

土壤磷组分对有效磷影响的通径分析及其相对重要性*

张 为 政

(东北师范大学草地所)

摘 要

本文用土壤无机磷分组与有机磷分组相结合,相关分析和通径分析相结合的方法,研究比较了土壤各组磷对有效磷的相对重要性。它们依次为:Al-P>中稳态有机磷>Fe-P>中等活性有机磷>活性有机磷>H₂O-P>高稳态有机磷>C-P>Ca-P。为正确认识 and 评价土壤有机磷在植物磷素营养中的作用开辟了新的途径。

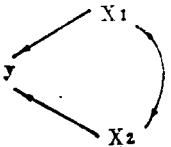
自土壤无机磷分组方法(张守敬和Jackson, 1957)问世以来,人们一直用相关分析来研究土壤无机磷分组的相对有效性。一般认为,土壤有效磷和某组无机磷的相关性愈显著,该组无机磷的相对有效性就愈高,对有效磷的影响也就愈大。我们知道,两因子间的简单相关系数是在不考虑其它因子的影响的前提下求得的。在因子较多,因子间影响又较大的情况下,简单相关系数显然已无法说明多因子间的复杂关系。多因子偏相关(或偏回归)分析虽考虑了其它因子间的相互影响,却无法说明因子间相互影响的大小和途径。为此,在土壤无机磷和有机磷分组(Bowman and Cole, 1978)的基础上,结合相关分析,进行了土壤磷组分对有效磷的通径分析。研究比较了土壤磷各组分对有效磷的相对重要性。为正确认识 and 评价土壤有机磷在植物磷素营养中的作用开辟了新的途径。

一、方 法 原 理

通径系数和通径链系数是通径分析中两个重要的统计学概念。利用这两个概念可以对变量间的相关做进一步的分析。将一对变量的相关系数按其成因分解成为若干组成部分,以便更清楚地了解各变量对这一对变量相关发生的影响程度⁽¹⁾。

我们设有3个相关的变量y、x₁、x₂,其中y是结果变量,x₁、x₂是y的原因变量,x₁与x₂是平行关系。据此,可以给出3个变量间的通径图(见图1)。

其中“→”为通径线,“↔”为相关线。通径图是通径分析的基础。由通径分析的数学原理可知,通径系数是标准化之后的变量y对x₁、x₂的偏回归系数,是反映x₁、x₂对y影响大小的一个重要度量。当y有n个原因变量X_i(i=1, 2, …, n)时,原



因x_i到y的通径系数为:
$$P_{y \cdot i} = b_i \frac{S_{iy}}{S_y}$$

图1 变量间的通径图

*本研究是在东北农学院何万云教授、陈魁卿教授的指导下完成的,并得到吉林省农科院黑土肥力课题组和土壤测试中心的热情帮助,在此表示衷心的感谢。

式中 b_i 为 y 对 x_i 的偏回归系数, S_x 、 S_y 分别是 x_i 、 y 的标准差。 $P_{y \cdot ij}$ 与相关系数

$$(Y_{iy}) \text{ 有如下分解关系式: } r_{iy} = \sum_{j=1}^n P_{y \cdot ij} \cdot r_{ji} \quad (\text{当 } i=j \text{ 时, } P_{y \cdot ij} = P_{y \cdot i})$$

式中 Y_{iy} 为原因变量 x_i 与结果变量 y 的单相关系数, $P_{y \cdot j}$ 为 x_j 到 y 的通路系数。当 $j=i$ 时, $P_{y \cdot j} = P_{y \cdot i}$, $r_{ii} = 1$, 即可用 $P_{y \cdot j}$ 直接比较各原因变量 x_i 对 y 影响的相对大小。而通路链上所有系数(通路系数和相关系数)的连乘积则称为这条通路链上的通路链系数。由通路链系数可清楚地了解到变量间相关发生的影响程度和途径。据此,若设土壤有效磷(Olsen, 1954)含量为结果变量, 而土壤各无机磷和有机磷组分为原因变量, 则可以根据通路分析的原理求出土壤各磷组分对土壤有效磷的通路系数和通路链系数。通过比较通路系数的大小, 即可看出土壤各磷组分对有效磷影响的相对大小, 进而讨论它们的相对重要性。

二、结果和讨论

供试土壤采自1986年吉林省农科院黑土定位试验16个小区(1980—1986)。取土深度20厘米。土壤无机磷分组(张守敬法)、有机磷分组(Bowman-Cole法)及土壤有效磷测定结果见表1。

表1 土壤无机磷、有机磷各组分及有效磷含量 单位: mg/100克土

组别 区号	H ₂ O-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P*	活性 有机磷	中等活性 有机磷	中稳态 有机磷	高稳态 有机磷	有效磷
1	0.13	3.21	0.99	23.33	8.61	0.23	7.36	6.38	2.05	1.07
2	0.10	3.06	2.22	22.75	6.35	0.56	5.02	6.69	2.42	0.75
3	0.29	5.31	1.75	23.05	5.76	0.48	6.56	6.68	2.45	2.41
4	0.09	2.92	0.70	23.48	5.57	0.32	7.40	6.21	1.66	0.91
5	0.15	4.08	1.63	23.92	6.07	0.24	7.68	6.64	2.18	1.40
6	0.10	2.95	0.64	22.75	5.23	0.17	6.75	5.45	2.12	0.86
7	0.47	6.18	1.23	25.66	5.75	0.58	6.24	5.97	1.75	3.28
8	0.57	5.25	2.92	24.79	6.35	0.54	7.63	7.46	1.29	2.16
9	0.15	5.31	2.33	23.12	6.13	0.23	8.84	7.47	2.21	1.83
10	0.23	5.83	2.39	21.03	7.17	0.35	10.70	7.72	1.49	2.51
11	0.56	12.69	5.73	23.51	7.73	0.93	11.60	8.32	2.45	14.00
12	0.13	5.07	2.39	21.33	5.79	0.02	7.60	6.39	2.59	1.87
13	0.61	11.03	5.01	25.21	10.53	0.09	7.82	7.31	3.05	5.32
14	0.16	5.45	1.73	26.25	4.66	0.40	8.98	7.06	1.82	2.20
15	1.08	11.84	5.49	24.76	5.95	0.25	8.12	7.71	2.42	6.15
16	0.73	11.23	4.24	25.95	4.46	0.22	9.42	8.66	1.63	4.76

*表中“O-P”组为闭蓄态铝磷和闭蓄态铁磷之和

为了探讨土壤磷组分与有效磷含量之间的关系, 我们首先进行了土壤磷各组分间及其与有效磷含量的相关分析, 结果见表2。

由表2可以看出, 除了闭蓄态磷和高稳态有机磷外, 其它各组无机磷和有机磷均与有效磷呈显著或极显著相关。而土壤磷各组分间无机磷除了闭蓄态磷外, 其它各组磷间均有

表2

土壤磷组分及与有效磷间的单相关系数和显著性检验*

组别	H ₂ O-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P	活性有机磷	中等活性有机磷	中稳态有机磷	高稳态有机磷	有效磷
H ₂ O-P	1	0.856**	0.810**	0.546*	-0.033	0.131	0.271	0.615	0.076	0.610*
Al-P		1	0.936**	0.656**	-0.199	0.180	0.574*	0.762**	0.293	0.851**
Fe-P			1	0.536*	-0.265	0.178	0.524*	0.802**	0.378	0.807**
Ca-P				1	0.045	0.542*	0.369	0.457	0.508	0.736**
O-P					1	0.232	-0.345	-0.293	-0.091	-0.093
活性有机磷						1	0.193	0.241	-0.202	0.537*
中等活性有机磷							1	0.735**	-0.159	0.646**
中稳态有机磷								1	-0.067	0.632**
高稳态有机磷									1	0.274
有效磷										1

* n=16-2=14

r_{0.05}=0.497r_{0.01}=0.623

显著或极显著相关；有机磷除了中等活性有机磷和中稳态有机磷有极显著相关外，其它各组磷间均无相关。有趣的是土壤无机磷组分中的Al-P、Fe-P和中等活性有机磷及中稳态有机磷有显著或极显著相关，而Ca-P则和活性有机磷有显著相关。这是否说明在土壤有机磷分组分离时活性有机磷组主要浸提的是有机酸钙盐类（如植酸钙）；而中等活性有机磷和中稳态有机磷组主要浸提的是与F⁺⁺⁺、Al⁺⁺⁺结合的有机酸盐类（如植酸铁、植酸铝）。这与国内外某些学者的研究结果相近^{1,2,3}。但土壤有机磷分组机理还有待于进一步探讨。

以上的相关分析表明，在土壤磷的整个循环系统中，不同组分的无机磷和有机磷之间始终处于一个动态平衡过程，它们之间必然存在着一定程度的相互影响和制约。而土壤有效磷含量的高低则取决于土壤各组磷的分布状况和转化方向。任何形态土壤磷的变化都会或多或少地引起有效磷含量的波动。但相关分析无法比较土壤各组磷对有效磷影响的相对大小，更不能说明土壤各组磷是直接还是间接影响着有效磷含量的高低。为了进一步明确它们对有效磷的影响途径和相对重要性，我们进行了土壤各组磷对有效磷的通路分析。首先我们画出土壤各组磷对有效磷的通路图（见图2）。

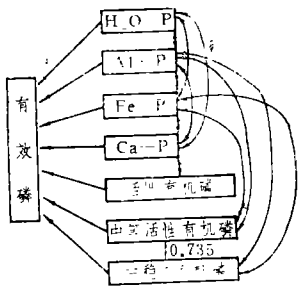


图2 土壤磷各组分对有效磷的通路图

根据相关分析可知，土壤闭蓄态磷和高稳态有机磷对土壤有效磷影响较小，所以我们在通路图中将其省略未画。但为了全面比较土壤各组磷对有效磷的相对重要性，我们仍将其通路系数和通路链系数全部求出。土壤各组无机磷和有机磷对有效磷的通路系数及通路链系数见表3。

由表3中土壤各组磷对有效磷的通路系数比较可以看出，它们对有效磷的相对重要性依次为：Al-P

($P_{y.2} = 0.544$) > 中稳态有机磷 ($P_{y.8} = -0.454$)

> Fe-P ($P_{y.3} = 0.443$) > 中等活性有机磷 ($P_{y.7} =$

0.408) > 活性有机磷 ($P_{y.6} = 0.381$) > H₂O-P ($P_{y.1} = -0.128$) > 高稳态有机磷

表 3

土壤各组磷对有效磷的通路系数和通路链系数*

Xi→Xj	Xj→Y									Y
	H ₂ O—P	Al—P	Fe—P	Ca—P	O—P	活性有机磷	中等活性有机磷	中稳态有机磷	高稳态有机磷	
H ₂ O—P	-0.128	0.465	0.358	0.029	-0.001	0.049	0.110	-0.279	0.005	0.610
Al—P	-0.109	0.544	0.414	0.035	-0.011	0.068	0.234	-0.346	0.021	0.851
Fe—P	-0.103	0.509	0.443	0.028	-0.014	0.087	0.213	-0.364	0.027	0.807
Ca—P	-0.070	0.356	0.237	0.054	0.062	0.206	0.150	-0.207	0.001	0.730
O—P	0.004	-0.108	-0.117	0.002	0.055	0.088	-0.140	0.133	-0.006	-0.090
活性有机磷	-0.016	0.097	0.079	0.029	0.012	0.381	0.078	-0.109	-0.014	0.537
中等活性有机磷	-0.034	0.311	0.232	0.019	-0.019	0.073	0.408	-0.333	0.011	0.646
中稳态有机磷	-0.078	0.414	0.355	0.024	0.016	0.091	0.360	0.454	-0.004	0.632
高稳态有机磷	-0.009	0.159	0.167	0.001	-0.005	0.076	-0.056	0.030	0.073	0.274

* 对角线上的数字为通路系数

($P_{y.9} = 0.073$) > O—P ($P_{y.5} = 0.055$) > Ca—P ($P_{y.4} = 0.054$)。这结果表明, 在供试的温带黑土上, 土壤无机磷组分中 Al—P、Fe—P 仍为有效磷的主要磷源; O—P (包括闭蓄态铝磷和闭蓄态铁磷) 对有效磷影响很小。这与前人的研究结果大体相近^[4]。与相关分析结果不同的是, 尽管 H₂O—P 和 Ca—P 与有效磷相关显著和极显著, 但它们对有效磷的直接影响却很小。它们是通过影响 Al—P 和 Fe—P 而间接影响有效磷含量的。这是因为 H₂O—P 和 Ca—P 通过 Al—P 和 Fe—P 都有一个较大的间接通路系数。它们分别是: $P_{y.12} = 0.455$, $P_{y.13} = 0.358$, $P_{y.42} = 0.350$, $P_{y.43} = 0.237$ 。并且 H₂O—P、Ca—P 与 Al—P、Fe—P 的单相关系数也较大 (见表 2)。由相关系数与通路系数的关系式可知:

$$r_{1y} = P_{y.1} + P_{y.12} \cdot r_{21} + P_{y.13} \cdot r_{31} + \dots + P_{y.19} \cdot r_{91}$$

$$r_{4y} = P_{y.4} + P_{y.42} \cdot r_{24} + P_{y.43} \cdot r_{34} + \dots + P_{y.49} \cdot r_{94}$$

所以当 $P_{y.12} \cdot r_{12}$ 、 $P_{y.13} \cdot r_{13}$ 和 $P_{y.42} \cdot r_{24}$ 、 $P_{y.43} \cdot r_{34}$ 较大时, r_{1y} 和 r_{4y} 也就被放大。实际上 H₂O—P 和 Ca—P 与有效磷的正相关中包括它们与 Al—P、Fe—P 的正相关。因此它们对有效磷的相对重要性远远小于 Al—P 和 Fe—P。

土壤各组磷对有效磷的通路分析还表明, 在土壤理化性质较好, 有机磷含量较高的黑土上, 土壤有机磷组分中的中稳态有机磷对有效磷的相对重要性仅次于 Al—P, 中等活性有机磷和活性有机磷仅次于 Fe—P。由此可见, 除了高稳态有机磷对有效磷影响很小外, 其它有机磷组分对有效磷含量均有较大影响, 在植物磷素营养供应中起着重要的作用。所以那种认为在寒温带或温带土壤温度较低、有机质矿化速度较慢的条件下, 土壤有机磷在植物磷素营养中作用不大的看法值得商榷^[6]。本文认为, 在温带的土壤理化性质良好, 有机磷 (特别是活性较大的有机磷) 含量较高的条件下, 土壤有机磷对有效磷含量的变化有着不可忽视的影响, 可能是某些植物的主要有效磷源之一。

三、小 结

本文通过土壤无机磷和有机磷分组, 利用相关分析和通路分析相结合的方法, 研究比较了土壤各组磷对有效磷的相对重要性。得出初步结论如下:

1. 在供试黑土上, 土壤无机磷组分中 Al—P、Fe—P 为植物的主要有效磷源。它们对有效磷的相对重要性远远大于 H₂O—P、Ca—P 和 O—P。

2. 土壤有机磷组分中除高稳态有机磷外, 其它各组有机磷对有效磷含量均有着不可忽视的影响。

3. 土壤各组磷对有效磷的相对重要性依次为: Al—P ($P_{y \cdot 2} = 0.544$) > 中稳态有机磷 ($P_{y \cdot 8} = -0.454$) > Fe—P ($P_{y \cdot 3} = 0.443$) > 中等活性有机磷 ($P_{y \cdot 7} = 0.408$) > 活性有机磷 ($P_{y \cdot 6} = 0.381$) > H₂O—P ($P_{y \cdot 1} = -0.128$) > 高稳态有机磷 ($P_{y \cdot 7} = 0.073$) > O—P ($P_{y \cdot 5} = 0.055$) > Ca—P ($P_{y \cdot 4} = 0.054$)。

参 考 文 献

- (1) 刘来福等: 作物数量遗传, 1984.
- (2) R. A. Bowman and C. V. Cole, An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland Soils, Soil Sci., 1978, Vol 125, No 2, 95—102.
- (3) 蒋柏藩: 磷肥在土壤中的形态转化及有效性, 《土壤学进展》, 1981, 9(2), 1—11.
- (4) 付绍清等: 土壤有效磷测定方法及其与磷素形态关系的研究, 《土壤学报》, 1982, 19(3), 305—310.
- (5) 周鸣铮: 土壤速效磷化学提取测定法探讨(1—2), 《土壤通报》, 1980, № 4—5, 47—48, 42—45.

PATH ANALYSIS FOR THE EFFECT OF PHOSPHORUS POLES ON AVAILABLE PHOSPHORUS IN SOIL AND THE RELATIVE IMPORTANCE

Zhang Weizheng

(Northeast Normal university grassland institute)

ABSTRACT

The method of path analysis was applied to study the difference among phosphorus fractions to the plant phosphorus availability following the correlativity analysis on the basis of the fraction of inorganic and organic phosphorus. The order of relative importance of phosphorus fractions to the plant phosphorus availability as follow: Al—P > moderate resistant organic P > Fe—P > moderate labile organic P > labile organic P > H₂O—P > high resistant organic P > O—P > Ca—P. A new way to evaluate correctly the role of organic P in the plant phosphorus nutrient was supplied by the method of path analysis in this paper.