

# 通径分析在土壤物理研究中的应用\*

梁春祥\*\* 姚贤良

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘要

用通径分析方法研究确定了影响江西红壤饱和导水率和大团聚体的主要因子。

通径分析是研究多元相关变量间相互关系的一种统计方法,它能够有效地表示相关变量间原因对结果的直接效应和间接效应。这种方法在遗传育种方面已被广泛地应用,但在土壤学中应用尚不普遍<sup>[1]</sup>。

本文应用通径分析方法探讨了引起红壤地区土壤水分因素和结构因素变异的主要控制因子。

## 一 试验材料和方法

本试验选在江西鹰潭中国科学院红壤生态站内一个未开垦过的山坡上,坡度约 $5^\circ$ ,呈东西走向,生长有马尾松。土壤类型为第四纪红色粘土发育下的红壤,质地为壤粘土(中国制)。

在面积为 $50 \times 100\text{m}^2$ 的区域内,随机布置了30个点,采样深度为 $0 \sim 10\text{cm}$ ,测定了样品的机械组成,无定形铁、铝,原状土饱和导水率,孔隙分布曲线以及土壤团聚体组成等。

## 二 结果分析与讨论

(一)饱和导水率通径分析 本文选取总孔隙度、孔径 $>0.03\text{mm}$ 孔隙度、粘粒含量、 $>0.25\text{mm}$ 水稳性大团聚体总量四种性质作为原因因素对饱和导水率进行通径分析,其通径图见图1。

表1 饱和导水率等性质之间的相关系数

土壤性质	总孔隙度 $X_1$	$>0.03\text{mm}$ 孔隙度 $X_2$	粘粒 $X_3$	大团聚体 $X_4$	饱和导水率 $Y$
总孔隙度 $X_1$	1	0.5872	0.7714	0.3988	0.4569
$>0.03\text{mm}$ 孔隙度 $X_2$		1	0.5519	0.3252	0.6732
粘粒 $X_3$			1	0.4523	0.2446
大团聚体 $X_4$				1	0.3691
饱和导水率 $Y$					1

\* 为本文第一作者的硕士论文的一部分。

\*\* 现任职于江西省农业资源研究室。

各性质之间的相关系数列于表1。

将表1中的数据代入下式，解矩阵方程：

$$\begin{pmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{n-1} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{1y} \\ P_{2y} \\ \vdots \\ P_{ny} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ \vdots \\ r_{ny} \end{pmatrix}$$

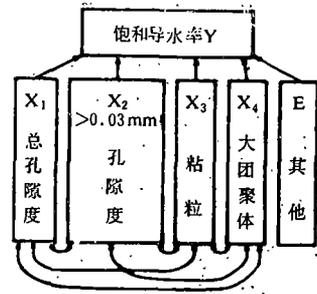


图1 饱和导水率的通径图

求出各性质对饱和导水率的通径系数，然后进行通径分析，结果列于表2。

表2清楚地表明，总孔隙度等4种性质对饱和导水率的影响往往不是独立的，而是相互制约的。总孔隙度对饱和导水率的直接作用和其通过>0.03mm孔隙度的间接作用几乎是相等的。>0.03mm孔隙度对饱和导水率的影响以其直接作用为主。粘粒对饱和导水率的直接作用是负效应的，这意味着质地愈粘，其导水性愈差。相比之下，大团聚体对饱和导水率的直接影响似乎不象>0.03mm孔隙度、总孔隙度和粘粒那么重要了。

表3是饱和导水率与各变量通径分析的决定系数。

从表3可以看出，决定系数最大的是孔径>0.03mm的孔隙度，其次是它与粘粒的共同作用，再次是总孔隙度与粘粒的共同作用，总孔隙度和大团聚体分别排在第6和第10位。这说明影响饱和导水率的主要因素是>0.03mm孔隙度，即大孔隙越多，饱和导水率越大。大孔

表2 饱和导水率与各变量通径分析结果

<p>X<sub>1</sub> 总孔隙度</p>	<p>总孔隙度与饱和导水率相关系数 总孔隙度的直接作用 通过&gt;0.03mm孔隙度的间接作用 通过粘粒的间接作用 通过大团聚体的间接作用 总和</p>	<p>r<sub>1y</sub> = 0.4569 P<sub>1y</sub> = 0.3682 r<sub>12</sub>·P<sub>2y</sub> = 0.3890 r<sub>13</sub>·P<sub>3y</sub> = -0.3957 r<sub>14</sub>·P<sub>4y</sub> = 0.0951 0.4566</p>
<p>X<sub>2</sub> &gt;0.03mm 孔隙度</p>	<p>&gt;0.03mm孔隙度与饱和导水率相关系数 &gt;0.03mm孔隙度的直接作用 通过总孔隙度的间接作用 通过粘粒间的接作用 通过大团聚体的间接作用 总和</p>	<p>r<sub>2y</sub> = 0.6732 P<sub>2y</sub> = 0.6625 r<sub>21</sub>·P<sub>1y</sub> = 0.2162 r<sub>23</sub>·P<sub>3y</sub> = -0.2831 r<sub>24</sub>·P<sub>4y</sub> = 0.0775 0.6731</p>
<p>X<sub>3</sub> 粘粒</p>	<p>粘粒与饱和导水率的相关系数 粘粒的直接作用 通过总孔隙度的间接作用 通过大孔隙度的间接作用 通过大团聚体的间接作用 总和</p>	<p>r<sub>3y</sub> = 0.2446 P<sub>3y</sub> = 0.5129 r<sub>31</sub>·P<sub>1y</sub> = 0.2840 r<sub>32</sub>·P<sub>2y</sub> = 0.3656 r<sub>34</sub>·P<sub>4y</sub> = 0.1078 0.2445</p>
<p>X<sub>4</sub> 大团聚体</p>	<p>大团聚体与饱和导水率的相关系数 大团聚体的直接作用 通过总孔隙度的间接作用 通过&gt;0.03mm孔隙度的间接作用 通过粘粒的间接作用 总和</p>	<p>r<sub>4y</sub> = 0.3691 P<sub>4y</sub> = 0.2384 r<sub>41</sub>·P<sub>1y</sub> = 0.1468 r<sub>42</sub>·P<sub>2y</sub> = 0.2154 r<sub>43</sub>·P<sub>3y</sub> = -0.2320 0.3686</p>

表3

饱和导水率与各变量通径分析的决定系数\*

决定系数	$D_{YX_1}$	$D_{YX_2}$	$D_{YX_3}$	$D_{YX_4}$	$D_{YX_1X_2}$	$D_{YX_1X_3}$
	0.1356	0.4389	0.2631	0.0568	0.2865	-0.2914
大小次序	6	1	10	5	4	3
决定系数	$D_{YX_1X_4}$	$D_{YX_2X_3}$	$D_{YX_2X_4}$	$D_{YX_3X_4}$	$D_Y E$	
	0.0700	-0.3751	-0.1027	0.1027	0.4535	
大小次序	9	2	8	8	—	

\* 表中大小次序是按决定系数绝对值大小排列的。

隙和粘粒的共同作用也是很重要的,即使大孔隙较多,但如果质地粘重,导水性也是不好的。总孔隙度的大小并不一定意味着导水性的好坏,只有土壤中有较多的大孔隙,导水性才会良好。大团聚体并不是影响饱和导水率的主要因素(和另外3种性质比较而言)。表3中剩余项的决定系数为0.4235,这说明饱和导水率大小除主要取决于这4种性质外,还有很大部分因素不在考虑之列。

表4

大团聚体等性质之间的相关系数

土壤性质	有机质 $X_1$	无定形铁 $X_2$	无定形铝 $X_3$	粘粒 $X_4$	大团聚体 $Y$
有机质 $X_1$	1	0.0396	0.1806	0.3254	0.4125
无定形铁 $X_2$		1	0.5677	0.2004	0.6155
无定形铝 $X_3$			1	0.2026	0.5641
粘粒 $X_4$				1	0.4523
大团聚体 $Y$					1

(二)大团聚体通径分析 这里选取有机质、无定形铁、无定形铝和粘粒等4种性质对大团聚体进行通径分析,其通径图如图2。表4是几种性质之间的相关系数。

大团聚体与各变量的通径分析结果见表5。从表5可以看出,土壤有机质对大团聚体的影响,主要是其直接胶结作用,此外,它和粘粒的共同作用也占有一定的地位。无定形铁对大团聚体的影响则主要是其本身的直接胶结作用。无定形铝对大团聚体的直接作用几乎与它和无定形铁的相互作用相等。粘粒对大团聚体的影响也主要是其直接作用的结果。

表6是大团聚体与各变量通径分析的决定系数。

从表6可以看出,决定系数最大的是无定形铁,其次是它和无定形铝的共同作用,再次是有机质,粘粒和无定形铝分别排在第4和第5位。决定系数的大小意味着对大团聚体影响的强弱。从这里可以看出,影响红壤中大团聚体的主要因素是无定形铁含量,含量越高,其胶结作用越大,越利于大团聚体的形成。其次是无定形铁与无定形铝的共同作用。无定形铝对大团聚体的影响主要是通过和无定形铁的共同作用而不是其直接作用,这可能是由于研究地区红壤的无定形铝含量是较低的,所以它的直接作用并不是主要的。表5、表6表明,这4种性质对大团聚体的作

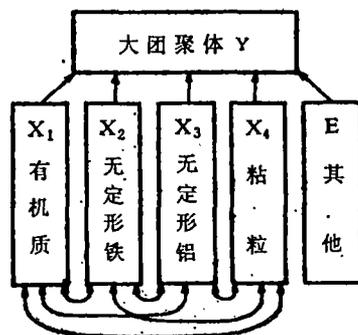


图2 大团聚体的通径图

表5

大团聚体与各变量通径分析结果

X <sub>1</sub> 有机质	有机质与大团聚体的相关系数	$r_{1y} = 0.4125$
	有机质的直接作用	$P_{1y} = 0.2808$
	通过无定形铁的间接作用	$r_{12} \cdot P_{2y} = 0.0171$
	通过无定形铝的间接作用	$r_{13} \cdot P_{3y} = 0.0399$
	通过粘粒的间接作用	$r_{14} \cdot P_{4y} = 0.0746$
	总和	0.4124
X <sub>2</sub> 无定形铁	无定形铁与大团聚体的相关系数	$r_{2y} = 0.6155$
	无定形铁的直接作用	$P_{2y} = 0.4328$
	通过有机质的间接作用	$r_{21} \cdot P_{1y} = 0.0111$
	通过无定形铝的间接作用	$r_{23} \cdot P_{3y} = 0.1256$
	通过粘粒的间接作用	$r_{24} \cdot P_{4y} = 0.0460$
	总和	0.6155
X <sub>3</sub> 无定形铝	无定形铝与大团聚体的相关系数	$r_{3y} = 0.5641$
	无定形铝的直接作用	$P_{3y} = 0.2212$
	通过有机质的间接作用	$r_{31} \cdot P_{1y} = 0.0507$
	通过无定形铁的间接作用	$r_{32} \cdot P_{2y} = 0.2457$
	通过粘粒的间接作用	$r_{34} \cdot P_{4y} = 0.0465$
	总和	0.5641
X <sub>4</sub> 粘粒	粘粒与大团聚体的相关系数	$r_{4y} = 0.4523$
	粘粒的直接作用	$P_{3y} = 0.2294$
	通过有机质的间接作用	$r_{41} \cdot P_{1y} = 0.0914$
	通过无定形铁的间接作用	$r_{42} \cdot P_{2y} = 0.0867$
	通过无定形铝的间接作用	$r_{43} \cdot P_{3y} = 0.0448$
	总和	0.4523

表6

大团聚体与各变量通径分析的决定系数

决定系数	D <sub>YX1</sub>	D <sub>YX2</sub>	D <sub>YX3</sub>	D <sub>YX4</sub>	D <sub>YX1X2</sub>	D <sub>YX1X3</sub>
	0.0788	0.1873	0.0489	0.0526	0.0096	0.2224
大小次序	3	1	5	4	10	7
决定系数	D <sub>YX1X4</sub>	D <sub>YX2X3</sub>	D <sub>YX2X4</sub>	D <sub>YX3X4</sub>	D <sub>YE</sub>	
	0.0210	0.1087	0.0398	0.0206	0.4067	
大小次序	8	2	6	9	—	

\* 表中的大小次序是按决定系数的绝对值大小排列的。

用均是正效应的，这就意味就无定形铁、铝和有机质这些胶结物质含量越高，它越有利于将粘粒等颗粒胶结在一起，形成大团聚体，从表中还可以看出，剩余项的决定系数为0.4067，也就是说，在影响大团聚形成的诸因素中，约有60%取决于无定形铁、铝，有机质和粘粒的直接作用及其相互作用。

综上所述，影响饱和导水率的诸因素中，以孔径 $>0.03\text{mm}$ 孔隙度、粘粒、总孔隙度、大团聚体为主，其中又以孔径 $>0.03\text{mm}$ 孔隙度最为重要；影响大团聚体形成的诸因素中，以无定形铁、无定形铝、有机质、粘粒为主，其中以无定形铁最为重要。诸因素的影响往往不是独立起作用的，而是共同作用的结果。

## 参 考 文 献

[1] 张全德，通径系数及其在农业中的应用，浙江农业大学学报，第7卷，第3期，17~25页，1981。