

# 塋土不同粒级组分 $K^+$ 吸附研究

王 玉 张一平

(西北农林科技大学资源与环境科学系, 陕西杨陵 712100)

**摘 要** 塋土各粒级  $K^+$  吸附特征有很大区别。在一定平衡液浓度下, 颗粒越细, 土壤固相吸附量越大, 不同粒级固相吸附量大小顺序是: ( $< 0.1 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $< 1 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $1\sim 2 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $2\sim 5 \mu\text{m}$ ), 不同粒级土壤有效阳离子交换量也具有相同的变化规律。混合样中不同粒级组分对吸附的贡献可用吸附贡献率表示, 塋土各粒级饱和和吸附贡献率大小顺序为: ( $< 1 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $1\sim 2 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $> 5 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $2\sim 5 \mu\text{m}$ ), 其中粘粒部分的饱和和吸附贡献率为 85% 左右。在供试混合土样中  $< 1 \mu\text{m}$  粒级吸附贡献率随平衡液浓度增大呈幂函数形式增大, 相反,  $1\sim 2 \mu\text{m}$ 、 $2\sim 5 \mu\text{m}$  粒级吸附贡献率随平衡液浓度增大则呈幂函数形式减小。实验证明混合样中不同粒级  $K^+$  吸附存在交互作用, 吸附交互作用大小可用吸附交互作用系数表征,  $< 1 \mu\text{m}$  和  $1\sim 2 \mu\text{m}$  之间存在吸附负交互作用, 且随平衡液浓度增大而增强。  $< 1 \mu\text{m}$  和  $2\sim 5 \mu\text{m}$  之间存在吸附正交互作用, 且随平衡液浓度增大而减弱。论述了建立土壤多粒级组分吸附方程的必要性, 提出了多粒级组分吸附方程:  $q = \beta(c) \sum r_i f_i(c)$

**关键词** 粒级, 离子吸附, 吸附贡献率, 吸附交互作用, 多粒级组分吸附方程

**中图分类号** S153.61

土壤离子吸附交换和运移显著受土壤质地影响, 例如, 陕西四种主要土壤的阳离子交换量、 $K^+$  运移阻滞因子和磷吸附能力大小顺序依次是黄褐土  $>$  塋土  $>$  黑垆土  $>$  黄绵土<sup>[1,2]</sup>。土壤质地对离子吸附交换的影响实质上是土壤不同粒级组分共同作用的结果。土壤不同粒级组分的比表面、表面电荷密度和数量、矿物组成等均有明显的差异<sup>[3]</sup>, 土壤多粒级组分之间相互作用对土壤性质产生复合作用<sup>[4]</sup>。但目前研究土壤不同粒级组分离子吸附交换特征的工作还不多, 不同粒级离子吸附是否具有相互作用尚无研究报道。本文利用陕西塋土对土壤不同粒级  $K^+$  吸附特征及其吸附贡献率、吸附交互作用和多粒级组分吸附方程进行探讨。

## 1 材料和方法

### 1.1 塋土各粒级土粒的分离

塋土耕层 (0~20 cm) 土样, 采自西北农业大学农一站。取一定量土样, 先用  $0.1 \text{ mol L}^{-1} \text{HCl}$  分解  $\text{CaCO}_3$ , 然后加蒸馏水, 搅匀, 静置沉降, 洗去多余的盐分离子, 反复进行, 直到出现混浊, 然后用超声波分散。利用静置沉降法, 按照 Stokes 定律, 用虹吸法分离各粒级土粒<sup>[4]</sup>。所得各粒级为  $< 1 \mu\text{m}$ 、 $1\sim 2 \mu\text{m}$ 、

2~5  $\mu\text{m}$ 、> 5  $\mu\text{m}$ 。再另取土样,按上述方法分散,离心法提取 < 0.1  $\mu\text{m}$ 粘粒<sup>[4]</sup>。

### 1.2 各粒级 Ca 饱和样品制备

将分离的各级土粒用  $2 \text{ mol L}^{-1} \text{CaCl}_2$  溶液反复浸泡,直至上清液无  $\text{K}^+$ 、pH 为 7.0 时止。再加蒸馏水,静置沉降法洗去多余的  $\text{Ca}^{2+}$ ,反复操作至混浊时,离心。土样再用 95% 乙醇离心洗涤一次, < 60℃ 烘干,即得各粒级的 Ca 饱和土样。

### 1.3 平衡法测定 $\text{K}^+$ 吸附等温线<sup>[5]</sup>

采用各粒级 Ca 饱和土样, < 1  $\mu\text{m}$ 、1~2  $\mu\text{m}$ 、2~5  $\mu\text{m}$ 、> 5  $\mu\text{m}$  粒级单独实验时各称样 2.0000 g,组成 < 1 + 1~2  $\mu\text{m}$ 、< 1 + 2~5  $\mu\text{m}$  混合土样时各称样 1.0000 g, < 0.1  $\mu\text{m}$  粒级各称 0.2000 g。按液土比 20:1 分别加入不同浓度的 KCl 溶液 (0.007, 0.01, 0.015, 0.02, 0.03, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.13,  $1.0 \text{ mol L}^{-1}$ )。> 5  $\mu\text{m}$  粒级土样只加  $1.0 \text{ mol L}^{-1}$  KCl 溶液。22℃ 恒温振荡 24 小时,离心分离平衡液,平衡液中  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  浓度用日立 180-80 型原子吸收分光光度计测定。固相  $\text{K}^+$  吸附量由液相  $\text{Ca}^{2+}$  浓度计算,固相  $\text{Ca}^{2+}$  吸附量由有效阳离子交换量与固相  $\text{K}^+$  吸附量之差求得。

## 2 结果与讨论

### 2.1 各粒级土粒的有效阳离子交换量

阳离子交换量 (CEC) 是一定 pH 条件下,土壤所带负电荷的数量<sup>[3]</sup>。通常认为 CEC 是恒定的,实际上不同的测定方法、饱和离子、和浸提剂浓度所测的土壤阳离子交换量均不相同<sup>[6]</sup>。因此一般将平衡法、流动法所测阳离子交换量称为有效阳离子交换量 (CEC<sub>e</sub>, Effective cation exchange capacity)<sup>[7]</sup>。本文以平衡法  $1.0 \text{ mol L}^{-1}$  KCl 溶液浸提的  $\text{Ca}^{2+}$  计算有效阳离子交换量<sup>[8]</sup>,供试土样各粒级有效阳离子交换量列于表 1。由表 1 可知,粒级越细,有效阳离子交换量越大,且这种变化非常明显。这与颗粒越细,比表面越大,表面电荷越多有关,也与不同粒级的矿物类型有关。粘粒和细粉粒的有效阳离子交换量差异显著,粘粒中的 < 1  $\mu\text{m}$  和 1~2  $\mu\text{m}$  粒级差异也较大。中、粗粉粒和砂粒也显示微弱的吸附作用。

表 1 壤土各粒级有效阳离子交换量及饱和吸附贡献率

Table 1 Effective cation exchange capacity and saturated adsorption contribution rate of different fractions of loess soil

粒级 fractions	质量百分含量 content %	有效阳离子交换量 CEC <sub>e</sub> $\text{mol kg}^{-1}$	饱和吸附贡献率 saturated adsorption contribution rate %
<0.1 $\mu\text{m}$		0.5736	
<1 $\mu\text{m}$	22.50	0.4638	73.63
1~2 $\mu\text{m}$	6.04	0.2589	11.03
2~5 $\mu\text{m}$	11.47	0.0798	6.45
>5 $\mu\text{m}$	59.85	0.0210	8.89

### 2.2 各粒级 $\text{K}^+$ 吸附等温线

各粒级  $\text{K}^+$  吸附等温线列于图 1,可以看出,各处理  $\text{K}^+$  吸附等温线形状差别明显。含

< 1 μm粘粒多的样品, 初始斜率大, 纵坐标上坪的位置高, 含 1~2 μm, 2~5 μm粒级较多的样品, 初始斜率小, 纵坐标上坪的位置降低。一定平衡液浓度时, 不同粒级固相吸附量大小顺序是: (< 0.1 μm) > (< 1 μm) > (< 1 + 1~2 μm) > (< 1 + 2~5 μm) > (1~2 μm) > (2~5 μm)。壤土土样的吸附等温线与 2~5 μm细粉粒的吸附等温线相近, 这与壤土富含 > 5 μm粉砂粒以及粉砂粒的吸附量较小有关。不同粒级 K<sup>+</sup> 吸附等温线用 Freundlich 方程拟合均达极显著水平<sup>1)</sup>, 因此, 不同粒级 K<sup>+</sup> 吸附可用 Freundlich 方程描述。

2.3 不同粒级组分的吸附贡献率

在某一平衡浓度 (c) 时, i 粒级组分吸附 K<sup>+</sup> 的数量为 Q<sub>i</sub> (mol), i

粒级组分的质量为 Z<sub>i</sub>, 单位质量 i 粒级组分吸附 K<sup>+</sup> 的数量为 q<sub>i</sub>, 混合样吸附 K<sup>+</sup> 的总数量为 Q (mol), 单位质量混合样吸附 K<sup>+</sup> 的数量为 q, 混合样总质量为 Z, 令 i 粒级组分吸附贡献率为 α<sub>i</sub>, 则有:

$$\alpha_i = \frac{Q_i}{Q} = \frac{Z_i q_i}{Zq} = \frac{r_i q_i}{q} \tag{1}$$

其中, r<sub>i</sub> = Z<sub>i</sub> / Z 为 i 粒级组分的质量百分数。若不考虑组分间的交互作用则有:

$$\alpha_i = \frac{r_i q_i}{\sum r_i q_i} \tag{2}$$

相应地在饱和吸附时 (1, 2 式中相关符号加注脚 m), 各粒级的饱和吸附贡献率 α<sub>m</sub> 为:

$$\alpha_m = \frac{Q_m}{Q_m} = \frac{Z_i q_m}{Zq_m} = \frac{r_i q_m}{q_m} \tag{3}$$

不考虑组分间的相互影响,

$$\alpha_m = \frac{r_i q_m}{\sum r_i q_m} \tag{4}$$

按照各粒级的质量百分含量和有效阳离子交换量, 用 (4) 式计算的壤土各粒级饱和和吸附贡献率列于表 1。 < 1 μm 和 1~2 μm 粒级饱和和吸附贡献率之和接近 85%。因此, 壤土吸附 K<sup>+</sup> 主要集中在粘粒组分, 其中 < 1 μm 的细粘粒是关键部分。这对于根据质地来指

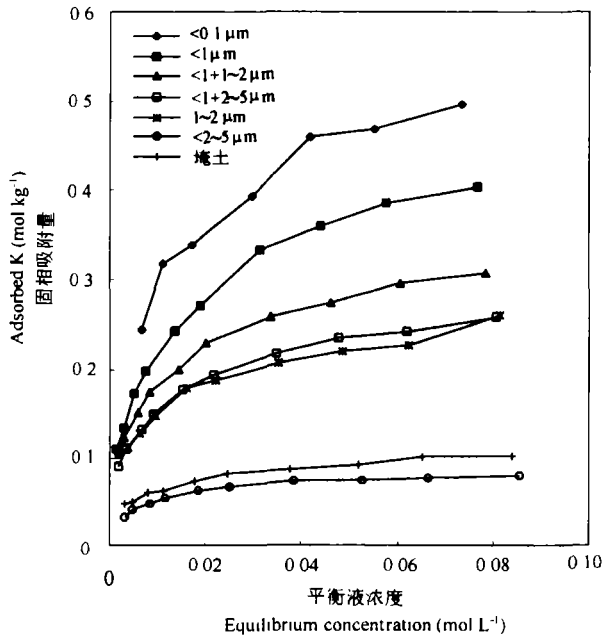


图1 壤土不同粒级组分K<sup>+</sup>吸附等温线

Fig.1 K<sup>+</sup> adsorption isotherms of different fractions of loess soil

1) 王玉. 土壤离子吸附交换和运移相关因素定量关系研究. 西北农业大学博士论文, 1999

导合理施肥等农业生产具有重要意义。

< 1 + 1~2  $\mu\text{m}$ , < 1 + 2~5  $\mu\text{m}$ 混合样中 < 1  $\mu\text{m}$ 、1~2  $\mu\text{m}$ 、2~5  $\mu\text{m}$ 各粒级的质量分数均为 0.5。利用 Freundlich 吸附方程拟合的吸附量 ( $q$ ) 和公式 (1) 计算的不同平衡浓度 ( $c$ ) 时各粒级吸附贡献率列于表 2。< 1  $\mu\text{m}$  对 < 1 + 1~2  $\mu\text{m}$ 、< 1 + 2~5  $\mu\text{m}$  的吸附贡献率分别为  $\alpha_{M1}$ 、 $\alpha_{N1}$ ，1~2  $\mu\text{m}$ 、2~5  $\mu\text{m}$  对 < 1 + 1~2  $\mu\text{m}$ 、< 1 + 2~5  $\mu\text{m}$  的吸附贡献率分别为  $\alpha_{M2}$ 、 $\alpha_{N2}$ ，结果表明：各平衡浓度下，吸附贡献率均为 (< 1  $\mu\text{m}$ ) > (1~2  $\mu\text{m}$ )、(< 1  $\mu\text{m}$ ) > (2~5  $\mu\text{m}$ )；< 1  $\mu\text{m}$  的吸附贡献率随平衡浓度的增大以幂函数方式增大， $\alpha_{M1} = 1.4079c^{0.0404}$  ( $r = 0.9995^{**}$ )， $\alpha_{N1} = 1.6114c^{0.0200}$  ( $r = 0.9980^{**}$ )，表明细粒级具有较大吸附容量，在较高平衡液浓度下仍可保持对  $\text{K}^+$  吸附贡献率的增长趋势；1~2  $\mu\text{m}$ 、2~5  $\mu\text{m}$  的吸附贡献率随平衡浓度的增大以幂函数方式减小， $\alpha_{M2} = 0.6325c^{-0.0584}$  ( $r = -0.9998^{**}$ )， $\alpha_{N2} = 0.2597c^{-0.0862}$  ( $r = -0.9993^{**}$ )；随平衡液浓度增大各粒级吸附贡献率趋于各粒级的饱和和吸附贡献率。

表2 <1+1~2 $\mu\text{m}$ 、<1+2~5 $\mu\text{m}$ 混合样中<1 $\mu\text{m}$ 、1~2 $\mu\text{m}$ 、2~5 $\mu\text{m}$ 组分吸附贡献率

Table 2 The adsorption contribution rates of <1 $\mu\text{m}$ 、1~2 $\mu\text{m}$ 、2~5 $\mu\text{m}$  in <1+1~2 $\mu\text{m}$ 、<1+2~5 $\mu\text{m}$  mixtures

<1+1~2 $\mu\text{m}$ 混合样 <1+1~2 $\mu\text{m}$ mixture			<1+2~5 $\mu\text{m}$ 混合样 <1+2~5 $\mu\text{m}$ mixture		
$c$ ( $\text{mol L}^{-1}$ )	<1 $\mu\text{m}$ $\alpha_{M1}$	1~2 $\mu\text{m}$ $\alpha_{M2}$	$c$ ( $\text{mol L}^{-1}$ )	<1 $\mu\text{m}$ $\alpha_{N1}$	2~5 $\mu\text{m}$ $\alpha_{N2}$
0.00184	0.5444	0.4556	0.00217	0.7801	0.2199
0.00329	0.5587	0.4413	0.00381	0.7900	0.2100
0.00605	0.5733	0.4267	0.00676	0.7997	0.2003
0.00863	0.5822	0.4178	0.00951	0.8053	0.1947
0.0148	0.5949	0.4051	0.0155	0.8132	0.1868
0.0205	0.6025	0.3975	0.0218	0.8207	0.1793
0.0336	0.6142	0.3858	0.0350	0.8272	0.1728
0.0462	0.6216	0.3784	0.0481	0.8318	0.1682
0.0609	0.6280	0.3720	0.0622	0.8349	0.1651
0.0790	0.6341	0.3659	0.0807	0.8379	0.1621

#### 2.4 不同粒级离子吸附交互作用

土壤是由不同粒级组成的多组分混合物，不仅不同粒级吸附特性不同，而且不同粒级离子吸附存在相互影响。混合样的总吸附量不是各粒级组分吸附量的简单加和，如在添加浓度为  $0.02061 \text{ mol L}^{-1}$  时，< 1 + 1~2  $\mu\text{m}$  (2.0000 g) 总吸附量 (0.0390 cmol) 小于 < 1  $\mu\text{m}$  (1.0000 g) 吸附量 (0.0242 cmol) 与 1~2  $\mu\text{m}$  (1.0000 g) 吸附量 (0.0180 cmol) 之和 (0.0422 cmol)；< 1 + 2~5  $\mu\text{m}$  (2.0000 g) 总吸附量 (0.0351 cmol) 大于 < 1  $\mu\text{m}$  (1.0000 g) 吸附量 (0.0242 cmol) 与 2~5  $\mu\text{m}$  (1.0000 g) 吸附量 (0.0065 cmol) 之和 (0.0307 cmol)，其他添加浓度时也有相同趋势，这说明不同粒级  $\text{K}^+$  吸附具有交互作用。为表述各粒级吸附交互作用，引入吸附交互作用系数 ( $\beta$ )，表示为：

$$\beta = \frac{q}{\sum r_i q_i} \quad (5)$$

如果只有两组分,则可表示为:

$$\beta = \frac{q}{r_i q_i + r_j q_j} \quad (6)$$

$q$  为吸附量,  $r$  为质量百分数,  $i, j$  表示不同粒级组分。 $\beta$  大于 1; 表明不同粒级具有吸附正交互作用;  $\beta$  小于 1, 表明不同粒级具有吸附负交互作用。根据 6 式以 Freundlich 方程计算的吸附量推算吸附交互作用系数列于表 3。

表3 不同平衡液浓度下不同粒级吸附交互作用系数

Table 3 Adsorption interaction coefficients of different fractions with various equilibrium concentrations

<1+1~2 $\mu\text{m}$		<1+2~5 $\mu\text{m}$	
$c(\text{mol L}^{-1})$	$\beta_M$	$c(\text{mol L}^{-1})$	$\beta_N$
0.00184	0.993	0.00217	1.209
0.00329	0.987	0.00381	1.183
0.00605	0.980	0.00676	1.154
0.00863	0.976	0.00951	1.137
0.0148	0.969	0.0155	1.113
0.0205	0.964	0.0218	1.099
0.0336	0.957	0.0350	1.075
0.0462	0.952	0.0481	1.060
0.0609	0.947	0.0622	0.973
0.0790	0.942	0.0807	1.033

< 1 + 1~2  $\mu\text{m}$  中 < 1  $\mu\text{m}$  与 1~2  $\mu\text{m}$  的吸附交互作用系数 ( $\beta_M$ ) 小于 1, 且随平衡液浓度增大呈减小趋势(表 3), 说明 < 1  $\mu\text{m}$  与 1~2  $\mu\text{m}$  粒级 K<sup>+</sup> 吸附具有负交互作用, 且随平衡液浓度增大而增强。 < 1 + 2~5  $\mu\text{m}$  混合物中 < 1  $\mu\text{m}$  与 2~5  $\mu\text{m}$  的吸附交互作用系数 ( $\beta_N$ ) 大于 1, 且随平衡液浓度增大呈减小趋势(表 3), 则表明 < 1  $\mu\text{m}$  与 2~5  $\mu\text{m}$  粒级 K<sup>+</sup> 吸附具有正交互作用, 且随平衡液浓度增大而减弱。 $\beta_M$  和  $\beta_N$  与平衡液浓度  $c(\text{mol L}^{-1})$  关系拟合为:

$$\beta_M = \frac{1.521}{1.546 + c} \quad (r = 0.9406^{**}) \quad (7)$$

$$\beta_N = \frac{0.609}{0.522 + c} \quad (r = 0.9628^{**}) \quad (8)$$

## 2.5 多粒级组分吸附方程

一般的吸附方程在认定吸附介质颗粒表面均匀的基础上, 除 Langmuir 方程认为颗粒表面吸附点位吸附能是恒定的外, Temkin 方程认为颗粒表面吸附点位吸附能随覆盖率而直线变化, Freundlich 方程认为颗粒表面吸附点位吸附能随覆盖率以对数形式变化。多表面 Langmuir、Freundlich 方程把颗粒总表面分为几个分表面, 在吸附量方面, 各表面是独立的, 分表面之间没有交互作用<sup>[5]</sup>。总之, 上述吸附方程虽考虑到颗粒表面吸附点位的变异, 但没有考虑颗粒与颗粒之间的变异。然而, 土壤是一个非均质混合物, 不同粒级颗

粒的矿物组成、比表面、电荷密度和数量等特征有明显差异。可以认为：(1)不同粒级颗粒的吸附能存在差异。(2)不同粒级颗粒表面不同吸附能点位的分配比例是不相同的。(3)土壤中还可能有一部分不参与离子吸附反应的粒级，该粒级影响固相吸附量的计算值，从而改变吸附等温线的形状。因此，建立描述多粒级组分吸附方程是必要的，也是符合实际情况的。

多粒级组分混合样中不考虑组间相互影响时，第  $i$  级组分的吸附方程是  $q_i = f_i(c)$ ，由于混合样中各粒级组分吸附特性不同，且粒级组分间常有相互影响，多粒级组分混合样的吸附方程可推导如下：

$$\begin{aligned} Q &= \beta(c) \sum Q_i = \beta(c) \sum Z_i q_i \\ Q &= Zq \\ q &= \beta(c) \sum (Z_i / Z) q_i = \beta(c) \sum r_i f_i(c) \\ q_m &= \beta(c) \sum r_i q_{m_i} \end{aligned} \quad (9)$$

式中各符号意义同前， $\beta(c)$  为粒级组分间吸附交互作用系数。综上所述，多粒级组成混合样的吸附方程可由各粒级组分的吸附方程(以 Freundlich 方程为例<sup>(1)</sup>， $< 1 \mu\text{m}$ ， $q = 1.045c^{0.3475}$ ； $1 \sim 2 \mu\text{m}$ ， $q = 0.4694c^{0.2487}$ ； $2 \sim 5 \mu\text{m}$ ， $q = 0.1556c^{0.2436}$ )、粒级组分含量、及粒级间的吸附交互作用系数  $\beta(c)$  构成。本实验混合样多粒级组分吸附方程可表示为：

$< 1 + 1 \sim 2 \mu\text{m}$  混合样的多粒级组分吸附方程：

$$q = \beta(c) \sum r_i f_i(c) = \frac{1.521}{1.546 + c} \times 0.5 \times (1.045c^{0.3475} + 0.4694c^{0.2487}) \quad (10)$$

$< 1 + 2 \sim 5 \mu\text{m}$  混合样的多粒级组分吸附方程：

$$q = \beta(c) \sum r_i f_i(c) = \frac{0.609}{0.522 + c} \times 0.5 \times (1.045c^{0.3475} + 0.1556c^{0.2436}) \quad (11)$$

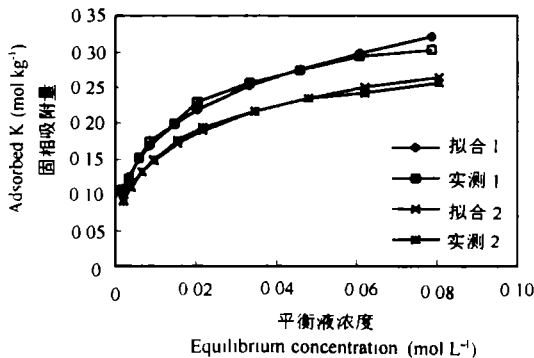


图2 多粒级组分吸附方程拟合吸附量与实测值比较

Fig.2 Comparison of determined and fitted amount of adsorbed K

利用上述方程计算  $< 1 + 1 \sim 2 \mu\text{m}$ ， $< 1 + 2 \sim 5 \mu\text{m}$  混合样在不同平衡液浓度下的吸附量，并将其与各混合样实测吸附量比较(图 2)。拟合 1 代表利用方程(10)计算的  $< 1 + 1 \sim 2 \mu\text{m}$  混合样吸附量，实测 1 代表  $< 1 + 1 \sim 2 \mu\text{m}$  混合样的实测吸附量。拟合 2 代表利用方程(11)计算的  $< 1 + 2 \sim 5 \mu\text{m}$  混合样吸附量，实测 2 代表  $< 1 + 2 \sim 5 \mu\text{m}$  混合样的实测吸附量。由图 2 可见，拟合 1 曲线与实测 1 曲线很接近，拟合 2 曲线与实测 2 曲线很接近，说明上述多粒级组分吸附方程可以很好的预测混合样的吸附量，方程是可靠的。

## 参 考 文 献

1. 马北雁、张一平. 离子运移模拟研究中 CEC 的确定. 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. 66~70
2. 杜建军, 张一平等. 陕西几种土壤磷吸附特性及温度效应的研究. 土壤通报, 1993, 24(6): 241~243
  3. 朱祖祥. 土壤学. 北京: 农业出版社, 1983
  4. 熊毅. 土壤胶体(第二册). 北京: 科学出版社, 1985
  5. 蒋以超, 张一平. 土壤化学过程的物理化学. 北京: 中国科学技术出版社, 1993
  6. Leij F J, Dane J H. Evaluation of methods to determine CEC and exchange isotherms for modeling transport. Dept. of Agro. and Soils, Ser. 134, Alabama Agri. Exp. Stn., 1989, 10
  7. Skyllberg U. Solution / soil ratio and release of cations and acidity from spodosol horizon. Soil Sci. Soc. Am. J., 1995, 59:786~795
  8. Bond W J, Phillip I R. Cation exchange isotherms obtained with batch and miscible displacement techniques. Soil Sci. Soc. Am. J. 1990, 54:722~728

## STUDIES ON $K^+$ ADSORPTION OF DIFFERENT FRACTIONS OF LOU SOIL

Wang Yu Zhang Yi-ping

*(Department of Resource and Environmental Sciences, Northwest Science and Technology University of Agriculture & Forestry, Yangling Shaanxi Province 712100)*

### Summary

$K^+$  adsorption of different particle fractions of lou soil varies greatly. At certain equilibrium concentration, the sequence of the amounts of  $K^+$  adsorbed in different soil particle fractions is ( $< 0.1 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $< 1 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $1 \sim 2 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $2 \sim 5 \mu\text{m}$ ), the same as that of the effective cation exchange capacity of different soil particle fractions. The contribution of each particle fraction to the total amount of adsorbed  $K^+$  is demonstrated by adsorption contribution rate. The order of the saturated adsorption contribution rates of different particle fractions in lou soil is ( $< 1 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $1 \sim 2 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $> 5 \mu\text{m}$ )  $>$  ( $2 \sim 5 \mu\text{m}$ ), and the adsorption contribution rate of clay fraction attributes to nearly 85% of the total amount. In  $< 1 + 1 \sim 2 \mu\text{m}$ ,  $< 1 + 2 \sim 5 \mu\text{m}$  mixtures, the adsorption contribution rate of  $< 1 \mu\text{m}$  increases, whereas that of  $1 \sim 2 \mu\text{m}$ ,  $2 \sim 5 \mu\text{m}$  decreases by the power function with increasing equilibrium concentration. The adsorptive interaction of different fractions has been verified. The adsorption interaction coefficient of  $< 1 \mu\text{m}$  and  $1 \sim 2 \mu\text{m}$  fractions is less than 1 and decreases with increasing  $c$ , indicating that the adsorption interaction of  $< 1 \mu\text{m}$  and  $1 \sim 2 \mu\text{m}$  fractions is negative, and augments with  $c$  increment. The adsorption interaction coefficient of  $< 1 \mu\text{m}$  and  $2 \sim 5 \mu\text{m}$  fractions is more than 1 and decreases with  $c$  increment, which indicates that the adsorption interaction of  $< 1 \mu\text{m}$  and  $2 \sim 5 \mu\text{m}$  fractions is positive and abates with increasing  $c$ . The necessity of setting up the multi-fraction adsorption equation has been confirmed. The multi-fraction adsorption equation is  $q = \beta(c) \sum r_i f_i(c)$ .

**Key words** Adsorption interaction, Adsorption contribution rate,  $K^+$  adsorption, Multifraction adsorption equation, Soil fractions.