

用通径分析法研究土壤水解酶活性 与土壤性质的关系

刘广深 徐冬梅 许中坚 王红宇 刘维屏
(浙江大学环境科学研究所, 杭州 310029)

摘 要 为正确评价土壤性质对酶活性的影响程度, 运用通径分析方法研究了浙江 5 种土壤 12 个样品中的土壤脲酶、转化酶、酸性磷酸酶活性与土壤性质的关系。结果表明: 土壤有机质、全氮、全磷是制约脲酶、转化酶和酸性磷酸酶活性的主要因素, 而阳离子交换量对三种酶活性的影响均很微弱; 就通径分析的直接效应而言, pH 对脲酶活性的影响最为显著, 对转化酶和酸性磷酸酶活性的影响程度大致相当。然而 pH 对脲酶、转化酶、酸性磷酸酶的这种直接效应在很大程度上被通过其它因素对三种酶的间接效应所抵消; 土壤粉粒对转化酶活性的作用尤为显著。此外, 粘粒对酸性磷酸酶、砂粒对脲酶有一定影响且均主要体现为直接效应。

关键词 脲酶, 转化酶, 酸性磷酸酶, 土壤性质, 通径分析
中图分类号 S158.3

作为土壤组分之一、以稳定蛋白质形态存在的土壤酶素有生物催化剂之称。它们参与包括土壤生物化学过程在内的自然界物质循环, 既是土壤有机物转化的执行者, 又是植物营养元素的活性库^[1]。土壤酶活性反映了土壤中进行的各种生物化学过程的强度和方向, 同时又具有与环境的统一性, 它们易受环境中物理、化学和生物因素的影响。因此, 土壤酶活性与土壤状况的关系历来为各国学者所关注, 所用的方法多见于简单相关、多元回归分析^[2~4]。但是简单相关不能全面考察变量间的相互关系, 使结果带有一定的片面性; 多元回归分析虽然在一定程度上能够消除变量之间的混淆, 能够真实地表现出各个自变量和因变量的关系, 但由于偏回归系数带有单位, 使原因对结果的效应不能直接进行比较。通径分析方法由于具有比相关和回归更为精确、对多变数资料的统计分析更符合实际的优点, 而被广泛应用于经济、土壤物理、遗传育种和作物栽培等许多领域当中。为此, 本文以在碳、氮、磷生物地球化学循环中起重要作用的土壤转化酶、脲酶、酸性磷酸酶为对象, 运用通径分析方法对浙江 5 种 12 个样品土壤性质与上述三种水解酶间的关系进行了研究, 为正确评价土壤性质对酶活性的影响提供了科学依据。

1 材料与与方法

1.1 供试土样

试验采用浙江 5 种主要土壤, 即: 水稻土 (Paddy soil)、山地红壤 (Mountain red earth)、黄壤 (Yellow earth)、湿地土 (Wetland soil) 和盐碱土 (Saline-alkali soil) 共 12 个样品, 理化性质见表 1。为了尽可能消除生物、环境等因素对土壤酶活性的影响, 在农闲时间同一季节、相同气候条件下集中取样, 对取样工具严格消毒。土壤样品带回实验室拣去植物根和杂物、阴干、过 20 目筛后放入消毒的培养皿中低温 (4℃) 保存备用。

1.2 测定方法

常规方法^[5~7]测定土壤理化性质; 脲酶、酸性磷酸酶活性用比色法测定, 转化酶活性用滴定法测定^[8,9]。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soil samples tested

| 土壤编号 No. of soil | 采样地点 Sampling site | 土壤类别 Type of soil | pH | 有机质 O. M. (g kg ⁻¹) | 全氮 Total N (g kg ⁻¹) | 全磷 Total P (g kg ⁻¹) | 阳离子交换量 CEC (cmol kg ⁻¹) | 土壤颗粒分布 Particle size distribution(%) | | |
|---------------------|-----------------------|----------------------|------|---------------------------------------|--|--|---|---|------------|------------|
| | | | | | | | | 黏粒 Clay | 粉粒 Silt | 砂粒 Sand |
| 1 | 临安城关 | 山地红壤 | 4.14 | 6.4 | 0.53 | 0.56 | 15.7 | 49.3 | 31.0 | 15.6 |
| 2 | 安吉蒋家村 | 山坡黄壤 | 4.61 | 38.5 | 2.14 | 1.02 | 10.9 | 23.7 | 34.6 | 35.8 |
| 3 | 安吉递铺 | 水稻土 | 4.79 | 28.5 | 1.89 | 0.98 | 6.4 | 25.4 | 40.8 | 29.3 |
| 4 | 德清武康 | 水稻土 | 4.90 | 40.0 | 2.4 | 1.02 | 12.4 | 28.9 | 53.5 | 11.3 |
| 5 | 临安高红 | 水稻土 | 4.99 | 36.0 | 2.11 | 0.78 | 10.2 | 19.6 | 47.3 | 27.6 |
| 6 | 德清对河口 | 山坡黄壤 | 5.23 | 2.5 | 0.18 | 0.52 | 34.6 | 25.3 | 32.6 | 37.1 |
| 7 | 杭州华家池 | 湿地土 | 6.40 | 28.0 | 1.72 | 1.16 | 16.5 | 14.0 | 68.2 | 13.4 |
| 8 | 余杭彭公 | 水稻土 | 6.66 | 34.0 | 1.87 | 2.02 | 11.8 | 20.6 | 43.6 | 30.4 |
| 9 | 安吉白水湾 | 水稻土 | 7.36 | 41.0 | 2.35 | 1.57 | 17.8 | 15.1 | 44.2 | 34.4 |
| 10 | 余杭石鸽 | 水稻土 | 7.67 | 39.5 | 1.95 | 2.57 | 30.0 | 37.8 | 48.2 | 6.1 |
| 11 | 萧山 | 盐碱土 | 8.34 | 11.0 | 0.71 | 0.62 | 9.3 | 7.60 | 78.4 | 4.0 |
| 12 | 上虞 | 盐碱土 | 8.42 | 7.1 | 0.50 | 0.45 | 3.2 | 9.70 | 83.8 | 4.4 |

1.3 通径分析的原理与方法

1.3.1 通径系数 1921年 Sewall Wright 首先提出通径系数(Path coefficient)的分析方法^[10, 11]。通径分析不仅能测定两变数间的相互关系, 而且还能给出原因对结果的重要性, 并将相关系数分解为直接作用和间接作用, 提示各个因素对结果的相对重要性。

对于一个相互关联的系统, 有一个因变量 y 与 n 个自变量 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 间存在线性关系, 回归方程为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

将实际观测值代入(1)式, 并用最小二乘法原理解方程组, 即可以求得通径系数 P_{yx_i} 。通径系数是变量标准化的偏回归系数, 表示各原因对结果的重要性。

式(1)通过数学变换, 可建立正规矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_n} \\ r_{x_2x_1} & 1 & \dots & r_{x_2x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{x_nx_1} & r_{x_nx_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{yx_1} \\ P_{yx_2} \\ \vdots \\ P_{yx_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{x_1y} \\ r_{x_2y} \\ \vdots \\ r_{x_ny} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $r_{x_ix_j}$ 为 x_i 和 x_j 的简单相关系数, r_{x_iy} 为 x_i 和 y 的简单相关系数。解方程(2)即可求得通径系数 P_{yx_i} 。 P_{yx_i} 即为:

$$P_{yx_i} = b_i \frac{\sigma_y}{\sigma_{x_i}}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中, b_i 即为 y 对 x_i 的偏回归系数, σ_{x_i} 、 σ_y 分别为 x_i 、 y 的标准差。 P_{yx_i} 表示 x_i 对 y 的直接通径系数, 用 $r_{x_ix_j}P_{yx_j}$ 表示 x_i 通过 x_j 对 y 的间接通径系数。而剩余项的通径系数 P_{y_e} 表示为: $P_{y_e} =$

$\sqrt{1 - (r_{x_1y}P_{yx_1} + r_{x_2y}P_{yx_2} + \dots + r_{x_ny}P_{yx_n})}$ 。若 P_{y_e} 数值较大, 则表明误差较大或者还有另外更重要的因素未考虑在内。

1.3.2 决定系数 决定系数是途径系数的平方, 即 $D_{yx_i} = (P_{yx_i})^2$, 分别表示原因对结果的相对决定程度。 $D_{yx_{ij}}$ 表示两相关原因共同对 y 的相对决定系数。当 $i = j$ 时, $D_{yx_{ij}} = (P_{yx_i})^2$; 而当 $i \neq j$ 时, $D_{yx_{ij}} = 2P_{yx_i} \cdot P_{yx_j} \cdot r_{x_ix_j}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n, i < j$)。

2 结果与讨论

2.1 土壤的脲酶、转化酶、酸性磷酸酶活性

图1~3表示了土壤三种水解酶活性的相对大小。由图可直观看出, 三种酶活性随土壤类别不同而呈现大致相同的变化规律。就土壤类别而言, 6种水稻土具有较大的酶活性, 其脲酶(以 $\text{NH}_3\text{-N}$

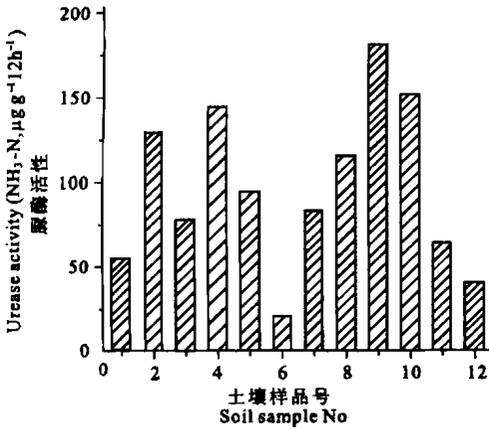


图1 土壤脲酶活性

Fig.1 Urease activities of soil samples tested

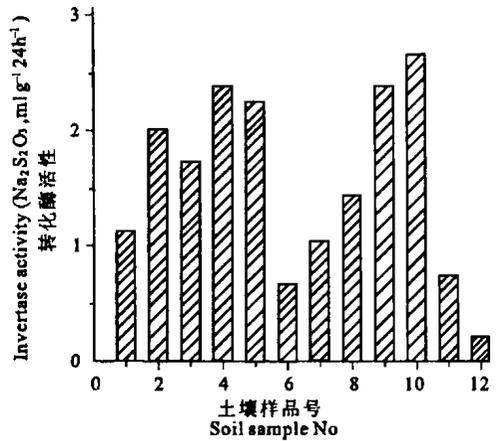


图2 土壤转化酶活性

Fig.2 Invertase activities of soil samples tested

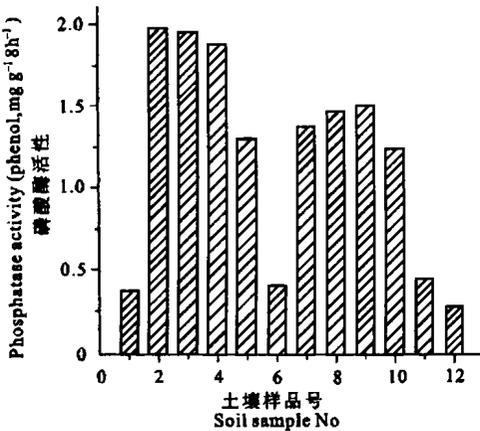


图3 土壤酸性磷酸酶活性

Fig.3 Phosphatase activities of soil samples tested

计)、转化酶(以硫代硫酸钠体积 ml 计)、酸性磷酸酶活性(以酚量计)变幅分别在 $84 \sim 203 \mu\text{g g}^{-1} 12 \text{h}^{-1}$ 、 $1.24 \sim 2.68 \text{ml g}^{-1} 24 \text{h}^{-1}$ 、 $1.24 \sim 1.96 \text{mg g}^{-1} 8 \text{h}^{-1}$ 范围内, 三种酶活性最高值分别出现于 9 号水稻土、10 号水稻土和 2 号山坡黄壤。相对而言, 红壤、黄壤(2 号黄壤除外)和盐碱土酶活性较弱, 脲酶、转化酶、酸性磷酸酶活性最低值分别出现于 6 号山坡黄壤、11 号盐性碱土和 12 号盐碱土上, 并且其值分别相当于供试土壤中同一种酶活性最高值的 10.2%、8.6%、15.2%。而 7 号湿地土的酶活性近似介于水稻土和红壤、黄壤、盐碱土之间, 其三种酶活性分别为 $78 \mu\text{g g}^{-1} 12 \text{h}^{-1}$ 、 $1.06 \text{ml g}^{-1} 24 \text{h}^{-1}$ 、 $1.38 \text{mg g}^{-1} 8 \text{h}^{-1}$, 分别相当于同一种酶活性最高值的 38.4%、39.6%、69.6%。

由此, 如按酶活性的相对大小对 12 个土样进行分类, 则以 7 号湿地土为分界点, 可将它们大体分为两大类: 2 号山坡黄壤和 6 种水稻土均归属于高酶活性, 而其余红壤、黄壤、盐碱土则为低酶活性。这两大类土壤的酶活性相差较大。这一结果恰与各土壤的肥力状况相吻合, 说明土壤肥力是制约酶活性的

关键因素,这是因为肥沃土壤中广泛分布着作为酶作用底物的碳、氮、磷源,有利于酶活性的提高。

2.2 水解酶活性与土壤理化性质的通径分析

2.2.1 土壤性质对三种水解酶的通径系数及决定系数 根据以上实验数据,得出各自变量即土壤 pH、有机质、全氮、全磷、CEC、黏粒(Clay)、粉粒(Silt)、砂粒(Sand)和因变量脲酶、转化酶、酸性磷酸酶活性间的相关系数如表 2 所示。

将表 2 数据代入方程 2,解方程可得直接通径系数,然后计算间接通径系数。通径系数计算结果如表 3,对角线上(有*号)的数据为直接通径系数,其余为间接通径系数。三种水解酶剩余项的通径系数分别为 0.214、0.148 和 0.270。表 4 为土壤性质对三种水解酶活性的决定系数(只列出前 10 位)。

表 2 土壤性质与水解酶各变量间的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between the physical and chemical properties and soil hydrolase

| 自变量 Independent variable | pH | 有机质 O. M. | 全氮 Total N | 全磷 Total P | CEC | 黏粒 Clay (%) | 粉粒 Silt (%) | 砂粒 Sand (%) | 脲酶活性 Urease activity | 转化酶活性 Invertase activity | 磷酸酶活性 Phosphatase activity |
|--------------------------------|----|--------------|------------------|------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| pH | 1 | -0.092 | -0.163 | 0.285 | -0.045 | -0.587 | 0.743 | -0.514 | 0.082 | -0.255 | -0.356 |
| 有机质 | | 1 | 0.987 | 0.679 | -0.067 | 0.01 | -0.210 | 0.233 | 0.911 | 0.890 | 0.881 |
| 全氮 | | | 1 | 0.584 | -0.162 | 0.014 | -0.200 | 0.250 | 0.875 | 0.867 | 0.918 |
| 全磷 | | | | 1 | 0.341 | 0.19 | -0.18 | 0.018 | 0.726 | 0.618 | 0.454 |
| CEC | | | | | 1 | 0.404 | -0.434 | 0.184 | 0.044 | 0.153 | -0.189 |
| 黏粒(%) | | | | | | 1 | -0.687 | 0.029 | 0.071 | 0.338 | 0.022 |
| 粉粒(%) | | | | | | | 1 | -0.737 | -0.191 | -0.441 | -0.32 |
| 砂粒(%) | | | | | | | | 1 | 0.133 | 0.230 | 0.397 |

表 3 土壤理化性质对三种酶活性的通径系数

Table 3 Path coefficients between the physical and chemical properties affecting activities of the three enzymes

| 因变量 Dependent variable | 自变量 Independent variable | pH (X_1) | 有机质 O. M. (X_2) | 全氮 Total N (X_3) | 全磷 Total P (X_4) | CEC (X_5) | 黏粒 Clay(%) (X_6) | 粉粒 Silt(%) (X_7) | 砂粒 Sand(%) (X_8) | 总和 Summation |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| 脲酶活性 | X_1 | 0.962* | -0.038 | -0.138 | -0.148 | -0.003 | -0.068 | -0.660 | 0.175 | 0.082 |
| | X_2 | -0.088 | 0.413* | 0.836 | -0.353 | -0.004 | 0.001 | 0.187 | -0.079 | 0.910 |
| | X_3 | -0.157 | 0.408 | 0.847* | -0.303 | -0.010 | 0.002 | 0.178 | -0.085 | 0.876 |
| | X_4 | 0.274 | 0.28 | 0.495 | -0.520* | 0.021 | 0.022 | 0.160 | -0.006 | 0.725 |
| | X_5 | -0.043 | -0.028 | -0.137 | -0.177 | 0.06* | 0.047 | 0.386 | -0.063 | 0.044 |
| | X_6 | -0.565 | 0.004 | 0.012 | -0.099 | 0.024 | 0.116* | 0.611 | -0.026 | 0.072 |
| | X_7 | 0.715 | -0.087 | -0.169 | 0.094 | -0.026 | -0.080 | -0.889* | 0.251 | -0.191 |
| | X_8 | -0.494 | 0.096 | 0.212 | -0.009 | 0.011 | 0.003 | 0.655 | -0.341* | 0.133 |
| 转化酶活性 | X_1 | 0.582* | -0.070 | -0.084 | -0.176 | -0.007 | 0.096 | -0.996 | 0.400 | -0.255 |
| | X_2 | -0.054 | 0.766* | 0.505 | -0.420 | -0.010 | -0.002 | 0.282 | -0.181 | 0.890 |
| | X_3 | -0.095 | 0.756 | 0.515* | -0.361 | -0.025 | -0.002 | 0.268 | -0.194 | 0.866 |

续表

| 因变量 Dependent variable | 自变量 Independent variable | pH (X_1) | 有机质 O. M. (X_2) | 全氮 Total N (X_3) | 全磷 Total P (X_4) | CEC (X_5) | 黏粒 Clay(%) (X_6) | 粉粒 Silt(%) (X_7) | 砂粒 Sand(%) (X_8) | 总和 Summation |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|
| 转化酶活性 | X_4 | 0.166 | 0.520 | 0.301 | -0.618* | 0.052 | -0.031 | 0.241 | -0.014 | 0.617 |
| | X_5 | -0.026 | -0.051 | -0.083 | -0.211 | 0.152* | -0.066 | 0.582 | -0.143 | 0.153 |
| | X_6 | -0.341 | 0.008 | 0.007 | -0.117 | 0.061 | -0.164* | 0.921 | -0.022 | 0.340 |
| | X_7 | 0.432 | -0.161 | -0.103 | 0.111 | -0.066 | 0.113 | -1.341* | 0.573 | -0.442 |
| | X_8 | -0.299 | 0.178 | 0.129 | -0.011 | 0.028 | -0.005 | 0.988 | -0.778* | 0.230 |
| 磷酸酶 活性 | X_1 | -0.580* | 0.066 | -0.202 | 0.133 | 0.004 | 0.300 | -0.182 | 0.105 | -0.356 |
| | X_2 | 0.0534 | -0.716* | 1.223 | 0.317 | 0.006 | -0.005 | 0.051 | -0.048 | 0.881 |
| | X_3 | 0.0945 | -0.710 | 1.239* | 0.273 | 0.0136 | -0.0072 | 0.049 | -0.051 | 0.910 |
| | X_4 | -0.165 | -0.486 | 0.724 | 0.467* | -0.029 | -0.097 | 0.044 | -0.004 | 0.454 |
| | X_5 | 0.0261 | 0.048 | -0.201 | 0.159 | -0.084* | -0.207 | 0.106 | -0.038 | -0.19 |
| | X_6 | 0.340 | 0.008 | 0.017 | 0.089 | -0.034 | -0.512* | 0.168 | 0.006 | 0.023 |
| | X_7 | -0.431 | 0.150 | -0.248 | -0.084 | 0.036 | 0.352 | -0.245* | 0.150 | -0.320 |
| | X_8 | 0.298 | -0.167 | 0.0310 | 0.008 | -0.015 | -0.015 | 0.180 | -0.204* | 0.396 |

* 直接途径系数

表 4 各变量途径分析的决定系数

Table 4 Determinative coefficients of path analysis

| 次序 Order | 脲酶 Urease | 转化酶 Invertase | 磷酸酶 Phosphatase | 次序 Order | 脲酶 Urease | 转化酶 Invertase | 磷酸酶 Phosphatase |
|-------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Dyx_{1x_7} - 1.27 | Dyx_7 1.798 | Dyx_{2x_3} - 1.751 | 6 | Dyx_{2x_3} - 0.690 | Dyx_{2x_3} 0.778 | Dyx_{3x_7} 0.451 |
| 2 | Dyx_{3x_7} - 1.12 | Dyx_{7x_8} 1.538 | Dyx_3 1.535 | 7 | Dyx_{2x_7} - 0.545 | Dyx_{2x_4} - 0.643 | Dyx_{1x_6} - 0.349 |
| 3 | Dyx_1 0.925 | Dyx_{2x_7} - 1.526 | Dyx_{3x_4} 0.676 | 8 | Dyx_{3x_4} - 0.514 | Dyx_{2x_8} 0.613 | Dyx_1 0.336 |
| 4 | Dyx_7 0.790 | Dyx_{1x_7} - 1.16 | Dyx_2 0.513 | 9 | Dyx_{7x_8} - 0.447 | Dyx_8 0.605 | Dyx_6 0.262 |
| 5 | Dyx_3 0.717 | Dyx_{3x_7} - 1.03 | Dyx_{2x_4} - 0.454 | 10 | Dyx_{1x_8} 0.337 | Dyx_2 0.587 | Dyx_{2x_7} 0.261 |

2.2.2 脲酶活性与土壤理化性质的关系 从表 3 可以看出, CEC、粘粒和沙粒对脲酶活性直接途径系数都较小, 而其通过其它因素对脲酶活性的间接途径系数之和也较小, 说明它们对脲酶活性的直接效应和间接效应都较小, 不是影响土壤脲酶活性的主要因素。pH 值和粉粒对脲酶活性的直接途径系数最大, 说明它们对脲酶活性具有强烈的直接效应。然而, 它们对土壤脲酶活性的直接效应被通过其它因素对土壤脲酶活性的反向间接效应所抵消。因此, 从表观看来, 它们与土壤脲酶活性的相关性较小, 不是影响土壤脲酶活性的主要因素。有机质和全 P 对脲酶活性影响的直接途径系数较大, 而且它们通过其

它因素对脲酶活性影响的间接通径系数之和也较大,说明它们对土壤脲酶活性的影响除了直接效应外,通过其它因素的间接效应也较强。从表观上表现为与土壤脲酶活性呈显著相关,说明它们是影响土壤脲酶活性的两个主要因素。全 N 对脲酶活性的影响主要为直接效应,也是影响土壤脲酶活性的主要因素。还可发现,有机质、全 N、全 P 三者通过彼此间对脲酶活性的间接通径系数都比通过其它因素的间接通径系数大,说明它们彼此间的相互作用对脲酶活性也有较大的影响。表 4 所示的土壤性质对脲酶活性的决定系数进一步验证了这一实验结果。

2.2.3 转化酶活性与土壤理化性质的关系 粉粒对转化酶活性的直接通径系数为最大,而且通过其它因素对转化酶活性的间接通径系数也较大,尤其是其作用于 pH、CEC、粘粒、砂粒的数值均显著大于其它因素作用于上述几项的间接通径系数。说明土壤粉粒是影响转化酶活性的重要因素,这可能是由于转化酶活性主要聚集在土壤粒级粉砂部分的缘故⁽¹⁾。有机质、全氮、全磷对转化酶活性影响的直接通径系数较大,而且它们通过其它因素对转化酶活性影响的间接通径系数之和、三者彼此间对转化酶活性的间接通径系数均较大,从表观上表现为有机质、全氮、全磷均与土壤转化酶显著相关,说明无论从单因素还是彼此间的相互作用考虑,有机质、全氮、全磷都是影响转化酶活性的重要因素。pH、砂粒对转化酶的直接通径系数较大,但二者通过其它因素的对转化酶活性的反向间接效应在很大程度上抵消了它们对转化酶的直接效应,从而削弱了 pH、砂粒对转化酶活性的作用强度。相对而言,CEC、黏粒对土壤转化酶活性的直接通径系数和通过其它因素对转化酶活性的间接通径系数最小,结合其与转化酶的相关系数可见,CEC、黏粒对土壤转化酶的影响最为微弱。

2.2.4 酸性磷酸酶活性与土壤理化性质的关系 由表 3、表 4 土壤性质对酸性磷酸酶活性的通径系数、决定系数可见,在所考察的各因素中,以全氮、有机质对磷酸酶活性的影响最为显著。全氮对磷酸酶活性的直接通径系数和通过其它因素的间接通径系数之和最大,有机质次之,由此可见,全氮、有机质对磷酸酶活性具有强烈的直接和间接效应,并且全氮、有机质与土壤磷酸酶活性显著相关,说明土壤全氮、有机质是影响磷酸酶活性的两个最为重要的因素。全磷、pH、粘粒对磷酸酶活性的直接通径系数较大而间接通径系数很小,说明它们是主要是通过直接效应作用于磷酸酶。CEC、粉粒、砂粒对磷酸酶的直接通径系数和间接通径系数都较小,说明它们不是影响磷酸酶活性的主要因素。

三种酶的剩余通径系数分别为 0.214、0.148 和 0.270,表明分析误差较小,并且影响酶活性的主要土壤性质均已在本文讨论范围之内,从而证明了通径分析法在考察土壤水解酶活性与土壤性质关系上的可行性。

3 结 论

本文得到的主要结论如下:

1. 土壤有机质、全氮、全磷通过直接和间接效应成为影响脲酶、转化酶和酸性磷酸酶活性的主要因素,而阳离子交换量对三种酶活性的作用均很微弱。
2. 就通径分析的直接效应而言,pH 对脲酶活性的影响最为显著,对转化酶和酸性磷酸酶活性的影响程度大致相当。然而 pH 对脲酶、转化酶、酸性磷酸酶的这种直接效应在很大程度上被通过其它因素对三种酶的间接效应所抵消。
3. 土壤粉粒对转化酶活性的作用尤为显著,此外,粘粒对酸性磷酸酶、砂粒对脲酶有一定影响且均主要体现为直接效应。

参考文献

1. Srivastava S C, Singh J S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: Effects of alternate land-uses and nutrient flux. *Soil Biol. Biochem.*, 1991, 23(2): 117~ 124
2. 周礼恺. 土壤酶活性的总体在评价土壤肥力水平中的作用. *土壤学报*, 1983, 20(4): 413~ 417
3. Zantua M I, Bremner J M. Preservation of soil samples for assay of urease activity. *Soil Biol. Biochem.*, 1975, 7(4): 297~ 299
4. 胡海波, 康立新, 梁珍海. 泥质海岸防护林土壤酶活性与理化性质关系的研究. *东北林业大学学报*, 1995, 23(5):

(1) 周礼凯, 张志明, 曹承锦, 等. 黑土和棕壤的酶活性(铅印稿). 1982

37~ 45

5. 南开大学、杭州大学环境化学教研室编. 环境化学实验指南. 杭州: 浙江教育出版社, 1987, 72~ 77
6. 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 132~ 140
7. 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 481~ 490
8. 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985. 265~ 269
9. 关松荫编著. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986
10. 明道绪. 通径分析. 雅安: 四川农业大学出版社, 1990
11. Bhatt G M. Significance of path coefficient analysis in association. *Euphytica*, 1973, 22(2): 338~ 343

RELATIONSHIP BETWEEN HYDROLASE ACTIVITY IN SOILS AND SOIL PROPERTIES IN ZHEJIANG PROVINCE

Liu Guang-shen Xu Dong-mei Xu Zhong-jian Wang Hong-yu Liu Wei-ping
(*Environmental Science Institute of Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*)

Summary

In order to assess extents of the influences of soil properties on enzyme activities the relations between activities of urease, invertase and phosphatase and soil properties were studied through path analysis of twelve soil samples of the five major soil types in Zhejiang Province. The results showed that soil organic matter, total nitrogen, and total phosphorus were the major factors influencing activities of urease, invertase and phosphatase, while CEC had the least influence on them. With respect to direct effect in the path analysis, pH value most significantly influenced activities of urease and activities of invertase and phosphatase as well. But the direct effects of pH on the urease, invertase and acid phosphatase were to a large extent counteracted by the indirect effects of other factors on them. Silt also significantly influenced the activities of invertase, whereas clay and sand had certain influence on acid phosphatase and urease, respectively, but mostly in the form of direct effect.

Key words Urease, Invertase, Phosphatase, Soil property, Path analysis