soil and Red soil is alkaline and acidic phosphatase respectively, the ratio is from 1/2 to 2/3, it will not change with adding dimethypo and improving soil fertility. It suggests revealed that ecological environment has crucial effect on soil enzymatic characteristics. Soil enzyme activity increases with soil fertility among the same ecological zone. Acidic phosphatase is most sensitive to dimethypo; Neutral phosphatase was more bluntness to dimethypo.

**Key words:** soil phosphatase; enzyme activity; ecological environmental condition