

土壤颗粒组成与固定态铵之间的关系*

张崇玉 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

RELATIONSHIP BETWEEN PARTICLE COMPOSITION AND FIXED AMMONIUM IN SOIL

Zhang Chongyu Li Shengxiu

(College of Resources and Environmental Sciences, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forest,
Yangling, Shaanxi 712100, China)

关键词 固定态铵; 土壤颗粒; 相关分析

中图分类号 S143.1⁺2 文献标识码 A

大量研究表明, 固定态铵的含量与土壤质地有关。李生秀等人的研究表明^[1], 西北地区土壤的固定态铵含量与粘粒含量呈显著正相关, 与砂粒含量呈显著负相关; Feigin 和 Yaalon 的测定证明, 以色列 129 种钙质土固定态铵含量与粘粒 (< 0.002 mm) 含量显著正相关 ($r = 0.63, p < 0.01$)^[2]; 施书莲等人^[3]报道, 棕壤、栗钙土、黑土、棕钙土和红壤带土壤中的固定态铵含量与粘粒、粘粒及细粉砂含量之和的相关均达到 0.01 显著水准。这些结果说明, 固定态铵主要存在于粘粒和粉粒中, 而砂粒中几乎没有^[4]。

但是, 这一研究也还存在着一些问题。一是有些研究者所用的土壤较少, 所得的结果难以反映全面情况。如研究黄淮海平原土壤中的固定态铵与各级土粒的相关研究中仅用了 14 种土样^[5]; 研究砖红壤中它们之间的关系时只用了 8 种土样^[3]。二是所得的结果并不一致。虽然大多数研究资料证实, 固定态铵与粘粒或粘粒 + 细粉粒之间密切相关^[6, 7]。但也有与粘粒不相关的报道^[8], 还有人得出固定态铵与粘粒无关, 而只与蛭石有关的结论^[9]。三是所用分析方法均是相关分析^[10]。相关分析固然能在一定程度上反映固定态铵与不同粒级两个变量之间的相互关系, 但毕竟是一种间接方法, 要证明其间有

无可靠关系存在, 最好是用直接法去验证, 而这方面至今尚无资料。

本文采用全国各地 35 种土壤, 测定了固定态铵含量和颗粒组成, 计算了它们之间的相关性; 以 11 种土壤为对象, 分离了砂粒、粉粒及粘粒, 分别测定了这 3 种粒级中的固定态铵含量, 以测定值为据, 计算了这些土壤中的总固定态铵, 结果与原来的测定值非常一致。

1 材料与方法

1.1 供试土样

采自陕西、甘肃、新疆、宁夏、吉林、黑龙江、辽宁、河南、北京、四川、云南、广东、广西、江西、浙江、江苏、湖南、海南等地不同类型的 35 种土壤。土样采自 0~20 cm 表层。土样采好后, 及时风干、拣去碳粒和植物根茬, 研磨过 1 mm 筛孔供土壤机械分析, 过 0.25 mm 筛孔供土壤固定态铵分析之用。

1.2 样品分析

土壤机械分析采用吸管法, 固定态铵测定采用 Silva-Bremner 法^[11]。土壤粘粒、粉粒、砂粒的分离和提取按以下步骤进行: 分别称取一定量的土壤置于

* 国家自然科学基金重大项目(49890330)、国家自然科学基金重点项目(30230230)、国家自然科学基金面上项目(30070429, 40201028)和国家重点基础研究专项经费(G199011707)资助

作者简介: 张崇玉(1960~), 男, 陕西杨凌人, 在读博士生, 副教授。主要从事土壤及作物氮和微量元素方面的研究

收稿日期: 2003-03-26; 收到修改稿日期: 2003-04-30

三角瓶中,加 H_2O_2 除去有机质,依土壤 pH 值不同加入 0.5 mol NaOH 或 0.5 mol 六偏磷酸钠作为分散剂,煮沸分散后通过 0.2 mm 孔径筛,加水冲洗筛中内容物于玻璃大缸中,加水至一定刻度线,搅拌均匀,记时,并根据土粒直径大小、液温和取样深度,在一定时间吸取悬浮液,直至取样深度以上溶液清亮,再进行下一个级粒的分离和提取。提取的悬浊液置于瓷盘内,放在水浴锅上蒸干。收集的粘粒、粉粒和砂粒在烘箱中烘干。

2 结果与讨论

2.1 我国土壤的颗粒组成

土壤颗粒组成的分级方法不一致,各国之间均有差异^[12]。本研究采用的分级较细(表 1),可组合成不同体系。

供试土壤无石砾存在,此级缺如。石砾以下的粒级则可组成不同的分级体系:以 0.01 mm 为界,其上为物理性砂粒,其下为物理性粘粒,则与前苏联^[13]的粗分法一致;以 1 ~ 0.05 mm 为砂粒,0.05 ~ 0.005 mm 为粉(砂)粒,以 0.005 mm 以下为粘粒,则与我国 1978 年暂用的分级制一致^[14];以 1 ~ 0.05 mm 为砂粒,0.05 ~ 0.002 mm 为粉粒,0.002 mm 以下为粘粒,则与我国 1982 年制定的分级制一致^[15]。

由于气候、降水、土壤母质种类及风化程度不同,我国土壤颗粒差异较大。按前苏联分级制,物理砂粒 35.8% ~ 94.7%, 平均 64.8%; 物理粘粒 5.1% ~ 64.2%, 平均 35.2%。按我国 1978 年暂用的分级制,砂粒 8.6% ~ 78.5%, 粉粒 3.8% ~ 66.9%, 粘粒 4.8% ~ 56.6%; 平均砂粒 33.4%, 粉粒 39.2%, 粘粒 27.4%。按我国 1982 年制定的分级制,砂粒 8.6% ~ 78.5%, 粉粒 4.2% ~ 69.8%; 粘粒 2.5% ~ 56.3%; 平均砂粒 33.4%, 粉粒 46.3%, 粘粒 20.3%。

2.2 土壤颗粒组成与固定态铵的相关关系

我国土壤中的固定态铵含量变异很大。供试的 35 种土壤中,高者 360 mg kg^{-1} ,低者仅 18 mg kg^{-1} ,平均 160 mg kg^{-1} (表 1)。

相关分析表明,固定态铵与土壤颗粒之间的关

系取决于粒级分类体系,但在任何分类体系中,小粒级与固定态铵有正相关关系,而大粒级则与其有负相关关系。原因在于,土壤两种颗粒之间互相关联,其和为 100%,两部分之间必然存在着负相关。这就是一个变量内部的自相关(Self-correlation)。

按前苏联的分级制,土壤固定态铵与物理粘粒的相关系数为 0.386(表 2),达到 0.05 的显著水准。按我国 1978 年的分级制,固定态铵与粉粒的相关系数为 0.392,达 0.05 的显著水准;与粘粒为 0.266,统计上不显著。按我国 1982 年的分级制,土壤固定态铵与粉粒的相关系数为 0.459,而与粘粒为 0.147。前者达到 0.01 的显著水准,后者不显著。

我国两种分级制差异的原因在于 0.005 ~ 0.002 mm 粒级归属范围。这一粒级所占的比例不大(平均 7.1%),但其加入与否却直接影响了粉粒和粘粒的含量,因而影响了其对固定态铵的贡献及相关系数。

颗粒分级体系不同,所得固定态铵与粒级关系的结果并不完全一致。粒级包括的范围越宽,所占比例越大,但不管用哪种分级体系,粉粒和粘粒都是固定态铵的主要载体。固定态铵与这两者之和的相关系数达 0.568,显著高于任一狭窄范围的粒级。粒级范围小时,测定值小而误差较大,小范围的结果也难以反映总体规律;粒级范围宽者则反之。

固定态铵与这两个粒级中各个粒径颗粒之间的关系可以进一步通过相关分析剖析之。研究从两个方面进行:一是计算固定态铵与各个粒级的相关性;二是计算固定态铵与不同粒级组合之间的相关性。由表 2 可见,各粒级对固定态铵贡献明显不同,粗砂和细砂与固定态铵均是负相关;从粗粉粒之后,与固定态铵皆是正相关。其中细粉和粗粘(我国 1978 制)或中粉、细粉及粗粘(我国 1982 制)与固定态铵的相关系数均达到显著或极显著水准。而 0.01 ~ 0.005 mm 的粒径颗粒与固定态铵的相关系数最高。意外的是,粘粒和细粘粒与固定态铵不相关(原因后析)。从粒级组合来看,按我国 1978 年的分级制,固定态铵与小于 0.05 mm 的 4 种粒级组合皆有密切显著相关,可达 0.05 或 0.01 的显著水准;按我国 1982 年的分级制,除“细粉 + 粘粒”这一组合外,其余与固定态铵显著或极显著相关。

表 1 土壤颗粒组成(%)和固定态铵含量(mg kg^{-1})

土号	砂 粒(1~0.05 mm)			粉 粒(0.05~0.002 mm)				粘 粒(<0.002 mm)			固定态 铵含量
	粗砂粒	细砂粒	总量	粗粉粒	中粉粒	细粉粒	总量	粗粘粒	细粘粒	总量	
1	6.1±0.3	27.5±0.7	33.6	37.6±1.1	7.5±0.4	8.0±0.1	53.1	2.1±0.1	11.2±0.2	13.3	190±5
2	0.8±0.1	24.0±0.8	24.8	28.5±0.9	14.4±0.2	7.6±0.1	50.5	2.2±0.1	21.6±0.4	23.8	276±4
3	4.0±0.3	9.6±0.6	13.6	32.2±1.6	13.1±0.8	13.4±0.1	58.6	5.7±0.1	22.0±0.3	27.8	187±7
4	4.8±0.1	22.9±0.4	27.7	51.6±3.4	15.3±0.4	2.9±0.0	69.8	0.0±0.0	2.4±0.0	2.5	137±6
5	0.3±0.1	21.9±0.3	22.2	52.4±1.5	6.9±0.8	6.7±0.9	65.9	1.8±0.3	10.1±0.1	11.9	141±6
6	2.8±0.2	59.4±1.8	62.3	23.4±1.2	3.1±0.5	1.7±0.2	28.3	1.3±0.1	8.2±0.0	9.5	138±1
7	2.2±0.2	34.9±1.3	37.1	44.8±2.6	5.6±0.4	3.8±0.3	54.1	1.5±0.2	7.2±0.1	8.7	125±5
8	5.0±0.2	9.7±0.2	14.7	40.8±1.0	8.4±1.2	16.2±1.7	65.3	6.0±1.6	14.0±0.6	20.0	183±1
9	5.6±0.1	3.0±0.1	8.6	27.3±1.7	18.0±0.7	16.9±0.1	62.1	9.1±0.4	20.3±1.0	29.4	194±2
10	12.1±0.4	25.8±1.4	37.9	27.8±1.3	11.3±1.1	5.3±0.1	44.5	4.0±1.1	13.7±0.3	17.6	123±5
11	2.2±0.1	11.5±0.2	13.7	43.5±0.4	11.2±1.0	11.5±0.9	66.2	5.5±0.7	14.6±1.3	20.0	182±5
12	0.8±0.1	15.3±0.3	16.1	50.2±2.0	10.5±0.3	8.0±0.1	68.7	4.0±0.4	11.2±0.5	15.2	205±1
13	0.4±0.0	20.8±0.4	21.2	42.2±0.8	6.8±0.6	12.0±0.5	61.0	4.1±0.5	13.7±0.4	17.8	199±4
14	0.3±0.0	25.5±1.0	25.8	39.3±1.3	8.5±0.1	10.0±0.8	57.8	7.4±0.4	8.9±0.5	16.4	161±6
15	2.6±0.2	23.2±1.2	25.8	33.0±5.1	8.0±0.2	12.3±0.3	53.3	8.6±0.9	12.2±1.9	20.9	212±1
16	3.5±0.2	29.4±0.9	32.9	41.6±5.4	5.7±0.4	4.1±0.2	51.4	5.4±0.1	10.3±0.5	15.7	184±1
17	3.1±0.4	46.0±3.2	49.1	28.5±0.6	2.0±0.0	3.0±0.3	33.4	2.6±0.4	14.9±0.6	17.5	157±1
18	4.9±0.0	48.6±2.5	53.5	19.7±0.3	6.7±0.9	3.9±0.1	30.3	2.9±0.7	13.3±0.2	16.2	190±3
19	2.6±0.3	14.2±0.3	16.8	56.1±1.2	6.4±0.4	2.5±0.1	65.0	4.0±0.3	14.3±0.3	18.3	184±3
20	2.0±0.2	41.3±1.6	43.2	27.5±1.3	3.3±0.1	9.9±0.4	40.7	6.8±0.5	9.2±0.8	16.0	203±2
21	11.8±0.5	19.4±0.8	31.2	20.6±0.5	12.1±0.6	6.3±0.2	39.1	4.2±0.4	25.5±1.0	29.8	360±4
22	0.5±0.0	10.3±0.5	10.8	42.2±2.0	11.2±0.3	13.0±0.5	66.4	6.8±0.5	16.1±0.8	22.8	205±1
23	0.9±0.1	13.8±0.4	14.7	39.4±1.6	11.9±0.4	7.8±0.3	59.1	13.2±0.3	13.1±0.5	26.2	325±5
24	6.9±0.4	17.8±0.7	24.6	36.5±1.4	10.6±0.4	13.6±0.5	60.6	4.1±0.3	10.6±0.3	14.8	58±1
25	2.7±0.1	37.6±1.2	40.3	1.2±0.0	13.0±0.4	11.4±0.4	25.6	4.5±0.1	29.5±0.8	34.1	161±2
26	9.7±0.7	35.9±1.3	45.6	23.4±0.8	9.8±0.3	5.9±0.2	39.1	1.8±0.0	13.5±0.5	15.3	80±3
27	30.5±2.0	15.9±0.6	46.4	48.6±1.7	0.2±0.0	0.2±0.0	49.0	0.6±0.1	4.0±0.1	4.6	81±3
28	25.0±1.1	21.1±1.0	46.1	48.0±2.5	0.3±0.0	0.2±0.0	49.1	0.9±0.1	4.0±0.1	5.0	76±1
29	50.4±2.6	28.1±1.6	78.5	5.1±0.3	0.6±0.1	1.6±0.1	7.3	1.4±0.0	12.8±0.5	14.2	58±1
30	2.3±0.1	8.2±0.5	10.5	30.5±1.3	13.1±0.3	11.3±0.5	55.0	6.2±0.4	28.3±0.9	34.5	207±2
31	0.9±0.1	28.9±2.1	29.6	12.4±0.6	6.4±0.2	8.2±0.3	27.0	6.2±0.3	37.2±1.4	43.4	52±2
32	6.4±0.3	33.0±0.9	39.4	2.2±0.2	1.6±0.1	0.3±0.0	4.2	3.8±0.1	52.5±1.0	56.3	67±4
33	1.4±0.1	36.2±3.1	37.6	17.0±0.6	4.3±0.3	4.0±0.2	25.2	1.2±0.1	36.0±1.5	37.2	172±4
34	30.1±1.3	29.9±0.2	60.0	11.5±0.3	1.5±0.0	5.0±0.1	18.0	2.0±0.1	19.4±0.8	21.4	18±2
35	40.6±1.6	31.5±1.5	72.1	11.8±0.5	2.4±0.2	1.3±0.1	15.5	1.0±0.1	11.5±0.8	12.4	22±1

表2 土壤颗粒与固定态铵的相关系数

分级制	颗粒名称	粒径范围(mm)	r	分级制	颗粒名称	粒径范围(mm)	r
各个粒级与固定态铵的相关系数				中国 1982	细粉粒	0.005 ~ 0.002	0.384*
苏联制	物理砂粒	> 0.01	-0.386*	年制	粗粘粒	0.002 ~ 0.001	0.517**
	物理粘粒	< 0.01	0.386*		细粘粒	< 0.001	0.020
中国 1978	砂粒	1 ~ 0.05	-0.561**	粒级组合与固定态铵的相关系数			
年制	粉粒	0.05 ~ 0.005	0.392*	中国 1978 年制			
	粘粒	< 0.005	0.266	粗分法	粉粒 + 粘粒	< 0.05	0.568**
中国 1982	砂粒	1 ~ 0.05	-0.561**	细分法	粉粒 + 粗粘	0.05 ~ 0.001	0.508**
年制	粉粒	0.05 ~ 0.002	0.459**		细粉 + 粘粒	< 0.01	0.388*
	粘粒	< 0.002	0.147		细粉 + 粗粘	0.01 ~ 0.001	0.555**
中国 1978	粗砂粒	1 ~ 0.25	-0.554**	中国 1982 年制			
年制	细砂粒	0.25 ~ 0.05	-0.259	粗分法	粉粒 + 粘粒	< 0.05	0.568**
	粗粉粒	0.05 ~ 0.01	0.271	细分法	粉粒 + 粗粘	0.05 ~ 0.001	0.508**
	细粉粒	0.01 ~ 0.005	0.551**		中细粉 + 粘粒	< 0.01	0.388*
	粗粘粒	0.005 ~ 0.001	0.473**		细粉 + 粘粒	< 0.005	0.264
	细粘粒	< 0.001	0.020		中细粉 + 粗粘	0.01 ~ 0.001	0.555**
中国 1982	粗砂粒	1 ~ 0.25	-0.554**		粗粉 + 中粉	0.05 ~ 0.005	0.404*
年制	细砂粒	0.25 ~ 0.05	-0.259		中粉 + 细粉	0.01 ~ 0.002	0.513**
	粗粉粒	0.05 ~ 0.01	0.271		细粉 + 粗粘	0.005 ~ 0.001	0.475**
	中粉粒	0.01 ~ 0.005	0.551**				

* 为显著相关; ** 为极显著相关

2.3 相关分析在揭示固定态铵与土壤粒级关系中存在的问题

相关分析固然揭示了固定态铵与土壤粒级之间的关系,有重要意义,但也存在着明显的缺点,表现在一无确定性,二有异常现象。

相关分析是一种统计分析,而统计分析结果的可靠性取决于样本容量。按统计原理,样本数在 30 种以上者为大样本,本研究采用 35 种土壤,属大样本,有充分的代表性,但样本组成的变化(即土壤颗粒的分级体系)却使所得结果有相当大的变异。不同分级体系中的固定态铵与不同粒级的不同关系证明了这一问题。这种统计规律,而非确定规律就必然造成了结果的非唯一性。由于这种非唯一性,相关系数只能是一种趋势的显示,而不可能是固定的常数。在样本组成中,样本受特异值的影响甚大,有时一对特异值的取舍不但可以影响相关系数的大小和显著性,而且影响其方向,这在样本容量小时影响更明显。前人研究表明,固定态铵与粘粒有密切相关^[1-3],但本研究中,不管采用我国哪一类分级体系,固定态铵与粘粒均无密切相关,与细粘粒的相关

系数更低。究竟是固定态铵与粘粒或细粘粒无相关关系,还是由于异常的观测值所造成?所谓异常就是对相关系数影响最大的观察值,由散点图可以看出,有几个特殊点偏离趋势线,可能是异常值。是否如此,可以通过剔除一些“异常”的数据后相关系数的变化进行考察。我们发现,剔除了 32 与 31 号土样后,固定态铵既与粘粒极显著相关,也与细粘粒显著相关。随着其它“异常值”的剔除,固定态铵与粘粒和细粘粒的关系越来越密切,而与其它粒级之间的相关系数变化不大。这证明了粘粒和细粘粒确实是固定态铵存在的主要场所(表 3)。异常值的存在反映了除颗粒之外其它因子对固定态铵的影响。就本试验来说,32 和 31 号土样采自云南玉溪的红壤和砖红壤,固定态铵含量较低,而粘粒含量较高,二者之间不存在对应关系,说明粘粒不是影响这类土壤固定态铵的主要因素。什么是主要因子?我们最近的研究结果表明,固定态铵与蒙脱、伊利石之间高度显著正相关(结果另报),而这两种土壤的矿物组成以高岭石为主。以高岭石为主的土壤,粘粒含量再高其土壤中的固定态铵不会有大的变化。

表 3 取舍某种数据后固定态铵与土壤颗粒的相关关系(r)

去点情况	样本	粘粒	细粘粒	粗粘粒	粉粒	细粉粒	中粉粒	粗粉粒
所有样本	35	0.147	0.017	0.517**	0.459**	0.384*	0.551**	0.271
去掉 32 号(67,56.3)	34	0.323	0.181	0.525**	0.420*	0.352*	0.529**	0.219
再去 31 号(52,43.4)	33	0.506**	0.348*	0.580**	0.388*	0.372*	0.532**	0.168
再去 33 号(171,37.2)	32	0.542**	0.394*	0.593**	0.406*	0.377*	0.540**	0.176
再去 25 号(161,34.1)	31	0.586**	0.442*	0.593**	0.418*	0.383*	0.551**	0.191
再去 30 号(207,34.5)	30	0.602**	0.448*	0.588**	0.415*	0.373*	0.544**	0.198
再去 4 号(137,2.5)	29	0.631**	0.460*	0.593**	0.441*	0.369*	0.591**	0.220

注:括号内为土样固定态铵和粘粒含量

2.4 不同颗粒固定态铵含量与固定态铵总量的关系

以上结论均来自相关分析。采用上述相关分析虽然从不同视角揭示了固定态铵和土壤颗粒组成之间的关系,但这毕竟是一种间接的分析,未能提供直接的证据,其可靠性尚需用其它方法来证明。可以想象,如果相关分析确实能反映固定态铵与土壤颗粒组成的关系,那么,与固定态铵呈正显著相关性的粒级一定固定的铵多,反之则少,而各个粒级固定的铵态氮之和一定与土壤固定的铵态氮有一致性,据此可以分离土壤为不同粒级的颗粒,并测定不同粒级的固定态铵的含量,然后比较其与土壤固定态铵的差别。基于这种考虑,我们选用 11 种土壤(7 种来自北方地区,4 种来自南方地区),按砂粒、粉粒和粘粒 3 种粒级分离,并测定了这 3 种粒级中的固定态铵。测定结果表明,不论南方土壤还是北方土壤,粘粒中的固定态铵数量最大,粉粒次之,砂粒甚少,

按平均值计算,粘粒固定态铵含量为 266 mg kg^{-1} ,粉粒 163 mg kg^{-1} ,砂粒 66 mg kg^{-1} ,分别占三者之和的百分数为 53.7%、33.0% 和 13.3%。这种结果是否与总固定态铵相符合,可以进行验证。即根据各个土壤不同颗粒的固定态铵含量及粒级的百分数(含量),分别计算供试土壤的固定态铵含量(表 4)。结果表明,各个粒级与固定态铵乘积之和与土壤固定态铵有着相当良好的一致性。当然,这种一致并不是完全相等。由于粒级分离过程麻烦,固定态铵测定也相当费事,测定过程中不可避免地要出现误差,要保证完全一致是不可能的。但显著性检验表明,各个颗粒的计算值与测定的土壤固定态铵含量无显著差异,证明了两者的无本质区别。

不同粒级中固定态铵含量的测定肯定了各个粒级在铵固定中的作用,也证明了土壤中的固定态铵确实是各个粒级固定态铵的综合反映。

表 4 土壤及土壤颗粒中固定态铵含量(mg kg^{-1})

土号	土壤名称	颗粒固定态铵含量			颗粒组成(%)			固定态铵计算值			固定态铵测定值	
		砂粒	粉粒	粘粒	砂粒	粉粒	粘粒	砂粒	粉粒	粘粒		总量
3	灰漠土	142	42	345	13.6	58.6	27.8	6	83	96	185	187
10	垆土	64	136	268	37.9	44.5	17.6	24	60	47	131	123
12	黑垆土	106	161	224	16.1	68.7	15.2	17	111	34	162	185
15	黑土	56	241	267	25.8	53.3	20.9	14	128	56	198	212
19	黄潮土	76	181	278	16.8	65.0	18.3	13	118	51	182	184
22	黄棕壤	59	215	322	10.8	66.4	22.8	6	143	73	222	205
23	乌栅土	111	351	441	14.7	59.1	26.2	16	207	115	338	325
26	水稻土	8	65	315	45.6	39.1	15.3	4	25	48	77	80
28	赤红壤	34	86	102	46.1	49.1	5.0	16	42	5	63	76
30	赤红壤	50	149	282	10.5	55.0	34.5	5	82	98	185	207
31	砖红壤	23	69	78	29.6	27.0	43.3	7	18	34	59	52

3 结 论

1) 我国土壤颗粒组成差异较大,物理性砂粒 64.8%,物理性粘粒 35.2%。无论按我国 1978 年或 1982 年的分级体系,土壤粉粒最高,砂粒次之,粘粒最低。

2) 固定态铵含量高者 360 mg kg^{-1} ,低者仅 18 mg kg^{-1} ,平均 160 mg kg^{-1} ,占全氮 10.5%。

3) 固定态铵与物理性粘粒、粉粒和粘粒之和呈极显著正相关;细粉粒和粗粘粒(我国 1978 年制)或中粉、细粉及粗粘(我国 1982 年制)与固定态铵达显著或极显著水准;在粒级组合中,细粉 + 粘粒、粉粒 + 粗粘、细粉 + 粗粘(我国 1978 年制)与固定态铵显著或极显著相关。

4) 相关分析在揭示土壤颗粒组成时,由于受样本容量和异常值的影响,分析的结果有时难以真实反映两个变量之间的本质联系。本研究剔除两个异常值之后,粘粒与固定态铵的关系由原来的不显著变为极显著,细粘粒也由原来的不显著变为显著。

5) 粘粒中的固定态铵数量最大,次为粉粒,砂粒甚少,粘粒固定态铵平均含量 250 mg kg^{-1} ,粉粒 163 mg kg^{-1} ,砂粒 66 mg kg^{-1} ,分别占三者之和的百分数为 52.2%、34.0% 和 13.8%。11 种土壤各个颗粒的固定态铵含量及粒级百分数乘积与土壤总固定态铵有着良好的一致性。

参 考 文 献

[1] 李生秀,高亚军,艾绍英,等. 土壤中非代换铵的行为 IV.

非代换铵的水平及垂直分布与土壤颗粒组成的关系. 西北农业大学学报, 1992, 20(增刊):90~94

- [2] Feigin A, Yaalon D H. Non-exchangeable ammonium in soils of Israel and its relation to clay and parent materials. *Jour. of Soil Sci.*, 1974, 25 (3):384~397
- [3] 施书莲,文启孝,廖海秋. 我国主要土壤中的固定态铵含量. *土壤*, 1987, 19 (2):79~83
- [4] 文启孝,张晓华. 土壤中的固定态铵. 见:中国土壤学会土壤农业化学专业委员会,土壤生物和生物化学专业委员会编. 我国土壤氮素研究工作的现状与展望. 北京:科学出版社, 1986. 34~45
- [5] 李忠佩,程励励,文启孝. 黄淮海平原土壤中的固定态铵. *土壤通报*, 1992, 23(5):200~202
- [6] 唐玉霞,贾树龙,孟春香,等. 河北省主要土壤固定态铵的含量及影响因素. 见:黄巧云主编. 迈向 21 世纪的土壤与植物营养科学. 北京:中国农业出版社, 1997. 167~170
- [7] 张晓华,杜丽娟,文启孝. 几种水稻土不同粒级中的有机质含量和组成. *土壤学报*, 1984, 21(4):418~425
- [8] 熊金莲. 土壤中固定态铵含量与固铵强度. *土壤*, 1994, 26(1):26~30
- [9] Wen Q X, Cheng L L, Zhang X H. Fixed ammonium contents and NH_4^+ fixation capacities of some cultivated soils in China. *Pedosphere*, 1995, 5(4):315~323
- [10] Paramasivam E, Breitenbeck G A. Distribution of nitrogen in soil of the southern Mississippi River alluvial plain. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1994, 25(3/4):247~267
- [11] 布伦纳 J M 等著. 曹亚澄译. 土壤氮素分析法. 北京:农业出版社, 1981. 94~103
- [12] 姚贤良,程云生等编著. 土壤物理学. 北京:农业出版社, 1986. 1~39
- [13] 朱祖祥主编. 土壤学. 北京:农业出版社, 1982. 11~33
- [14] 中国科学院南京土壤研究所编. 中国土壤. 北京:科学出版社, 1978. 240~253, 285~298
- [15] 熊毅,李庆远主编. 中国土壤(第二版). 北京:科学出版社, 1987. 321~338