

# 晋中淡褐土中有机质对 阳离子交换量的影响\*

杨振强\*\* 林成谷

(山西农业大学土壤农化系)

## 摘 要

本文借用多元回归和通径分析方法,讨论了晋中淡褐土耕层的颗粒组成、比表面、可变电荷和永久电荷量以及有机质含量及其与矿质部分的复合程度和结合形态等,对土壤交换容量的贡献和影响。通径分析表明土壤有机质含量虽远比矿质颗粒为低,但仅就对 CEC 影响的重要性而言,有机质超过矿质颗粒,对于质地较轻的土壤尤为如此。

农业土壤中有机质的数量虽远比矿物质为低,但却深刻地影响土壤理化性质。近年来,国内已有人注意到有机矿质复合状况和不同结合形态腐殖质对土壤表面性质的影响<sup>[2,7]</sup>,但综合地就有机质与土壤 CEC 关系的研究则较少。为此,本文研究了晋中淡褐土耕层土壤的几项与 CEC 关系较密切的土壤性质,及其与 CEC 之间的相互关系。借助多元回归和通径分析,说明有机质对土壤 CEC 的相对贡献,探讨有机矿质复合及不同结合形态腐殖质对土壤 CEC 的综合影响。

## 一、材料和方法

供试土样采自晋中汾河二级阶地上的淡褐土耕层(0—20厘米)。土壤基本性质见表1。

有机无机复合度的测定用重液分离<sup>[3]</sup>,探头式超声分散<sup>[3]</sup>,求得原土复合量和复合度<sup>[7]</sup>。结合态腐殖质的分组,采纳傅积平的改进法<sup>[6]</sup>。采用 Mehlich 法<sup>[10]</sup>,以 pH 8.2 的 BaCl<sub>2</sub>-TEA 为交换剂,测定阳离子交换量(CEC<sub>8.2</sub>);用稀 HCl 淋洗法制成的 H 质土壤从 BaCl<sub>2</sub> 溶液中吸持的 Ba<sup>++</sup> 量,代表永久负电荷量(CEC<sub>p</sub>),即 CEC<sub>8.2</sub> 与 CEC<sub>p</sub> 的差值,即为 CEC<sub>v</sub>,代表 pH 8.2 时的可变负电荷量。此外,用丘林法测定有机碳,比重计法测定颗粒组成。

## 二、结果与讨论

### (一) 有机质、矿质颗粒与土壤 CEC 的相关分析

有机质和矿质颗粒是土壤产生交换吸附的主要物质基础,其测定结果如表2所示。

\* 原文先后承蒙陈恩凤、叶和才、夏荣基、席承藩等教授审阅。中国科学院南京土壤所张效年、中国农科院土肥所金维续等同志对试验提供过指导意见。赵启如等同志参加了部份试验工作。一并致谢。

\*\* 现在天津农学院工作。

表 1 供试土壤基本性质  
Table 1 Basic properties of soil samples

样本号 No. of Samples	采样地点 Samples locality	pH (H <sub>2</sub> O) 1:1	碳酸钙 (%) CaCO <sub>3</sub>	有机质 (%) O. M.	颗粒组成*(%) Particle component	
					粉粒 Silt	粘粒 Clay
					0.05—0.005 (mm)	<0.005 (mm)
1	太谷县桃园堡村	7.80	5.2	1.17	36.0	25.1
2	太谷县桃园堡村	7.88	5.9	1.16	44.0	25.2
3	太谷县新村	7.91	8.4	1.59	45.9	44.9
4	太谷县新村	8.00	5.2	1.55	46.6	27.3
5	太谷县范村	7.74	6.6	1.36	43.4	31.7
6	太谷县范村	7.85	8.5	1.24	40.5	50.0
7	太谷县杨家庄村	8.03	5.0	0.67	31.7	28.2
8	太谷县杨家庄村	8.07	4.9	0.97	38.6	26.9
9	太谷县河西村	7.94	6.4	1.55	41.6	29.6
10	太谷县河西村	7.76	5.6	1.00	49.1	29.8
11	榆次县农科站	8.01	6.7	1.00	35.8	22.1
12	榆次县城关	7.87	8.5	1.16	51.1	37.3
13	榆次县聂村	8.03	6.2	1.07	42.0	24.7
14	榆次县良种场	7.67	9.5	1.38	53.2	30.1
S-01	太谷县河西村	7.91	5.4	1.28	42.1	26.4
S-02	太谷县河西村	8.01	4.9	0.83	40.7	26.9
S-03	太谷县杨家庄村	7.81	6.4	1.83	36.9	34.8
S-04	太谷县杨家庄村	7.92	7.0	1.52	40.0	36.4
T-CK	山西农业大学	8.02	7.2	1.60	49.8	32.5
T-B	山西农业大学	8.07	7.2	1.71	48.9	31.1
T-C	山西农业大学	8.01	7.2	2.19	50.4	29.2
T-A	山西农业大学	7.99	7.0	2.26	49.6	28.6

\* 颗粒分级采用《中国土壤》1978年方案。

此外,影响有机质和粘粒表面性质以及某些与 CEC 有关的其它性质的测定结果,亦列入表 2。

根据表 1 和表 2 的结果,计算了 CEC 与主要的土壤性质的相关性。可以看到土壤 CEC 分别与粘粒含量、比表面、永久负电荷和可变负电荷都具有极显著的直线相关性 ( $P < 0.001$ ),  $r$  值依次为 0.778, 0.760, 0.782 和 0.790。CEC 与有机质的相关性的显著性稍次 ( $P < 0.01$ ,  $r = 0.602$ )。这与大多数的报道是相一致的<sup>[8,9,11,12]</sup>。比表面与永久电荷与 CEC 之所以具有极显著的相关性 ( $P < 0.001$ ), 这是因为母质相同的同一类型土壤,比表面与永久电荷量均受粘粒含量所决定,粘粒与比表面和永久电荷的相关系数,分别为 0.949 和 0.916。此外,CEC 与粉粒含量之间也有良好的相关性,  $r = 0.499$  ( $P < 0.05$ )。

土壤中有有机质和矿物质的复合程度及结合形态,也对土壤 CEC 产生影响,根据资料,CEC 与原土复合量之间的相关性,  $r = 0.526$  ( $P < 0.02$ )。与原土复合度之间  $r = -0.562$  ( $P < 0.01$ )。但有机无机的结合形态,除稳结态明显影响 CEC ( $r = -0.557$ ;

表 2 一些与阳离子交换量有关的土壤性质  
Table 2 Some soil characteristics relating to CEC

样本号 No. of samples	有机碳 (%) Organic carbon	原土复合量 Quantity of complexing (%)	原土复合度 Degree of complexing (%)	疏松态碳 (%) Loose combined carbon (L)	紧密态碳 (%) Dense combined carbon (D)	稳态碳 (%) Stable combined carbon (S)	% total combined carbon			比表面积 (m <sup>2</sup> /g) Specific surface area	阳离子交换量 CEC <sub>g,2</sub> (me/100g)	永久负电荷 CEC <sub>p</sub> (me/100g)	可变负电荷 CEC <sub>v</sub> (me/100g)
							疏松态 (L)	稳态 (S)	紧密态 (D)				
1	0.68	0.61	90.8	0.23	0.31	0.08	37.1	12.9	50.0	67.4	20.2	8.0	12.2
2	0.67	0.55	82.1	0.26	0.21	0.07	46.4	12.5	41.1	70.5	19.9	10.1	9.8
3	0.92	0.70	76.6	0.37	0.19	0.16	51.3	22.2	26.5	134.8	27.2	15.6	11.6
4	0.90	0.85	94.9	0.27	0.47	0.13	31.0	14.9	54.1	84.1	19.8	10.6	9.2
5	0.79	0.62	77.8	0.25	0.31	0.06	39.7	9.5	50.8	91.3	26.7	12.1	14.6
6	0.72	0.66	91.5	0.29	0.36	0.05	42.6	7.4	50.0	148.5	29.5	16.3	13.2
7	0.39	0.37	94.9	0.09	0.18	0.09	24.3	24.3	51.4	71.9	17.3	8.2	9.1
8	0.56	0.52	92.2	0.11	0.33	0.09	20.8	17.0	62.2	81.1	21.1	8.0	13.1
9	0.90	0.68	75.8	0.32	0.31	0.07	45.7	10.0	44.3	95.2	24.1	10.2	13.9
10	0.58	0.50	86.4	0.14	0.32	0.05	27.5	9.8	62.7	91.6	20.5	11.2	9.3
11	0.58	0.48	82.8	0.24	0.18	0.07	33.9	14.3	36.8	60.7	18.1	8.2	9.9
12	0.67	0.50	74.5	0.18	0.28	0.05	35.3	9.8	54.9	103.7	27.7	12.9	14.8
13	0.62	0.47	75.1	0.25	0.17	0.06	42.0	12.5	35.5	75.2	19.6	9.8	9.8
14	0.80	0.64	79.4	0.24	0.36	0.05	36.9	7.7	55.4	82.2	25.8	9.8	16.0
S-01	0.74	0.66	89.8	0.22	0.36	0.09	32.8	13.4	53.8	77.2	21.2	8.7	12.5
S-02	0.48	0.45	94.9	0.14	0.22	0.10	30.4	21.7	47.9	84.3	19.1	10.0	9.1
S-03	1.06	0.79	74.2	0.40	0.42	0.06	49.4	7.4	43.2	97.8	25.2	11.8	13.4
S-04	0.88	0.68	77.3	0.31	0.31	0.08	44.3	11.4	44.3	92.8	24.6	11.9	12.7
T-CK	0.93	0.73	78.3	0.35	0.28	0.09	47.3	12.2	40.5	87.3	24.0	11.8	12.2
T-B	0.99	0.75	76.1	0.37	0.31	0.09	48.1	11.7	40.2	82.7	24.6	12.4	12.2
T-C	1.27	0.95	75.1	0.49	0.40	0.09	50.0	9.2	40.8	89.9	26.1	11.2	14.9
T-A	1.31	1.01	74.9	0.53	0.43	0.07	52.5	6.9	40.6	90.6	26.0	10.4	15.6

$P < 0.01$ ) 之外, 松结态和紧结态均不显相关性。但它们对 CEC 的综合影响中的各自贡献又将如何, 将在下一节借用通径分析作一初步探讨。

### (二) 有机质对土壤 CEC 的相对贡献

土壤有机质对 CEC 的相对贡献及其本身交换容量的大小, 不仅因其含量和性质不同而异, 而且还因其与矿物质结合形态而不同, 研究的方法也将影响测定值或估计值。因此, 要分别估计有机质和矿质成份对土壤某项理化性质的作用是很困难的。因为, 我们还不可能将它们完全分离开, 而且对土壤性质的影响也非加和性的。为此, 采用多元回归可能是一种较好的方法。联系本地区土壤的特点, 认为用有机质和矿质颗粒估计 CEC, 确定相对贡献大小, 较为理想的是:  $Y = 2.40 + 3.06X_1 + 0.128X_2 + 0.355X_3$  的三元回归方程。式中  $X_1$  为有机质(%);  $X_2$  为粉粒(%);  $X_3$  为粘粒(%);  $Y$  为阳离子交换量(me/100g)。按该回归方程的 CEC 计算值占其实测值的百分比平均为  $100.3\% \pm 6.1\%$ , 变异系数仅为 6.1%。按此方程估计, 晋中淡褐土有机质的 CEC 值为 306 me/100 g 土, 而粉粒和粘粒的 CEC 值分别为 13 me/100 g 土和 36 me/100 g 土。

一般耕作土壤, 有机质对 CEC 的相对贡献有一大致范围。胡荣梅<sup>[4]</sup> 在草甸褐土上用灼烧法处理土样后, 估计出有机质的相对贡献为 16—35%。Somani 等<sup>[11]</sup> 对 6 种不同土壤的 150 个样本, 用多元回归法估计, 有机质的相对贡献为 17.3—23.5%。我们的估计值是, 有机质、粉粒、粘粒对 CEC 的相对贡献分别为 18%, 24% 和 47%。

### (三) 有机矿质复合对土壤 CEC 的影响

为说明有机质和矿质颗粒间的相互关系对 CEC 所产生的综合影响, 我们尝试用通径分析方法探讨这一问题。表 3 为通径分析表。

表 3 通径分析  
Table 3 Path analysis

项目 Item	$x_1 \rightarrow Y$	$x_2 \rightarrow Y$	$x_3 \rightarrow Y$	$x_4 \rightarrow Y$	$x_5 \rightarrow Y$	$x_6 \rightarrow Y$	$r_{iy}$
$x_1, 1 \rightarrow$	0.122	0.108	0.541	-0.332	0.051	0.010	0.499
$x_2, 2 \rightarrow$	0.020	0.662	0.225	-0.135	0.053	-0.047	0.778
$x_3, 3 \rightarrow$	0.062	0.140	1.061	-0.683	0.164	-0.142	0.602
$x_4, 4 \rightarrow$	0.057	0.126	1.020	-0.710	0.125	-0.092	0.526
$x_5, 5 \rightarrow$	0.023	0.131	0.641	-0.329	0.269	-0.354	0.382
$x_6, 6 \rightarrow$	0.003	-0.075	-0.363	0.158	-0.230	0.414	-0.094

$x_1$ : 粉粒;  $x_2$ : 粘粒;  $x_3$ : 有机质;  $x_4$ : 复合量;  $x_5$ : 松结态碳/总碳;  $x_6$ : 紧结态碳/总碳;  $Y$ : 阳离子交换量;  $r_{iy}$ : 简单相关系数;  $i$ : 1—6。

与矿质颗粒相比, 有机质的绝对含量很低, 其相对贡献必然较小, 但根据上面所示的三元回归方程式中常数  $X_1 - X_3$ , 可以估计有机质本身的阳离子吸附能力约是粘粒的 8—9 倍, 约是粉粒的 24 倍。因此, 在实际可能的变化幅度内, 土壤有机质含量的提高, 对 CEC 的影响将比矿质颗粒更为重要。表 3 所示有机质的直接通径系数  $P_{3y}$  (1.061) 高于粘粒的  $P_{2y}$  (0.662) 和粉粒的  $P_{1y}$  (0.122), 即可说明, 仅就对 CEC 影响的重要性而言, 有机质超过矿质颗粒。尤其是质地较轻的土壤, 有机质对吸附交换性的影响就更为重要。

原土复合量,直接反映了与矿质复合的有机碳的多少,也反映了有机质特别是矿质颗粒表面性质被改变的程度,以及两者非加和性的大小。虽然,有机矿质复合的机理是复杂的,结合方式是多样的。然而,各种结合方式通常都要伴随原有交换点的消耗或掩盖。因此,复合量越大,土壤中原有的交换点被消耗和掩盖得也就越多,则降低 CEC 的作用越强。这样,有机碳复合量便具有较高的负的直接途径系数 ( $P_{4y} = -0.710$ )。

有机质与复合量之间有极显著的相关性 ( $r = 0.962, P < 0.001$ )。正因为这种关系的存在,有机质对 CEC 的积极作用,不可能完全表现出来。因为有机质与矿质成分复合后,不但影响矿质部分的吸附能力,也将减弱其本身的吸附能力。有机质对 CEC 的直接途径系数  $P_{3y}$  高达 1.061, 而  $r_{3y}$  (即有机质与 CEC 的相关系数) 却只有 0.602, 两者相差较大。这一现象的出现,主要原因就在于有机质通过复合量这一途径存在负的间接途径系数 ( $P_{3 \rightarrow 4 \rightarrow y}$  为  $-0.683$ )。

土壤有机质与原土复合量之间存在极显著的相关性 ( $r = 0.962$ ), 表明同一地区的土壤,在耕作和种植等条件基本一致时,土壤有机质含量越低,有机和矿质部分交换量的非加性也越小;一定单位的有机质对土壤 CEC 所做的贡献,即表现交换量也就越大<sup>1)</sup>。因此,要改善土壤吸附交换等理化性能时,应特别注意对有机质含量较小的低肥土壤增施有机肥,以使有机肥发挥更大的作用,收到更大的效益。

土壤中,有机矿质复合是必然的,各种结合形态的腐殖质同时存在,所占比例不同。本地区土壤,以紧结态和松结态腐殖质为主,分别占结合态总碳的 46.7% 和 39.7%。其中松结态腐殖质量与有机质量的相关性极显著 ( $r = 0.605^{**}$ )。由于松结态腐殖质有较高的化学活性,对土壤 CEC 有正的直接途径效应 ( $P_{5y} = 0.269$ ), 也使有机质因此而表现出正的间接途径效应 ( $P_{3 \rightarrow 5 \rightarrow y} = 0.164$ )。这将有利于有机质作用的发挥。试验表明,对土壤不断增施有机肥,补充新鲜腐殖质后,随土壤有机质含量的增加,松结态腐殖质的相对量、绝对量均有所提高。可见光谱、红外光谱、元素分析等也说明,这种土壤的腐殖质缩聚度低,脂肪族侧链比例较大, C/H 较低,氧含量和羧基等含氧官能团增多,所以活性较高<sup>2)</sup>。

相反,从表 3 可见,尽管紧结态腐殖质比松结态腐殖质有更高的直接途径效应 ( $P_{6y} > P_{5y}$ ), 但有机质通过紧结态途径却有负的间接效应 ( $P_{3 \rightarrow 6 \rightarrow y}$  为  $-0.142$ )。  $r_{6y}$  与  $P_{6y}$  相差甚大,符号相反,况且  $r_{6y}$  本身已说明紧结态腐殖质与 CEC 无显著相关。因此,可以认为,在各种因素综合作用下,紧结态腐殖质对改善土壤保肥性、缓冲性的直接意义不大。

因此,为给作物提供良好的生活环境,创造具备自我协调能力的土壤,注意增施有机肥,不断补充和更新腐殖质,提高其活性,将是一项长期的重要的农业措施。

顺便指出,尽管土壤中粉粒与 CEC 的相关的显著性较低 ( $r = 0.499, P < 0.02$ ), 表 3 所示的途径分析  $P_{1y}$  也仅为 0.122, 但是  $P_{1 \rightarrow 3 \rightarrow y}$  却高达 0.541。这不仅表明供试土壤中可能存在有机质-粉粒复合体,而且也反映出粉粒确实通过有机质发挥了较高的间接效应。而实际上,当土壤质地较轻时,大部分有机质仍分布于粉粒这一粒级中<sup>[1]</sup>。

1) 杨振强、林成谷, 1985: 晋中淡褐土腐殖质特性的研究。(资料)。

2) 杨振强、林成谷, 1985: 晋中淡褐土腐殖质特性的研究。(资料)。

## 参 考 文 献

- [1] 文启孝, 1984: 土壤有机质的组成、形成和分解。土壤, 第16卷4期, 121—129页。
- [2] 刘忠翰、蒋剑敏、熊毅, 1984: 稻草、紫云英对土壤复合体性质的影响。土壤学报, 第21卷1期, 10—20页。
- [3] 金维续、王小平、赵学蕴、余永年, 1982: 探头超声处理分离土壤有机无机复合体的研究。土壤肥料, 第1期, 37—39页。
- [4] 胡荣梅、陈定一, 1961: 土壤吸收量是土壤肥沃度的一项重要指标。土壤学报, 第9卷3—4期, 129—132页。
- [5] 傅积平、张绍德、诸金海, 1978: 土壤有机无机复合度测定法。土壤肥料, 第4期, 40—42页。
- [6] 傅积平, 1983: 土壤结合态腐殖质分组测定。土壤通报, 第2期, 36—37页。
- [7] 傅积平、张敬森、熊毅, 1983: 太湖地区水稻土复合胶体的特性。土壤学报, 第20卷2期, 112—128页。
- [8] Hallsworth, E. G. and Wilkinson, G. K., 1958: The contribution of clay and organic matter to the cation exchange capacity of the soil. *J. Agr. Sci.*, 51: 1—3.
- [9] Martel, Y. A., Dekimpe, C. R. and Laverdiere, M. R., 1978: Cation-exchange capacity of clay-rich soil in relation to organic matter, mineral composition, and surface area *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 764—767.
- [10] Mehlich, A., 1960: Charge characterization of soils. *Trans. 7th. Inter. Congr. Soil Sci.*, 2: 292—302.
- [11] Somani, L. L. and Saxena, S. N., 1977: Contribution of organic carbon and clay to the cation exchange capacity of some broad soil groups of Rajasthan. *Agrochimica*, 21, 3—4: 200—206.
- [12] Yuan, T. L., Nathan Gammon, Jr. and Leighty, R. G., 1967: Relative contribution of organic and clay fractions to cation exchange capacity of sandy soils from several soil groups. *Soil Sci.*, 104: 123—127.

## INFLUENCE OF ORGANIC MATTER ON CATION EXCHANGE CAPACITY OF LIGHT CINNAMON SOILS IN CENTRAL SHANXI

Yang Zhenqiang and Lin Chengu

(Department of Soil Science and Agrochemistry, Shanxi Agricultural University)

### Summary

Contributions and influence of mechanical composition, specific surface, variable and permanent charges, organic matter content and complexing degree and forms of mineral fraction on exchange capacity of light cinnamon soils in central Shanxi were studied. Results from path analysis indicate that although the organic matter content was much lower than that of mineral particles in the soil, the effect of organic matter was more significant than the mineral fraction of the soils, it was especially so in the soil with lighter texture.