

长期定位施肥对不同粒级非石灰性潮土钾素释放的影响*

崔德杰¹ 刘永辉² 郑庆柱¹ 辛 伟¹ 李拴怀¹ 隋方功¹

(1 青岛市现代农业质量与安全工程重点实验室, 莱阳农学院, 山东青岛 266109)

(2 山东工商学院信息与电子工程学院, 山东烟台 264005)

EFFECT OF LONG-TERM FERTILIZATION ON K⁺ RELEASING OF DIFFERENT SOIL PARTICLE FRACTIONS IN NONCALCAREOUS FLUVO AQUIC

Cui Dejie¹ Liu Yonghui² Zheng Qingzhu¹ Xin Wei¹ Li Shuanhuai¹ Sui Fangong¹

(1 Qingdao Key Laboratory of Modern Agriculture Quality & Safety Engineering, Laiyang Agricultural College, Qingdao, Shandong 266109, China)

(2 School of Information and Electronics Engineering, Shandong Institute of Business and Technology, Yantai, Shandong 264005, China)

关键词 长期定位施肥; 钾素释放; 土壤粒级; 钾形态

中图分类号 S147.2; S153.6

文献标识码 A

土壤中矿物的种类与土壤的粒级有关, 随着粒级变粗, 矿物组成趋于简单, 次生矿物类型及含量减少, 而原生矿物种类及含量增加^[1]。土壤钾素含量、有效性及其转化又与土壤矿物组成密切相关, 存在于黏粒部分的含钾矿物(黏粒矿物)因直接影响钾的生物有效性而备受关注。土壤中钾素的研究较多^[2,3], 关于不同粒级的土壤钾素释放的差异已有报道^[4-6], 但长期定位施肥对不同粒级的土壤颗粒中钾素行为的影响研究得较少, 笔者在这方面做了一系列的工作^[7-9]。因此研究长期定位施肥中土壤粒级与土壤钾素释放行为的关系不仅能丰富土壤矿物风化和黏土矿物形成理论, 而且对全面认识土壤中钾素状况、供钾能力、钾素的相互转化及合理利用有限的钾肥资源等诸多方面均有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验设在莱阳农学院试验站, 土壤系非石灰性潮土, 发育于冲积母质, 表土质地均一, 为轻壤。长期定位施肥试验始于 1978 年, 共设 12 个施肥处理

同文献[7], 各处理小区面积为 33.3 m², 每个施肥处理重复 3 次, 随机排列。无机氮肥用尿素, 有机肥用猪圈粪(全氮含量为 2~3 g kg⁻¹, 全磷含量为 0.5~2 g kg⁻¹, 全钾含量为 5~10 g kg⁻¹, 有机质含量为 20~50 g kg⁻¹)。磷肥用过磷酸钙, 钾肥用氯化钾, 一年两作即小麦与玉米轮作, 氮肥作冬小麦种肥和起身拔节期的追肥及夏玉米拔节肥和穗期追肥, 磷钾肥全部作基肥。土样采集时间为 2003 年秋季。

1.2 试验方法

土壤中黏粒含量用比重计法测定, 土壤阳离子交换量(CEC)用 EDTA—醋酸铵快速法测定, 交换性钾用醋酸铵浸提法测定, 有机质采用重铬酸钾外加热法测定^[10], 黏土矿物组成由 X 射线衍射测定^[11], 四种主要矿物采用相对含量表示^[12]。

土壤中不同形态钾的浸提: 水溶性钾用蒸馏水浸提, 交换性钾用 1 mol L⁻¹ NH₄OAc 浸提, 非交换性钾用 2 mol L⁻¹ HNO₃ 冷浸提, 全钾用 NaOH 熔融^[13]。各种形态钾的浸提液中 K⁺ 浓度均用火焰光度计测定。

土壤中 K⁺ 释放用间歇法测定。利用司笃克斯

* 国家自然科学基金项目(40171049)资助

作者简介: 崔德杰(1963-), 男, 农学博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事土壤肥料研究

收稿日期: 2006-08-01; 收到修改稿日期: 2007-01-30

公式采用自由沉降法分离与提取土壤黏粒^[11]。称取 1.000 g 不同粒级的土样(< 1 mm, < 0.25 mm 及 < 0.001 mm) 放入 100 ml 塑料离心管中, 加入 2 mol L⁻¹ HNO₃ 50 ml 振荡 1 h 后, 30℃条件下保温浸泡 1 周, 离心后取出上清液, 用火焰光度计测 K⁺ 含量, 设 3 个重复, 每个土样用上述方法连续处理 10 周。供试土壤的 12 个施肥处理中土壤理化性质测试结果见文献[7]。

2 结果与分析

2.1 长期定位施肥对不同粒级土壤颗粒钾素释放量的影响

不同粒级< 1 mm、< 0.25 mm 及< 0.001 mm 的 12 个施肥处理土样用 2 mol L⁻¹ HNO₃ 浸提, 每周测试一次, 每个土样共测试 10 次, 测试结果如表 1~表 3 所示。

表 1 不同施肥处理对< 1 mm 土壤颗粒释钾量的影响(cmol kg⁻¹)

处理代号	浸 提 次 数										总量
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CK	4.407	0.612	0.498	0.469	0.486	0.460	0.450	0.446	0.400	0.353	8.580
N1	3.976	0.629	0.573	0.544	0.514	0.527	0.495	0.517	0.440	0.365	8.580
N2	3.790	0.599	0.593	0.534	0.520	0.553	0.476	0.537	0.452	0.354	8.408
M1	4.225	0.631	0.555	0.524	0.498	0.569	0.475	0.487	0.428	0.374	8.766
M1N1	4.008	0.607	0.570	0.503	0.477	0.551	0.492	0.461	0.437	0.394	8.501
M1N2	3.852	0.614	0.552	0.489	0.469	0.514	0.498	0.453	0.439	0.393	8.272
M2	4.356	0.694	0.544	0.519	0.507	0.506	0.493	0.542	0.413	0.388	8.962
M2N1	4.222	0.632	0.575	0.491	0.478	0.531	0.515	0.488	0.433	0.389	8.753
M2N2	4.148	0.683	0.495	0.476	0.482	0.535	0.492	0.470	0.391	0.417	8.591
N2PK	4.070	0.600	0.518	0.421	0.416	0.508	0.469	0.397	0.393	0.397	8.189
N2P	3.404	0.546	0.588	0.452	0.440	0.481	0.491	0.416	0.412	0.418	7.648
N2K	4.203	0.589	0.556	0.427	0.409	0.525	0.457	0.428	0.400	0.406	8.400

表 2 不同施肥处理对< 0.25 mm 土壤颗粒释钾量的影响(cmol kg⁻¹)

处理代号	浸 提 次 数										总量
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CK	4.233	0.703	0.515	0.628	0.775	0.720	0.624	0.592	0.625	0.655	10.07
N1	3.798	0.692	0.510	0.636	0.839	0.771	0.706	0.724	0.712	0.759	10.15
N2	3.640	0.691	0.488	0.662	0.833	0.736	0.688	0.724	0.679	0.700	9.84
M1	4.049	0.722	0.517	0.611	0.825	0.751	0.747	0.766	0.770	0.712	10.47
M1N1	4.016	0.730	0.536	0.645	0.813	0.735	0.729	0.757	0.749	0.716	10.43
M1N2	3.837	0.660	0.540	0.661	0.841	0.724	0.669	0.702	0.728	0.714	10.08
M2	4.174	0.757	0.583	0.625	0.788	0.767	0.760	0.810	0.803	0.750	10.82
M2N1	4.183	0.741	0.549	0.617	0.755	0.753	0.766	0.749	0.759	0.783	10.66
M2N2	4.106	0.762	0.560	0.708	0.754	0.763	0.797	0.803	0.726	0.671	10.65
N2PK	3.879	0.678	0.522	0.638	0.743	0.657	0.682	0.707	0.679	0.669	9.86
N2P	3.141	0.629	0.475	0.616	0.702	0.668	0.673	0.695	0.698	0.646	8.94
N2K	4.022	0.745	0.517	0.616	0.700	0.674	0.660	0.679	0.667	0.639	9.92

表 3 不同施肥处理对< 0. 001 mm 土壤颗粒释钾量的影响(cmol kg⁻¹)

处理代号	浸提次数										总量
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
CK	11. 70	2. 239	1. 430	1. 106	0. 992	0. 875	0. 819	0. 712	0. 573	0. 426	20. 87
N1	10. 84	2. 249	1. 487	1. 154	1. 042	0. 914	0. 890	0. 759	0. 654	0. 468	20. 45
N2	10. 33	2. 330	1. 517	1. 174	1. 026	0. 932	0. 922	0. 766	0. 637	0. 493	20. 12
M1	11. 74	2. 383	1. 514	1. 168	0. 997	0. 880	0. 906	0. 788	0. 638	0. 515	21. 52
MIN1	11. 67	2. 321	1. 548	1. 197	0. 969	0. 879	0. 863	0. 742	0. 604	0. 523	21. 32
MIN2	11. 61	2. 274	1. 465	1. 131	0. 853	0. 777	0. 753	0. 693	0. 544	0. 518	20. 62
M2	12. 08	2. 493	1. 631	1. 235	0. 899	0. 859	0. 815	0. 723	0. 580	0. 544	21. 86
M2N1	12. 76	2. 469	1. 544	1. 128	0. 841	0. 808	0. 864	0. 740	0. 636	0. 567	22. 36
M2N2	11. 42	2. 406	1. 585	1. 226	1. 046	0. 934	0. 912	0. 804	0. 634	0. 479	21. 44
N2PK	11. 86	2. 456	1. 532	1. 195	1. 111	0. 954	0. 930	0. 780	0. 662	0. 470	21. 95
N2P	10. 27	2. 244	1. 443	1. 130	1. 049	0. 922	0. 867	0. 741	0. 632	0. 438	19. 74
N2K	11. 93	2. 413	1. 535	1. 146	1. 081	0. 938	0. 877	0. 747	0. 616	0. 405	21. 68

由表 1~ 表 3 可得出, 3 种粒级土壤的释钾量均随浸提次数的增多而减少。第一次浸提释钾量最高, 从第二次开始释钾量迅速下降, 之后变化较平缓。可能是含 2 1 型黏土矿物较多的土壤中非交换性钾在第一次浸提时大部分被浸提出来, 其含量迅速下降, 下降到一定程度后矿物钾可缓慢释放转化为非交换性钾^[14], 因此持续浸提 10 次仍有钾素不断释放出来, 又因矿物钾释放缓慢且数量少, 第二次浸提以后释钾量明显下降。从 3 种粒级土壤第一次释钾量来看, < 0. 001 mm 组的黏粒释钾量均为其他两组粒级的 2. 5 倍以上。< 0. 001 mm 的黏粒第一次释钾量占其总释钾量的 50% 以上; < 1 mm 及 < 0. 25 mm 的土壤颗粒均占 40% 左右。

12 个施肥处理的 3 种粒级土壤颗粒 10 周内的平均释钾总量分别为 8. 47、10. 15、21. 16 cmol kg⁻¹。从 3 组粒级土壤颗粒释钾总量来看, 10 周内钾的浸提总量从大到小依次为: < 0. 001 mm、< 0. 25 mm、< 1 mm, < 0. 001 mm 黏粒土壤的释钾总量分别是其他两种粒级的 2. 1 倍和 2. 5 倍。说明非交换性钾主要存在于土壤黏粒中, 黏粒是土壤主要的内源钾库。

同一粒级土壤颗粒释钾总量在不同施肥处理之间差异较大, 由表 3 可以看出, 施有机肥和钾肥的处理(M₁、M₁N₁、M₁N₂、M₂、M₂N₁、M₂N₂、N₂PK、N₂K) 释钾总量高, 其次为对照 CK, 再次为单施氮肥处理(N₁、N₂), 而 N₂P 处理最低, 说明有机肥和钾肥能增加土壤钾素释放量。其原因为施有机肥和钾肥能引入外源钾素, 增加土壤钾素含量, 因此使土壤颗粒释钾总量增加; 单施氮肥或氮磷配施时, 由于氮肥或磷肥的

施入促进了作物生长, 作物从土壤中带走更多的钾素, 造成土壤钾素亏空、储量减少, 从而使土壤释钾总量低于 CK。

2. 2 长期定位施肥对< 0. 001 mm 土壤颗粒释钾速度的影响

土壤中钾素的平均释放速度可以用下式计算:

平均释放速度(cmol kg⁻¹ d⁻¹) = 累积释放量
(cmol kg⁻¹) / 释放时间(d)

3 种粒级土壤不同施肥处理的第一次释钾速度均最大, 随着浸提次数增加, 钾的平均释放速度逐渐减小。不同施肥处理的土壤颗粒释钾速度明显不同: 施有机肥和钾肥的处理大于单施氮肥或氮磷混施处理及对照 CK, 说明施有机肥和钾肥能迅速提供作物所需钾素, 而单施氮、磷肥或对照, 可能由于土壤钾素多年被作物吸收, 非交换性钾含量减少, 从而导致土壤释钾速度降低。

2. 3 影响钾素释放因素分析

由表 4 可得, 第一次释钾量与释钾总量、非交换性钾、矿物态钾、全钾达到显著或极显著相关水平, 说明土壤第一次释钾量主要来自于非交换性钾、矿物态钾; 第一次释钾量高的施肥处理, 释钾总量也偏高。释钾总量与非交换性钾、矿物钾和全钾含量呈显著或极显著正相关, 而与其他形态钾素的相关程度未有达到显著水平, 说明硝酸浸提的钾素主要是非交换性钾或矿物钾向非交换性钾转化的部分。各种形态钾素与释钾总量、第一次释钾量按 5% 显著水平来选取和剔除变量, 逐步回归分析得到其回归方程为:

释钾总量= 18. 995+ 0. 041NEK
F 检验结果表明, 上式达到了 5% 显著水平($F=25. 03^*$, $F_{0.05}= 4. 96$, $n= 12$)。
第一次释钾量= 4. 017+ 0. 437TK

F 检验结果表明, 上式达到了 5% 显著水平($F=12. 29^*$, $F_{0.05}= 4. 96$, $n= 12$)。说明非交换性钾是影响释钾总量的决定性因素。

表 4 < 0. 001 mm 土壤颗粒释钾量与部分土壤理化性质间的相关性¹⁾

	释钾总量	EK	NEK	MK	TK	MT	VT	HM	KT
释钾总量	1. 000	0. 552	0. 845**	0. 630*	0. 717**	- 0. 144	- 0. 646*	0. 585*	- 0. 458
第一次释钾量	0. 920**	0. 434	0. 677*	0. 701*	0. 743**	0. 023	- 0. 550	0. 447	- 0. 333

1) EK: 交换性钾; NEK: 非交换性钾; MK: 矿物钾; TK: 全钾; MT: 蒙脱石; VT: 蛭石; HM: 水云母; KT: 高岭石

< 0. 001 mm 土壤颗粒的释钾总量还与不同种类黏土矿物的相对含量密切相关。统计结果表明, 土壤释钾总量与水云母和蛭石含量达到显著直线相关(如表 4), 说明钾素的释放与黏土矿物类型有关, 释钾总量与水云母含量之间的正相关($r= 0. 585^*$, $r_{0.05}= 0. 576$, $n= 12$) 说明水云母是钾的储存库; 而与蛭石含量呈显著直线负相关($r= - 0. 646^*$, $r_{0.05}= 0. 576$, $n= 12$) 说明蛭石的存在不利于钾素的释放, 即蛭石是固钾矿物, 水云母是释钾矿物, 从而证明了水云母和蛭石之间存在着相互转化的关系。四种黏土矿物相对含量与释钾总量按 5% 显著水平来选取和剔除变量进行逐步回归, 得到的回归方程为: 释钾总量= 22. 943- 0. 087Vt, F 检验结果表明, 上式达到了 5% 显著水平($F= 7. 18^*$, $F_{0.05}= 4. 96$, $n= 12$), 这进一步说明蛭石是影响钾素释放的主要黏土矿物。

3 结 论

- 1) 不同粒级的土壤颗粒钾素释放量不同, 随着粒级的减小, 释钾量逐渐增加, 说明黏粒是土壤主要的内源钾库。施有机肥和钾肥能增加土壤释钾总量, 而单施氮肥和氮磷配施能减少土壤释钾总量。土壤颗粒第一次释钾速度和释放量最大, 随着浸提次数的增多, 平均释放速度和释放量迅速降低, 并逐渐趋于平缓。施有机肥及钾肥能增大释钾速率, 单施氮肥和氮磷配施能降低释钾速率。因此施有机肥和钾肥能迅速提供作物所需钾素。
- 2) 释钾总量与非交换性钾、矿物钾和全钾达到极显著正相关, 说明由硝酸浸提的钾主要来自于非交换性钾, 或矿物钾向非交换性钾转化的部分。释钾总量与水云母含量呈显著正相关, 与蛭石含量呈

显著负相关, 从而证明水云母是钾素储存库, 有利于钾的释放, 蛭石是固钾矿物, 不利于钾素释放。非交换性钾含量是决定释钾总量的主要钾素形态, 蛭石是限制释钾总量的主要黏土矿物。

参 考 文 献

[1] 杨振明, 闫飞, 韩丽梅, 等. 我国主要土壤不同粒级的矿物组成及释钾特点. 土壤学报, 1999, 30(4): 163~ 167

[2] Hu H, Wang G H. Nutrient uptake and efficiency of irrigated rice in response to potassium application. Pedosphere, 2004, 14(1): 125~ 130

[3] Wang H Y, Zhou J M, Chen X Q, *et al.* Interaction of NPKE fertilizers during their transformation in soils: I . Dynamic changes of soil pH. Pedosphere, 2003, 13(3): 257~ 262

[4] 杨振明, 闫飞, 韩丽梅. 土壤钾素研究的新进展. 吉林农业大学学报, 1998, 20(3): 99~ 106

[5] 杨振明, 周文佐, 鲍士旦. 我国主要土壤供钾能力的综合评价. 土壤学报, 1999, 36(3): 377~ 386

[6] 姚源喜, 刘树堂, 邹恒福. 长期定位施肥对非石灰性潮土钾素状况的影响. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 241~ 244

[7] 刘永辉, 张静妮, 崔德杰, 等. 长期定位施肥对非石灰性潮土黏土矿物组成及主要理化性质的影响. 土壤学报, 2006, 43(4): 697~ 702

[8] 崔德杰, 刘永辉, 隋方功, 等. 长期定位施肥对非石灰性潮土 K⁺ 解吸动力学的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 213~ 218

[9] 崔德杰, 刘永辉, 隋方功, 等. 长期定位施肥对土壤钾素形态的影响. 莱阳农学院学报, 2005, 22(3): 165~ 167

[10] 袁可能编著. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983. 166~ 221

[11] 李学垣. 土壤化学及实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1997. 229~ 235

[12] 张荣科, 范光. 黏土矿物 X 射线衍射相定量分析方法与实验. 铀矿地质, 2003, 19(3): 180~ 185

[13] 金继运. 土壤钾素研究进展. 土壤学报, 1993, 30(1): 94~ 101

[14] 黄绍文, 金继运, 王泽良. 北方主要土壤钾形态及植物有效性研究. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 156~ 164