

紫色土 K^+ 吸附解吸动力学研究*熊明彪^{1,2} 田应兵¹ 宋光煜¹ 石孝均¹ 毛炳衡¹

(1 西南农业大学资源环境学院, 重庆北碚 400716)

(2 四川省水土保持生态环境监测总站, 四川成都 610041)

摘要 从国家紫色土肥力与肥料效益监测基地定位试验上, 在第 10 年水稻收获后从 0~ 30 cm 土层采取土壤样品, 研究土壤 K^+ 吸附、解吸动力学过程。结果表明, 不同施肥处理土壤 K^+ 吸附、解吸反应分别在 24~ 32 min 和 46~ 64 min 达到平衡, 吸附、解吸平衡量分别为 14.1~ 19.2 $cmol\ kg^{-1}$ 和 11.6~ 17.5 $cmol\ kg^{-1}$ 。相关分析说明, 土壤阳离子交换量(CEC) 及粘粒含量是影响吸附平衡时间、吸附平衡量的重要因素; CEC、交换钾量是影响解吸平衡时间、解吸平衡量的重要因素。由此可见, 长期不同施肥对土壤 CEC、粘粒及交换钾量产生影响, 从而影响了紫色土 K^+ 吸附、解吸平衡时间及吸附、解吸平衡量。

平衡前钾离子的吸附、解吸速度及吸附、解吸率与反应时间 $\ln t$ 间存在良好的线性关系。其中反应速度直线和解吸率直线的斜率、初始反应速度及初始吸附率均与 CEC、粘粒含量密切相关。Elovich 方程和一级扩散方程分别为描述紫色土 K^+ 吸附、解吸反应的最优与最差模型, 指数方程和抛物线扩散方程拟合性介于 Elovich 方程和一级扩散方程之间。由此可见, 紫色土 K^+ 吸附、解吸过程不是一个单纯的过程, 而是一个包括土体膨胀、吸附位活化、表面扩散等诸多因素的复杂过程。

关键词 K^+ ; 吸附解吸动力学; 紫色土

中图分类号 S143.3

文献标识码 A

众所周知, 土壤水溶性钾和交换性钾(非特殊吸附态钾+特殊吸附态钾)是土壤钾库最活跃的组成。钾离子在固、液相间的转化速率及数量取决于钾离子与土壤固相表面的作用方式, 并决定着肥料钾进入土壤后的去向和土壤固钾能力。研究 K^+ 在土壤固、液相间转化的动力学性质, 对于了解阳离子型养分在土壤固相表面的作用机理及评价土壤保持、供应钾素能力有重要的理论与实践意义。在前人的研究中, 土壤往往经过一定的预处理, 被制成某种阳离子(一般是 Ca^{2+} 或 Mg^{2+}) 的饱和土壤^[1~3], 而现实中, 土壤溶液中的钾离子浓度时时刻刻处于变化之中, 土壤被一种离子饱和的情况也是不可能存在的。为了使土壤钾离子吸附、解吸动力学更接近现实, 我国的一些研究者^[4,5] 已经尝试用去离子水对土壤进行预处理来研究土壤钾离子吸附、解吸动力学性质。本研究继承前人研究方法, 采用去离子水淋洗对土壤进行预处理, 并运用连续液流法测试土壤 K^+ 吸

附、解吸动力学参数。目前, 国内外就连续多年施肥对土壤 K^+ 吸附、解吸动力学性质是否存在影响的研究尚无报道。为此, 本文在国家紫色土肥力与肥料效益监测基地长期定位试验小区上, 就连续 10 年不同施肥是否对紫色土 K^+ 吸附、解吸动力学特性产生影响作一探讨。

1 材料与方法

1.1 供试材料及试验处理

供试土壤(1991 年)的基本农化性状及试验处理方案参见文献[6]。本文试验处理为长期定位试验处理方案的一部分, 即: (1) CK、(2) M₁(文中表述为 M)、(3) N、(4) NK、(5) NP、(6) NPK、(7) M₂NPK(文中表述为 MNPK) 共 7 个处理, 小区面积为 120 m²。所选 7 处理的施肥量及施肥方式参见文献[7]。

* 本文系第一作者博士论文的部分结果

- 通讯作者

作者简介: 熊明彪(1973~), 男, 四川达县人, 工程师, 博士。从事水土保持、生态建设、植物营养方面的科研和管理工作。通讯地址: 成都市双元街 99 号四川省水土保持生态环境监测总站, 610041; 联系电话: 028-82914494, 传真: 82974627

收稿日期: 2003-04-24; 收到修改稿日期: 2003-08-29

1.2 取样及测定

测试钾离子吸附解吸动力学参数的供试土壤样

品为定位试验第十年水稻收获后 0~ 30 cm 土层土样, 其理化性质见表 1。

表 1 钾离子吸附解吸动力学供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soils used for the determination of K adsorbing-desorbing kinetics

处 理 Treatment	pH pH(H ₂ O)	有机质 O. M. (g kg ⁻¹)	阳离子交换量 CEC (cmol(+) kg ⁻¹)	粘粒 Clay (< 0.005 mm) (g kg ⁻¹)	交换性钾 Exchangeable K (mg kg ⁻¹)
CK	7.50	22.56	18.44	452.7	68.3
N	7.01	27.64	20.56	480.1	63.8
NP	7.03	27.01	20.74	502.3	51.0
NK	6.97	28.22	20.58	524.8	77.5
M	7.53	26.19	24.16	545.9	75.8
NPK	7.47	29.52	23.04	499.7	78.9
MNPK	7.58	30.51	26.54	563.9	84.8

1.2.1 K⁺ 吸附的测定 称取 2.000 g 土样(1 mm 筛)装入自制的交换柱中(图 1)。先用去离子水自上而下以 1 ml min⁻¹ 的流速流经土柱, 检验流出液中的 K⁺ 浓度(四苯硼钠比浊法), 直到检测无 K⁺ 为止。将土柱中多余水分抽干后, 用 0.05 mol L⁻¹ 氯化钾(KCl) 溶液自上而下以 1 ml min⁻¹ 的流速流经土柱。在 0~ 20, 20~ 40, 40~ 60 min 时间段内取样, 时间间隔分别为 2, 4, 6 min。滤出液中的 K⁺ 用原子吸收分光光度计进行测定。

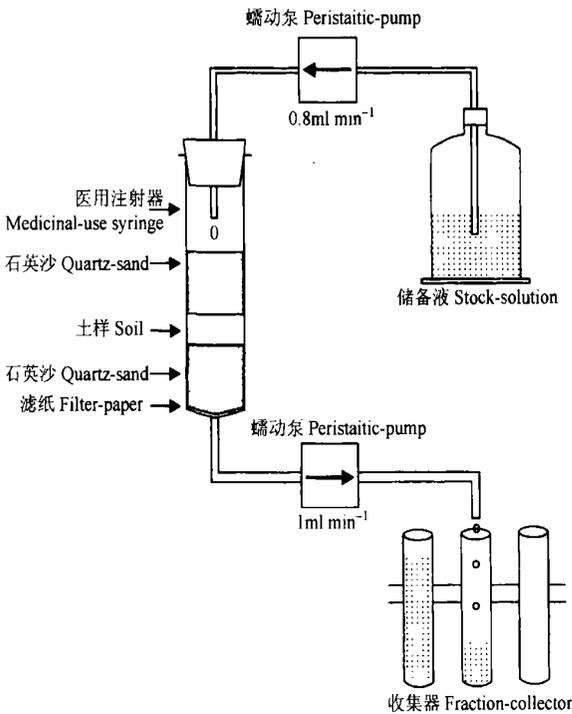


图 1 钾离子吸附、解吸动力学流程图

Fig. 1 Experimental set-up used for determination of K⁺ adsorbing-desorbing kinetics

1.2.2 K⁺ 解吸的测定 称取 2.000 g 土样(1 mm 筛)装入自制的交换柱中(图 1)。先用去离子水将土样中能被水浸提的钾去掉。抽干多余水分, 用 0.05 mol L⁻¹ 氯化钙(CaCl₂) 溶液进行浸提, 在 0~ 20, 20~ 40, 40~ 90 min 时间段内取样, 时间间隔分别为 2, 4, 6 min。滤出液中 K⁺ 浓度用原子吸收分光光度计进行测定。吸附、解吸反应时间均据预实验平衡时间确定。

1.2.3 K⁺ 吸附、解吸量计算 各时间段的吸附、解吸量(Δq) 用下式计算:

$$\Delta q (\text{cmol kg}^{-1}) = \frac{\Delta C \times V \times \Delta t}{W}$$

式中 Δc、Δt、V 及 W 分别为交换前后溶液 K⁺ 浓度差、滤液收集时间、蠕动泵流速及土样烘干重。

2 结果与讨论

2.1 平衡时间与吸附、解吸量

从图 2 看出, 十年不同施肥对土壤吸附、解吸 K⁺ 的平衡时间产生影响。CK 处理土壤在实验条件下的吸附平衡时间为 24 min, N、NP、NK 三处理吸附平衡时间为 28 min, M、NPK、MNPK 三处理为 32 min。平衡后延长反应时间(CK、N、NP、NK 延至 32 min, NPK 延至 36 min, M、MNPK 延至 46 min) 吸附量不变或增加很少。K⁺ 解吸至平衡需要的时间比吸附平衡时间长, CK、M 处理需 52 min 达到解吸平衡, NK、NPK、N 处理需 58 min 达到解吸平衡, NP 处理需 46 min 达到解吸平衡, MNPK 处理需 64 min 才达到解吸平衡。解吸平衡后延长反应时间, 解吸量不变。

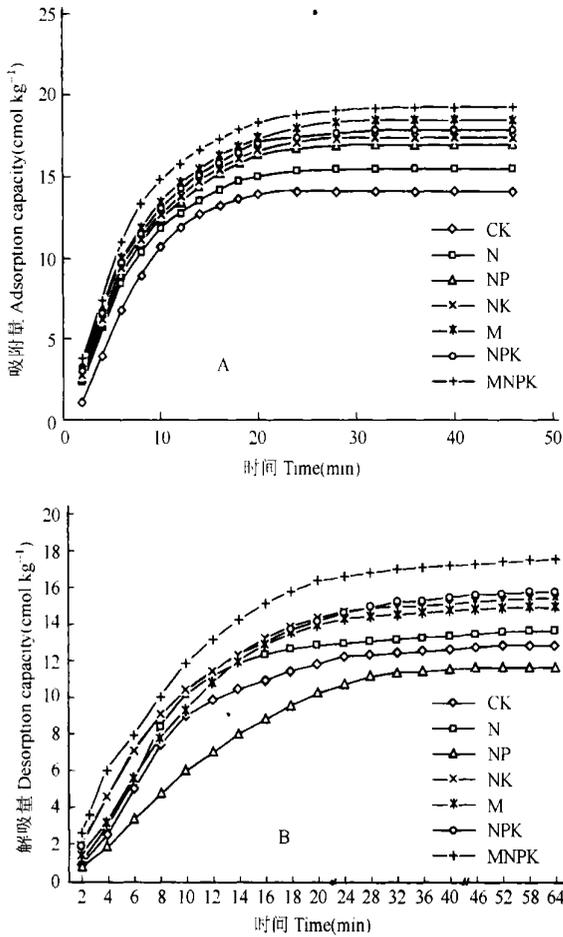


图2 钾离子吸附、解吸动力学曲线

Fig.2 Kinetic curves of K adsorption-desorption

图2还表明,不同施肥处理土壤K⁺平衡吸附量、解吸量和平衡时间差异较大,其吸附、解吸量为14.1~19.2 cmol kg⁻¹和11.6~17.5 cmol kg⁻¹,吸附、解吸平衡时间为24~32 min和46~64 min。相关分析发现,土壤阳离子交换量(CEC)及粘粒含量是影响吸附平衡时间及平衡吸附量的重要因素。CEC与吸附平衡时间及CEC与平衡吸附量的相关系数分别为 $r = 0.911^{**}$ (回归方程为: $y = 10.094x + 6.9266$)和 $r = 0.903^{**}$ (回归方程为: $y = 0.5809x + 4.2867$),粘粒与吸附平衡时间及粘粒与平衡吸附量的相关系数分别为 $r = 0.791^*$ (回归方程为: $y = 0.0626x - 2.7649$)和 $r = 0.947^{**}$ (回归方程为: $y = 0.0435x - 5.1273$),达到显著($r_{0.05} = 0.754, n = 7$)或极显著($r_{0.01} = 0.874, n = 7$)水平。在解吸反应中,CEC及交换钾是对平衡时间及平衡解吸量的影响明显,CEC与平衡解吸量相关系数 $r = 0.786^*$,交换钾量与平衡解吸量及交换钾量与平衡解吸时间相关系数分别为 $r = 0.945^{**}$ (回归方程为: $y =$

$0.1636x + 2.7942$)和 $r = 0.796^*$ (回归方程为: $y = 0.4101x + 26.132$),达到显著或极显著水平,说明在解吸过程中,CEC和交换钾量是影响平衡解吸时间和平衡解吸量的重要因素。由此可见,长期不同施肥后紫色土K⁺吸附、解吸量及平衡时间发生变化,主要是由于长期不同施肥土壤CEC、粘粒及交换钾量发生变化所致。

2.2 反应速度与时间的关系

反应速度是指单位时间内单位质量土壤吸附(解吸)的钾量。

$$\bar{V}_a = (\bar{V}_d) = \frac{\Delta q_{ta}(\Delta q_{td})}{\Delta t}$$

式中 q_{ta} 、 q_{td} 分别为某段时间内K⁺吸附、解吸量(cmol kg⁻¹), \bar{V}_a 、 \bar{V}_d 为相应时段的平均吸附、解吸速度(cmol kg⁻¹min⁻¹), Δt 为反应时间(min)。

实验表明,不同反应时段K⁺平均吸附、解吸速度(以下简称吸附、解吸速度)不同。随吸附或解吸平衡状态趋近,反应速度不断降低。反应速度与反应时间的关系符合方程:

$$\bar{V}_a(\bar{V}_d) = A + B \ln t$$

式中 t 为时间,A、B为常数,其中B反应了速度随时间降低的快慢趋势, \ln 为自然对数^[1]。

由表2可知,吸附及解吸反应速度与时间的自然对数 $\ln t$ 间存在良好的线性关系,达到显著或极显著水平($r_{0.01} = 0.874, r_{0.05} = 0.754, n = 7$)。直线截距(常数A)与土壤阳离子交换量(CEC)及粘粒含量的相关系数达到显著或极显著水平,这表明紫色土固相表面负电点的数量及粘粒含量高低是决定K⁺吸附、解吸反应初期反应速度的决定因素,即CEC越大,粘粒越多,的相关性较差,未达到显著水平,说明还有其它因素对紫色土K⁺解吸率上升产生影响。反应初期K⁺吸附、解吸反应速度越大。从表2中还可看出,B均小于零,说明随时间延长反应速度不断降低。从表中SE(标准误差)可知,长期不施肥(CK)、施氮肥(N)和氮磷肥(NP)三处理,其吸附解速度与反应时间 $\ln t$ 的线性关系较差。

2.3 K⁺吸附、解吸率与时间的关系

某时刻K⁺吸附(解吸)量占平衡吸附(解吸)量的比率称为K⁺的吸附(解吸)率。由表3、表4可知,10年不同施肥后紫色土K⁺吸附、解吸率发生了一定的变化。10分钟内K⁺吸附率为73.0%~77.1%,其中秸秆还田配施化学肥料(MNPK)处理吸附率最高,为77.1%,NK、M、NPK三处理最低为73.0%;10分钟内K⁺解吸率,不同施肥处理差异较

表 2 紫色土 K^+ 吸附解吸反应速度 (V_a, V_d) 与反应时间($\ln t$) 的回归方程Table 2 Regression equations of velocity (V_a, V_d) versus time ($\ln t$) for K^+ adsorption-desorption reaction

处理 Treatment	吸附 Adsorption				解吸 Desorption				
	A	B	r	SE ¹⁾	A	B	r	SE	
CK	1.6872	-0.4813	0.884**	0.43	1.2955	-0.3389	0.813*	0.63	
N	2.1374	-0.6306	0.897**	0.37	1.4787	-0.3959	0.825*	0.56	
NP	2.2367	-0.6468	0.920**	0.28	0.9377	-0.2218	0.770*	0.74	
NK	2.313	-0.6731	0.924**	0.15	1.7449	-0.4767	0.921**	0.31	
M	2.3621	-0.6841	0.941**	0.12	1.7206	-0.4677	0.923**	0.37	
NPK	2.4794	-0.7225	0.969**	0.08	1.509	-0.3938	0.839*	0.45	
MNPK	2.7856	-0.8392	0.956**	0.14	2.0401	-0.5625	0.943**	0.29	
相关系数(r)	CEC	0.915**	-0.916**	—	0.747	-0.868*	0.865*	—	0.668
Coefficient of correlation	粘粒 Clay	0.873*	-0.865*	—	0.785*	0.806*	0.793*	—	0.751

1) SE: Standard error

表 3 紫色土钾离子吸附率随时间的变化

Table 3 Change of K^+ adsorption percentage with time (%)

时间 Time (min)	处理 Treatments						
	CK	N	NP	NK	M	NPK	MNPK
2	7.8	14.8	15.3	16.1	18.9	16.9	19.8
4	28.4	38.1	35.9	36.2	37.8	36.5	39.1
6	48.2	54.8	52.9	54.6	54.1	54.5	57.3
8	63.8	67.7	64.7	64.4	64.3	64.6	69.8
10	76.6	76.8	73.5	73.0	73.0	73.0	77.1
12	85.1	82.6	79.4	79.3	78.9	80.3	82.3
14	90.1	87.7	84.7	84.5	83.8	84.8	87.0
16	94.3	91.6	89.4	89.1	87.6	88.8	90.1
18	97.2	94.8	93.5	92.5	91.4	92.7	93.2
20	99.3	97.1	97.1	96.0	94.1	96.1	95.8
24	100	99.4	98.8	98.9	97.3	97.8	97.9
28	—	100	100	100	99.5	98.9	99.0
32	—	—	—	—	100	100	100

10 分钟内的吸附率明显, 变幅为 51.7% ~ 74.3%, 其中氮磷处理最低为 51.7%, 单氮处理最高为 74.3%。不同施肥处理吸附、解吸率达到 90% 以上所需时间也存在差异。总看起来, 吸附率达到 90% 以上所需时间较解吸率达到 90% 以上所需时间短, 这说明 K^+ 吸附过程比解吸过程快。

由表 5 可知, K^+ 吸附、解吸率与反应时间 $\ln t$ 间也存在良好的线性关系。 K^+ 吸附率直线随时间的上升趋势因不同施肥处理而异, 其斜率 B 变化在 30.554~41.101 之间, 粘粒含量高及 CEC 较大的处

理紫色土吸附率上升较慢 ($r_{0.05} = 0.754, n = 7$)。常数 A 与阳离子交换量 CEC 及粘粒的相关系数分别为 $r = 0.867^*$ 和 $r = 0.853^*$, 分别达到显著水平, 表明粘粒含量高且 CEC 大的处理紫色土在反应初期吸附较快。如 CK、MNPK 两处理土壤在 4 min 时的吸附率分别为 28.4% 和 39.1% (表 3), 而后者具有较高的阳离子交换量。 K^+ 解吸率虽与反应时间 $\ln t$ 也存在较好的线性关系 (相关系数 $r = 0.929^{**} \sim 0.982^{**}$), 但直线斜率 B 与阳离子交换量及粘粒含量的相关性较差, 未达到显著水平, 说明还有其它因

素对紫色土 K^+ 解吸率上升产生影响。

表 4 紫色土钾离子解吸率随时间的变化

Table 4 Change of K^+ desorption percentage with time(%)

时间 Time(min)	处理 Treatment						
	CK	N	NP	NK	M	NPK	MNK
2	6.3	7.4	6.9	12.9	10.1	12.7	14.9
4	19.5	22.1	16.4	29.9	21.5	28.7	34.3
6	39.1	39.7	29.3	46.1	37.6	44.6	45.1
8	57.8	61.8	41.4	59.1	52.3	57.3	57.1
10	70.3	74.3	51.7	67.5	62.4	66.2	67.4
12	76.6	82.4	60.3	74.3	72.5	72.6	74.9
14	81.3	86.8	69.0	79.9	80.5	77.7	81.1
16	85.2	90.4	75.9	85.7	85.9	82.8	86.3
18	89.1	92.6	81.9	89.6	90.6	86.6	89.7
20	92.2	94.1	87.9	92.9	93.3	89.8	93.1
24	95.3	94.9	92.2	94.8	96.0	93.0	95.4
28	96.1	95.6	95.7	96.1	96.6	94.9	96.6
32	97.0	96.3	97.4	96.7	97.3	96.2	97.1
36	97.7	97.1	98.3	97.4	98.0	96.8	97.7
40	98.4	97.8	99.1	98.1	98.7	98.1	98.3
46	99.2	98.5	100	98.7	99.3	98.7	98.8
52	100	99.3	—	99.4	100	99.4	99.4
58	—	100	—	100	—	100	100

表 5 紫色土 K^+ 吸附解吸率与反应时间($\ln t$) 的回归方程

Table 5 Regression equations of K^+ adsorption-desorption percentage versus reaction time($\ln t$)

处理 Treatment	吸附 Adsorption $P_{ad}(\%)$			解吸 Desorption $P_{td}(\%)$			
	A	B	r	A	B	r	
CK	- 22.301	41.101	0.9899**	- 9.1461	30.952	0.958**	
N	- 6.226	34.353	0.990**	- 0.9299	28.323	0.929**	
NP	- 7.9444	34.323	0.994**	- 25.39	35.019	0.982**	
NK	- 6.7385	33.83	0.995**	2.019	27.05	0.962**	
M	- 1.3188	31.174	0.992**	- 9.9495	31.062	0.963**	
NPK	- 3.0791	32.02	0.989**	- 0.1266	27.355	0.971**	
MNK	2.3377	30.554	0.984**	3.8939	26.548	0.962**	
相关系数(r)	CEC	0.867*	0.881*	—	0.401	0.568	—
Coefficient of correlation	粘粒 Clay	0.853*	0.854*	—	0.269	0.493	—

注: * $q_{ad}(\%) = A + B \ln t$; ** $q_{td}(\%) = A + B \ln t$

表 6 四种模型的相关系数(r)、标准误差(SE)及参数

Table 6 Correlation coefficient (r), standard errors (SE) and parameters of four kinetic models

处理 Treatment	Elovich 方程 Elovich equation $q_a(q_a) = A + B \ln t$				指数方程 Exponent equation $q_a(q_a) = At^B$				抛物线扩散方程 Parabolic diffusion equation $q_a(q_a) = A + Bt^{1/2}$				一级扩散方程 First diffusion equation $\ln q_a(q_a) = A + Bt$				
	A	B	r	SE	A	B	r	SE	A	B	r	SE	A	B	r	SE	
CK	-3.158 6	5.800 2	0.990**	0.13	0.9043	0.975 6	0.945**	0.65	-2.987 5	3.936 5	0.964**	0.51	1.061 6	0.088 2	0.787**	4.35	
N	-0.968 9	5.3257	0.990**	0.07	2.108 4	0.676 6	0.944**	0.78	-0.135 2	3.384 3	0.950**	0.68	1.631 9	0.053 6	0.772**	5.72	
吸	NP	-1.375	5.850 2	0.994**	0.07	2.253 1	0.677 9	0.956**	0.36	0.579 6	3.752	0.963**	0.48	1.687 8	0.054 6	0.795**	3.28
	NK	-1.112 4	5.862 4	0.995**	0.09	2.479 5	0.650 4	0.960**	0.48	-0.331	3.764 4	0.965**	0.45	1.744 1	0.052 7	0.802**	4.33
	M	-0.254 3	5.769 9	0.993**	0.08	3.142	0.571 9	0.957**	0.88	1.144 4	3.496 8	0.954**	0.52	1.943 6	0.040 8	0.786**	5.25
附	NPK	-0.564 4	5.705 3	0.989**	0.15	2.773 3	0.605 1	0.948**	0.92	0.884 2	3.439 7	0.945**	0.68	1.873 7	0.042 6	0.768**	6.34
	MNPK	0.425 9	5.874 8	0.985**	0.17	3.540 3	0.551 6	0.944**	1.03	2.017 1	3.514 7	0.934**	0.72	2.045 8	0.038 7	0.761**	7.01
	平均(Average)	—	—	0.911	0.11	—	—	0.951	0.73	—	—	0.954	0.58	—	—	0.782	5.18
解	CK	-1.180 6	3.964 2	0.958**	0.22	1.126 6	0.723 9	0.884**	1.24	1.422 8	1.924 7	0.878**	2.45	1.453 3	0.030 9	0.635**	4.09
	N	-0.139 2	3.855 4	0.929**	0.35	1.556 8	0.633 9	0.860**	1.38	2.893 9	1.747 4	0.828**	3.08	1.678 1	0.023 9	0.595**	6.88
	NP	-2.953 3	4.065	0.982**	0.17	0.716 7	0.826 5	0.951**	0.74	-1.088 6	2.179 2	0.852**	2.98	1.047 3	0.042 9	0.754**	7.03
	NK	-0.306 5	4.166	0.962**	0.15	2.521 5	0.519 0	0.902**	1.25	3.379 6	1.933 2	0.878**	1.88	1.913 4	0.020 6	0.657**	6.74
	M	-1.491 5	4.631	0.963**	0.20	1.624 9	0.653 1	0.918**	0.98	1.428 5	2.276 4	0.893**	2.04	1.665 0	0.029	0.685**	6.25
吸	NPK	-0.022 5	4.295 5	0.971**	0.32	2.447 1	0.530 6	0.911**	1.34	3.063 6	2.011 6	0.894**	2.31	1.897 4	0.021 3	0.672**	6.88
	MNPK	-0.672 6	4.649 3	0.962**	0.19	3.166 1	0.490 1	0.910**	1.07	4.083	2.161 8	0.880**	2.74	2.080	0.019 6	0.669**	7.15
	平均(Average)	—	—	0.961	0.18	—	—	0.905	1.14	—	—	0.872	2.50	—	—	0.667	6.43

2.4 K⁺ 吸附、解吸动力学模型适用性比较

Sparks 和 Martin 提出了几种动力学模型, 用来描述酸性砂质土吸附、解吸 K⁺ 及非交换性 K⁺ 释放的反应过程^[2-3]。在连续液流条件下, 其中的几种模型对紫色土中 K⁺ 的吸附、解吸过程也有较好且程度不同的拟合性(表 6)。模型拟合性指由模型所得计算值与实测值的符合程度, 常用相关系数(r)和标准误(SE)判定, r 愈大, SE 愈小拟合性愈好。

从表 6 看出, 在吸附、解吸反应中, Elovich 方程和一级扩散方程分别为描述紫色土 K⁺ 吸附的最优和最差动力学模型。其余两种动力学模型的拟合性介于 Elovich 方程和一级扩散方程之间。可见, 紫色土 K⁺ 的吸附、解吸过程不是一个单纯的过程, 而是一个包括土体膨胀、吸附位活化、表面扩散等诸多因素的复杂过程^[3]。由表 6 还可看出, 同一动力学模型对不同施肥处理的土样的拟合性不同。如对 K⁺ 吸附拟合最优的 Elovich 方程中, 7 种不同施肥处理的紫色土 SE 变化范围为 0.07~0.17 cmol kg⁻¹, 差异很大, Elovich 方程对氮磷处理紫色土的拟合性最优, 对秸秆还田配施化学肥料(MNPK)处理紫色土拟合性最差。在其它吸附及解吸动力学模型中, 不同施肥处理紫色土间拟合性的明显差异也存在。此外, 同一动力学模型对 K⁺ 解吸、吸附两种相反过程的拟合性不同, 如抛物线扩散方程对 K⁺ 解吸、吸附的拟合性差异很大, 其 SE 平均值分别为 0.58 和 2.50, 相关系数平均值分别为 0.954 和 0.872。以上分析结果表明, 经多年连续不同施肥处理后同一土壤性质的变化、动力学模型的种类, 以及 K⁺ 吸附、

解吸反应类型的差异均影响模型对实验数据的拟合程度。

参考文献

- [1] 薛泉宏, 尉庆丰, 李宝安, 等. 黄土性土壤 K⁺ 吸附、解吸动力学研究. 土壤学报, 1997, 34(2): 115~122. Xue Q H, Wei Q F, Li B A, *et al.* Study on K⁺ adsorbing-desorbing kinetics of loessial soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(2): 115~122
- [2] Sparks DL, Zelazny LW, Martens DC. Kinetics of potassium exchange in paleudult from the coastal plain of Virginia. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1980, 44: 37~40
- [3] Sparks DL, Jardine PM. Comparison of kinetic equations to describe K-Ca exchange in pure and in mixed system. *Soil Sci.*, 1984, 138: 115~122
- [4] 龙怀玉, 李韵珠, 蒋以超. K⁺ 浓度对潮土和褐土钾吸附动力学的影响. 土壤学报, 2001, 38(2): 226~234. Long H Y, Li Y Z, Jiang Y C. K⁺ adsorption kinetics of fluvo-aquic and cinnamon soil under different K⁺ concentrations (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(2): 226~234
- [5] 龙怀玉, 蒋以超, 李韵珠. 褐土和潮土 K⁺ 吸附动力学研究. 土壤学报, 2000, 37(4): 563~568. Long H Y, Jiang Y C, Li Y Z. Study on K⁺ adsorption kinetics of chao and cinnamon soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(4): 563~568
- [6] 熊明彪, 田应兵, 熊晓山, 等. 钾肥对冬小麦根系营养生态的影响. 土壤学报, 2004, 41(2): 285~291. Xiong M B, Tian Y B, Xiong X S, *et al.* Effects of potassium fertilizer on winter wheat root nutritional ecology (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 285~291
- [7] 熊明彪, 舒芬, 宋光煜, 等. 施钾对紫色土稻麦产量及土壤钾素状况的影响. 土壤学报, 2003, 40(2): 274~279. Xiong M B, Shu F, Song G Y, *et al.* Effects of long-term potassium application on yield and soil potassium in rice-wheat cropping system in purple soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 274~279

STUDY ON K^+ ADSORPTION-DESORPTION KINETICS OF PURPLE SOIL

Xiong Mingbiao^{1,2} Tian Yingbing¹ Song Guangyu¹ Shi Xiaojun¹ Mao Bingheng¹

(1 College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Beibei, Chongqing 400716, China)

(2 Sichuan Soil-Water Conservation and Ecology-Environment Monitored Base, Chengdu Sichuan 610041, China)

Abstract Soil samples were taken from 0~ 30 cm layer from selected plots with various fertilization treatments from a 10 years fixed site field trial in the National Purple Soil Fertility and Fertilizer Efficiency Monitored Base. Kinetics of K adsorption and native K desorption of the soil samples were studied. Results showed that K^+ adsorption and desorption equilibrated in 24~ 32 min and 46~ 64 min, respectively, and the capacity of K^+ equilibrium adsorption and desorption were 14.1~ 19.2 cmol kg^{-1} and 11.6~ 17.5 cmol kg^{-1} , respectively. Correlation analysis indicated that soil cation exchange capacity (CEC) and clay content were important factors that affected the time and the capacity of K^+ equilibrium adsorption; soil CEC and exchangeable K content were important factors that affected the time and capacity of K^+ equilibrium desorption. As mentioned above the effects of long-term different fertilizer application on soil CEC, clay content and exchangeable K content affected the time and capacity of K^+ equilibrium adsorption and desorption in purple soil.

There was a linear relationship between K^+ adsorption-desorption velocity and the reaction time ($\ln t$), and the slope of reaction velocity regression equation and K^+ natural logarithm of desorptive percentage regression equation, the original reaction velocity and the original absorptive percentage were closely related with soil clay content and CEC. Elovich and first-order diffusion equations were the best and the worst models for K^+ adsorption and desorption, respectively. Exponent and parabolic diffusion equations lay between Elovich and first-order diffusion equations. This indicated that the K^+ adsorption-desorption in purple soil were not a simple process, but a complex process that was affected by soil expanding, activation of soil adsorption sites activating, soil surface diffusion, and so on.

Key words K^+ ; Adsorption-desorption; Purple soil