

有机质与粘粒复合对土壤

阳离子交换量的贡献

徐明岗* 安战士 张建新

(农化系)

摘 要 对棕壤、黄棕壤、黄褐土和塿土 344 个样品阳离子交换量 (CEC) 与有机质、粘粒用方程 $y(\text{CEC}) = b_0 + b_1x_1(\text{粘粒}\%) + b_2x_2(\text{有机质}\%) + b_3x_1x_2$ 进行回归分析表明, 在粘粒与有机质数量比为 3~16 (平均为 8 左右接近有机质与粘粒 CEC 之比) 时, 有机粘粒复合显著影响土壤 CEC, 且复合消耗有机质与粘粒总交换点的数量分别为 41.8%, 26.7%, 31.9% 和 19.8%。

关键词 阳离子交换量, 有机质, 粘粒, 有机-粘粒复合, 棕壤, 塿土, 黄棕壤, 黄褐土

中图分类号 S153.3

Williams 与 Kelly 等人在确定有机质和粘粒对土壤阳离子交换量 (CEC) 贡献时, 基于土壤 CEC 与有机质和粘粒含量密切相关, 提出多元回归分析方法^[1,2]。其回归方程为:

$$y(\text{CEC}) = b_0 + b_1x_1(\text{粘粒}\%) + b_2x_2(\text{有机质}\%) \quad (1)$$

由回归系数的意义, b_1 、 b_2 表示单位质量粘粒或有机质的 CEC, 而由方程可求出有机质、粘粒对土壤 CEC 的相对贡献。这种方法克服了 H_2O_2 氧化法使有机质去除不完全或灼烧法导致粘粒矿物部分变性之缺陷^[2,3], 不破坏土壤的原始结构, 从而受到许多工作者的重视^[4-6]。然而, 方程 (1) 是假定有机质及粘粒含量与土壤 CEC 成线性关系, 有机质与粘粒间无交互作用。显然, 这是不十分合理的, 因为土壤中存在着复杂的有机-粘粒复合。本文修改了上述方程, 并用其分析了几种土壤有机质、粘粒及其复合对土壤 CEC 的贡献。

1 材料和方法

供试土壤为山地棕壤、山地黄棕壤和黄褐土的剖面样品 326 个, 采自陕西省汉中、安康地区 10 余县; 关中平原肥沃塿土的耕层样品 18 个。土壤基本性质见表 1。

有机质测定用丘林法; 颗粒组成用吸管法; CEC: 塿土及粘粒用 NH_4Cl 法; 其余土壤用 EDTA-铵盐法。有机质表观 CEC 用 10% H_2O_2 氧化差减法求得。

文稿收到日期: 1990-12-17。

* 现在陕西省农科院土肥所工作。

表1 土壤基本理化性质*

土 壤	层次深度 (cm)	样本 数	pH (水/土1:1)	有机质 (%)	阳离子交换量 (me/100g)	粘粒 ($<0.002\text{mm}\%$)
麦 土	Ap 0~20	18	8.1,7.8~8.3	1.60,0.62~3.51	12.48,5.12~16.34	21.64,9.60~39.68
黄褐土	A 0~20	62	6.4,5.0~7.8	1.16,0.18~2.98	15.66,5.07~31.68	17.31,2.50~54.10
	B 20~50	41	6.6,5.6~7.2	0.81,0.21~2.63	17.28,7.54~26.26	20.26,3.00~41.46
	C 50~160	40	6.8,5.4~7.5	0.60,0.16~2.38	16.63,8.31~27.31	17.83,2.30~31.00
	小 计	143	6.7,5.0~7.8	0.90,0.16~2.98	16.39,5.07~31.68	18.30,2.30~54.10
棕 壤	A 0~18	31	6.2,4.8~7.3	5.94,1.42~24.12	20.52,10.10~71.92	12.06,2.60~25.70
	B 18~60	25	6.4,5.1~7.5	2.05,0.61~6.19	14.19,6.41~30.32	16.06,3.41~27.27
	C 60~125	15	6.4,5.0~7.2	1.16,0.50~5.65	14.51,7.89~21.79	18.13,5.01~43.20
	小 计	71	6.3,4.8~7.5	3.56,0.50~24.12	17.01,6.41~71.92	14.75,2.60~43.20
黄棕壤	A 0~25	49	6.7,5.1~7.7	2.04,0.45~9.79	13.77,6.70~33.42	13.96,2.50~66.10
	B 25~80	38	6.5,5.4~7.2	1.17,0.27~3.14	12.78,5.01~24.87	16.04,2.57~57.59
	C 80~150	25	6.3,5.3~7.1	0.89,0.28~3.85	14.71,6.10~22.98	17.28,5.02~52.73
	小 计	112	6.6,5.1~7.7	1.49,0.27~9.79	13.64,5.01~33.42	15.41,2.50~66.10

* 数据表示为均值及范围。

用方程(1)进行回归分析,考察有机质、粘粒与土壤CEC的关系。考虑到有机质粘粒间存在着多种复合作用,提出如下修改方程:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 \quad (2)$$

其中 $x_1 x_2$ 是有机质与粘粒的交互作用项,系数 b_3 反映单位质量的有机-粘粒复合对土壤CEC的影响。

2 结果与讨论

麦土、棕壤和黄棕壤的两个回归方程都达显著或极显著水平(表2)。方程(2)的复相关系数 R 值,在棕壤上明显高于方程(1) R 值,表明方程(2)在棕壤上具有更强的实际意义。黄褐土各层次方程(2)均不显著,故未列出。

2.1 方程(1)、(2)的应用条件

方程(1)表明,土壤CEC是有机质含量和粘粒含量的线性函数。这种关系必须建立在有机质类型相当一致,粘粒矿物组成基本一致,以使它们有相当接近的CEC的条件下。从而要求采集的土壤性质要尽可能一致。由于采集的样品常包含有土壤的发生特性,故方程(1)估测值仅在一定的气候条件下才是准确的^[6,7]。因此,有些土壤就建立不起这种线性关系^[7]。

对方程(2),除上述条件外,还要求有机质与粘粒的复合度基本一致,以满足单位质量有机质粘粒复合对土壤CEC的影响量相近。

据统计学原理,要使估计出的有机质、粘粒对土壤CEC贡献有实际意义,方程要达显著水平,各回归变量也必须达显著水平。对 b_1 、 b_2 都达5%显著水平以上, b_3 不显著的黄棕壤A层,其两个方程的 b_1 、 b_2 以及 b_0 都相当接近,它们之间无本质差异。由于 b_3 不显著,故其值为正(或负)没有实际意义,可以认为是统计上的误差所造成,不反映事物的内在规律。这一现象,在有机质含量少的麦土、黑垆土和黄绵土上也曾出现^[8]。说明,对有机质粘粒复合对土壤CEC效应不显著而有机质与粘粒同时显著的土壤,

表2 有机质、粘粒与土壤CEC的关系分析

土 壤	层 次	回 归 方 程 $Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$ $Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2$	复相关 系数R	回 归 系 数 检 验 值			对CEC的相对 贡献(%)	
				t_1	t_2	t_3	粘 粒	有 机 质
壤 土	Ap	[1] $Y = 0.50 + 0.39x_1 + 2.28x_2$	0.93***	7.63***	5.65***		69.6	30.4
		[2] $Y = -2.32 + 0.56x_1 + 3.92x_2 - 0.103x_1x_2$	0.94***	5.12***	3.93***	-1.90*	65.8	34.2
	黄棕壤	[1] $Y = 5.28 + 0.30x_1 + 2.09x_2$	0.86***	7.97***	9.00***		49.4	50.6
		[2] $Y = 5.42 + 0.29x_1 + 2.05x_2 + 0.004x_1x_2$	0.87***	2.71**	4.78***	0.12	49.2	50.8
	B	[1] $Y = 4.82 + 0.28x_1 + 3.00x_2$	0.61***	3.99***	3.33***		49.8	50.2
棕 壤		[2] $Y = 6.83 + 0.30x_1 + 1.26x_2 - 0.021x_1x_2$	0.61***	1.61	1.43	-0.14	—	—
	C	[1] $Y = 8.64 + 0.21x_1 + 2.76x_2$	0.71***	3.57***	3.70**		71.2	28.8
		[2] $Y = 4.49 + 0.47x_1 + 3.98x_2 - 0.105x_1x_2$	0.75***	2.88**	2.96**	-0.70	69.6	30.4
	小计	[1] $Y = 6.42 + 0.27x_1 + 2.04x_2$	0.73***	8.52***	8.32***		58.1	41.9
		[2] $Y = 6.54 + 0.26x_1 + 1.97x_2 + 0.005x_1x_2$	0.73***	4.96***	5.18***	0.19	57.7	42.3
黄 褐 土	A	[1] $Y = 9.21 + 0.08x_1 + 1.75x_2$	0.96***	0.82	17.93***		—	—
		[2] $Y = 7.67 + 0.28x_1 + 2.07x_2 - 0.050x_1x_2$	0.97***	2.82**	16.41***	-3.36**	21.6	78.4
	B	[1] $Y = 9.09 + 0.13x_1 + 1.49x_2$	0.63***	1.08	2.87**		—	—
		[2] $Y = 3.11 + 0.52x_1 + 4.58x_2 - 0.218x_1x_2$	0.88***	4.20***	5.47***	-4.18***	47.1	52.9
	C	[1] $Y = 7.78 + 0.25x_1 + 1.92x_2$	0.74***	2.92*	2.86*		66.3	33.7
黄 褐 土		[2] $Y = 5.53 + 0.41x_1 + 4.35x_2 - 0.187x_1x_2$	0.95***	3.87***	2.41*	-2.01*	59.6	40.4
	小计	[1] $Y = 7.01 + 0.26x_1 + 1.74x_2$	0.92***	2.95**	19.00***		38.2	61.8
		[2] $Y = 7.96 + 0.31x_1 + 2.14x_2 - 0.081x_1x_2$	0.94***	5.11***	17.76***	-4.54**	37.5	62.5
	A	[1] $Y = 10.68 + 0.33x_1 - 0.87x_2$	0.63**	5.25**	-0.90		—	—
	B	[1] $Y = 8.07 + 0.38x_1 - 1.87x_2$	0.45*	0.46	-1.60		—	—
黄 褐 土		[1] $Y = 10.94 + 0.39x_1 - 2.20x_2$	0.35*	2.68*	-1.33		—	—
	小计	[1] $Y = 10.85 + 0.38x_1 - 1.65x_2$	0.61***	3.73**	-2.48*		—	—

注: t_1 , t_2 , t_3 分别为系数 b_1 , b_2 , b_3 的 t 检验值; *, **, *** 分别表示5%, 1%和0.1%显著水平。

方程(1)也可很好地估测有机质、粘粒CEC及其相对贡献^[8]。若 b_3 在回归方程中不显著,表现的另一种情况是由于受 b_3 的干扰, b_1 、 b_2 都变得不显著(如黄棕壤B层),从而有机质或粘粒CEC估测值也出现较大偏差。故方程(2)只有在交互作用项达一定显著水平,才有更大的实际意义。

黄褐土,由于农业利用情况不同,其质地和有机质数量组成等性质均有一定差异,从而使按层次统计回归时不能适用方程(2)。换言之,黄褐土各层次方程(2)不显著,主要是因为土壤性质不能较好地满足上述条件,因而就不能建立起这种回归关系。

2.2 有机质、粘粒CEC估测值与实测值的比较

对供试壤土有机质、粘粒CEC实际测定的结果,其粘粒CEC为37.3~47.2me/100g,平均值41.8me/100g,比方程(1)的估测值39me/100g稍高,相差2.8me/100g,偏差6.7%;95%可信度下粘粒CEC的变异区间为29~49me/100g。按方程(1)有机质CEC的估测值为148~308me/100g,平均为228me/100g,比实测表观CEC 150~383me/100g的平均值261me/100g低33me/100g,但其误差仅11.5%。由此看出,有机质、粘粒CEC按方程(1)估测值与实测值很接近。

在交互作用达显著水平以上时,以方程(2)估计有机质、粘粒CEC与实测值大不相同。有机质CEC的估测值为212~572me/100g(95%概率区间)平均值392me/100g是实测表观CEC的1.5倍,相差达54%。粘粒CEC估测值为34~78me/100g,平均值56me/100g比实测值高34%,相差14me/100g。这些结果表明,有机质、粘粒本身CEC比其在土壤复合体中表现出的CEC高;而方程(1)的估测值之所以与实测值接近^[4],主要是因为方程中没有考虑有机质与粘粒的复合作用。方程(1)估计有机质、粘粒CEC只能反映其表观CEC的大小,而方程(2)可较准确地估测粘粒、有机质的CEC及对土壤CEC的相对贡献。

2.3 有机质、粘粒对土壤CEC的贡献

对棕壤和黄棕壤,可分别用方程(2)、(1)估测出各层次有机质、粘粒对土壤CEC的贡献(表2)。所得结果表明:①棕壤有机质CEC为207~458me/100g,是粘粒CEC 28~52me/100g的7~11倍,平均吸收容量比为8左右。对土壤CEC相对贡献有机质为40.4%~78.4%,平均为62.5%;粘粒59.6%~21.6%,平均37.5%。有机质贡献百分比A层>B层>C层,主要是由于不同层次有机质含量差异所致。②黄棕壤粘粒CEC为21~30me/100g;有机质CEC209~300me/100g,是粘粒的7~13倍。有机质、粘粒的相对贡献在A、B层为1:1,C层为1:2.6。③壤土粘粒、有机质的相对贡献分别为65.8%和34.2%,后者是前者的一半。但有机质的CEC为392me/100g,是粘粒56me/100g的7倍。这些数据说明,对有机质含量较高的棕壤,其CEC更多来源于有机质;而有机质含量低的壤土、黄棕壤C层,其CEC更多来自于粘粒部分。但不论哪种土壤,有机质的CEC都远高于粘粒,前者是后者的7~13倍,平均为8倍左右。

对黄褐土,方程(1)中有机质的贡献是负值。主要是因为该土壤粘粒与有机质数量比较大,即粘粒数量相对较多,有机质进入土壤后与粘粒复合,掩盖及消耗了较多的表面负电荷^[9],结果使土壤CEC降低。

2.4 有机质与粘粒复合对土壤CEC贡献

方程(2)的系数 b_3 (表2)除黄棕壤A层外,其余土壤各层次中都是负值,说明有机质与粘粒复合对土壤CEC有直接的负作用。正是这种复合,使土壤有机矿物质组分CEC不具有加和性^[10]。故方程(2)之化越佳,在于它可以估测出有机-粘粒复合对土壤CEC的效应。由方程(2)可知,棕壤A、B、C层有机质和粘粒复合对土壤CEC的相对贡献分别为-18.2%、-37.6%和-27.1%,即在这三层土壤中,有机-粘粒复合,将消耗有机质与粘粒单独存在时CEC之和的18.2%、37.6%和27.1%。

根据有机质与粘粒的复合机理^[10],在粘粒数量一定时,随有机质数量的增加,有机质与粘粒复合量随之增加;但当有机质超过一定数量时,则有机质之间的结合逐渐增加而占较大的比例。有机-粘粒复合量与有机质和粘粒含量的相互比例密切相关。对棕壤的三个层次而言,当粘粒与有机质含量比为6~12时(B层),有机-粘粒复合对土壤CEC影响最大。

在有机质与粘粒交互项参与时,对棕壤有机质与粘粒不同含量的样品回归(表3)表明:①随粘粒与有机质数量比的增大,粘粒的贡献量及显著性提高,当比值>16时,有机质对土壤CEC作用不显著。②随比值的减小,有机质的显著性及贡献量增大,当比值<2时,粘粒贡献很小,对土壤CEC作用变得不显著。③适宜组合情况下,比值在3~15,有机质、粘粒及其复合均显著。同时,有机粘粒复合对土壤CEC相对贡献达到较大的数值(-41.8%)。

对剖面层次计算,有机粘粒交互项不显著的黄棕壤和黄褐土,作同样的回归分析(表3),当粘粒与有机质含量比在2.8~16时,黄棕壤有机质粘粒交互作用达到显著,复合对土壤CEC贡献为-26.7%;黄褐土在比值为2~16时,交互作用达10%显著水平,复合贡献量为-31.9%。在黄褐土的这些样品中,有机质CEC平均值为157me/100g,对土壤CEC相对贡献为31%,是显著的正效应。说明对于质地较粘重的黄褐土,在方程(1)中有机质为负贡献仅是表现现象。事实上是有机粘粒复合致土壤CEC降低,而并不是有机质本身CEC为负值而导致土壤CEC降低的。

表3 粘粒与有机质不同含量比土壤CEC的回归方程

土 壤	粘粒/有机质 均值, 范围	样本 数	回 归 方 程 $Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2$	复回归系数 R
棕 壤	25.8, >16	25	$Y = 4.04 + 0.46x_1^{**} + 1.14x_2 - 0.029x_1x_2$	0.7368**
	6.6, 3-15	24	$Y = 7.60 + 0.38x_1^{**} + 2.33x_2^{*} - 0.114x_1x_2^{*}$	0.8741**
	1.5, <2	22	$Y = 8.78 + 0.06x_1 + 1.95x_2^{*} - 0.020x_1x_2$	0.9615**
黄棕壤	8.0, 2.8-16	58	$Y = 3.88 + 0.45x_1^{*} + 4.40x_2^{**} - 0.163x_1x_2^{*}$	0.8440**
黄褐土	8.4, 2-16	50	$Y = 8.39 + 0.49x_1^{*} + 1.57x_2^{*} - 0.139x_1x_2^{\Delta}$	0.6615**

注: Δ , *, ** 分别为达10%, 5%和1%的显著水平。

单位质量有机粘粒复合对土壤CEC贡献,在粘粒与有机质数量比大约在3~16的范围内,黄棕壤(16.3me/100g) > 黄褐土(13.9me/100g) 和 棕壤(11.4me/100g)。这是因为棕壤有机质含量较高,且多为粗组分;黄褐土则是粘粒含量较高致复合对CEC影响较低的缘故。

有机粘粒复合作用达到显著且对土壤CEC效应较大时,三种土壤粘粒与有机质含量

比平均值均在8左右,这个数值很接近土壤有机质与粘粒CEC之比,说明在这种情况下,有机-粘粒复合相互掩盖或消耗交换点的数量最多。

壤土有机质与粘粒复合对土壤CEC的相对贡献为-19.8%。

参 考 文 献

- 1 Williams R. The contribution of clay and organic matter to the base exchange capacity of soils. *J Agr Sci*, 1932, 22: 845~851
- 2 Kelly C W, Thomas R P. A method of estimating the organic exchange complex of a Soil. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1942, 7: 201~205
- 3 Olson L C, Bray R H. The determination of organic base-exchange capacity of soils. *Soil Sci*, 1938, 45: 483~496
- 4 Yuan T L, Nathan Grammon J, Leighty R G. Relative contribution of organic and clay fractions to cation-exchange capacity of study soils from several soil groups. *Soil Sci*, 1967, 104: 123~128
- 5 Somani L L, Saxean S N. Contribution of organic carbon and clay to the cation exchange capacity of some broad soil groups of Rajasthan. *Agrochimica*, 1977, 21(3~4): 200~206
- 6 Sahrawat K L. An analysis of the contribution of organic matter and clay to cation exchange capacity of some Philippine soils. *Comm Soil Sci Plant Anal*, 1983, 14(9): 803~809
- 7 Wrigh W R, Foss J E. Contribution of clay and organic matter to the cation exchange capacity of Maryland soils. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1972, 36: 115~118
- 8 安战士, 徐明岗. 陕西三种土壤有机质和粘粒对阳离子交换量的贡献. *土壤*, 1988, 20(6): 310~313
- 9 徐明岗, 安战士. 土壤有机质表现阳离子交换量几种测定方法的比较. *土壤肥料*, 1990, 6: 45~47
- 10 熊毅主编. *土壤胶体(第一册)*. 北京: 科学出版社, 1983: 329~426

Contribution of Organic Matter and Clay Complex to Cation Exchange Capacity in Soils

Xu Minggang An Zhanshi Zhang Jianxin

(Department of Pedology and Agrochemistry)

Abstract Results analysed by using multiple regression equation: $Y(\text{CEC}) = b_0 + b_1x_1(\text{clay}\%) + b_2x_2(\text{organic matter}\%) + b_3x_1x_2$ of CEC, organic matter and clay of 344 soil samples of brown earth, yellow brown earth, yellow drab—earth and lou soil indicated that when the content ratio of clay to organic matter was 3—16 (average 8 or so, close to the CEC rate of organic matter to clay), the organic-clay complex affected soil CEC significantly. This also revealed the complex depleted an amount of total exchange-site of clay and organic matter by 41.8%, 26.7%, 31.9% and 19.8% in four types of soils.

Key words Cation Exchange Capacity (CEC), organic matter, clay, organic clay complex, brown earth, Lou soil, yellow brown earth, yellow drab earth