

腐殖酸对耕地棕壤固钾与释钾作用的影响研究*

梁成华 罗 磊 杜立宇 潘大伟

(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

摘 要 通过室内等温培养试验,研究了施用富里酸和胡敏酸对耕地棕壤钾素释放和固定作用的影响。结果表明,施用腐殖酸可以促进土壤钾素的释放,并有随腐殖酸用量提高而增高的趋势。其中,施用富里酸 4%,在 25℃ 条件下培养 21d,土壤的钾素释放量增加了 6.25%,而在相同条件下,施用胡敏酸土壤钾素的释放量仅增加了 2.26%;施用腐殖酸可以降低土壤对外源钾的固定量,在施用外源钾 400 mg kg⁻¹ 土条件下,与对照比较各处理的固钾量差异均达到了极显著水平。外源钾施用方式对腐殖酸降低土壤固钾作用的影响不同,腐殖酸与土壤恒温培养 7d 以后施用钾素的固钾量低于钾素与腐殖酸同时施用处理的。腐殖酸对土壤钾素释放和固定的影响是通过对含钾矿物的溶解和层间堵塞以及对钾素的吸附作用实现的。

关键词 腐殖酸;棕壤;钾素固定与释放

中图分类号 S153.6 **文献标识码** A

在富含 2:1 型黏土矿物的土壤上,固钾作用是影响钾素有效性的主要因素。一般认为,土壤对外源钾的固定和释放是受 2:1 型黏土矿物层间钾与交换性钾和水溶性钾之间动态平衡控制的物理化学过程,黏土矿物类型、土壤水分状况、铵离子浓度是影响这一过程的主要因素^[1]。然而,近年来的一些研究表明,在土壤钾素受到耗竭的土壤上,钾素的固定和释放与有机质含量密切相关^[2,3]。Cassman^[4]对加利福尼亚富含蛭石土壤的固钾特性研究发现,提高土壤有机质含量有助于降低土壤的固钾量。我国东北耕地土壤普遍固钾能力较强,但钾素受到的耗竭程度和有机质降低现状逐年加重,已受到广泛关注。目前,有关腐殖质与土壤钾素固定关系的研究还鲜有报道。本文就腐殖酸对耕地棕壤固钾与释钾作用的影响进行了初步研究。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

1.1.1 供试土壤 供试土壤采自辽宁沈阳由黄土状沉积物上发育的耕地棕壤,采样深度为 0~20 cm,风干后过 1 mm 筛。土壤基本理化性质是:有机质 11.6 g kg⁻¹,全氮 0.87 g kg⁻¹,全钾 (K) 20.12

g kg⁻¹,缓效钾 (K) 743.2 mg kg⁻¹,速效钾 (K) 114.8 mg kg⁻¹,黏粒 (<0.002 mm) 29.83%,阳离子交换量 16.24 cmol kg⁻¹。

1.1.2 腐殖酸 富里酸 (FA)、胡敏酸 (HA) 为从堆腐猪粪提取,按文启孝^[5]建议的方法分离和纯化。富里酸含碳 448.6 g kg⁻¹,全氮 20.47 g kg⁻¹,全钾 (K) 0.347 g kg⁻¹;胡敏酸含碳 506.2 g kg⁻¹,全氮 18.13 g kg⁻¹,全钾 (K) 0.298 g kg⁻¹。

1.2 试验方法

按富里酸 (FA) 和胡敏酸 (HA) 的含碳量,设施用富里酸 2、4、8、10 g kg⁻¹ 土 4 个处理,胡敏酸的用量也同样设 2、4、8、10 g kg⁻¹ 土 4 个处理,以不加入腐殖酸的为对照。另外,在施用不同量腐殖酸处理的基础上,设不同施钾方式处理,即钾素与腐殖酸同时施用和腐殖酸与土壤恒温培养第 7 天时施用两个处理。各处理设 3 次重复。

称取土样 5.000 g 若干份于 80 ml 塑料瓶中,按上述处理加入 HA 和 FA,充分混匀,再分别按 K⁺ 0、200、400、600 mg kg⁻¹ 土加入 KCl 溶液,保持恒湿 (60%, W/W),在 25℃ 条件下培养 21 d。在培养结束后分别测定土壤水溶性钾和 1 mol L⁻¹ 中性 NH₄OAc 浸提的钾量,在计算土壤水溶性钾和速效

* 国家自然科学基金项目 (编号:40071052) 资助

作者简介:梁成华 (1958~),男,辽宁铁岭人,教授,主要从事土壤肥力和环境保护研究及教学工作。E-mail: liang110161@sina.com

收稿日期:2004-03-25;收到修改稿日期:2004-08-16

钾含量变化时去除因施用腐殖酸带入的钾量,并按下列公式计算土壤对外源钾的固定量和固定率。

$$K_v = K_0 + K_f - K_i$$

$$\text{固钾}(\%) = K_v / K_f \times 100$$

式中, K_v 为土壤固钾量($K, \text{mg kg}^{-1}$), K_i 和 K_0 分别为培养 t 天后和培养前土壤的 1 mol L^{-1} 中性 NH_4OAc (pH7)浸提钾量($K, \text{mg kg}^{-1}$), K_f 为外源钾施用量。

1.3 分析测试

土壤和胡敏酸中的全氮和有机碳含量用元素分析仪(VarioEL,德国产)测定;全钾用NaOH熔融,速效钾含量用 1 mol L^{-1} 中性 NH_4OAc (pH7)浸提,溶液中的钾素用火焰光度法测定;粘粒含量用吸管法测定。

2 结果与讨论

2.1 施用腐殖酸对土壤钾素释放的影响

土壤各种形态钾素之间相互转化,并处于动态平衡,在矿物风化和土壤发育过程中,矿物钾可以逐渐向非交换性钾或缓效钾转化,非交换性钾也可以向交换性钾和水溶性钾转化。用 1 mol L^{-1} 中性 NH_4OAc (pH7)浸提的钾素主要包括土壤胶体表面上吸附的钾和位于2:1型黏土矿物边缘楔形区域内可以被铵离子交换的钾离子,一般将这部分钾素看作土壤的有效钾^[6]。本研究用 1 mol L^{-1} 中性 NH_4OAc (pH7)浸提的钾素代表土壤钾素的释放量。土壤加入富里酸和胡敏酸以后,在25℃条件下恒湿培养21 d后,土壤钾素的释放量明显提高,并有随

腐殖酸用量提高而增加的趋势,其中富里酸的作用要大于胡敏酸的。从表1可以看出,在富里酸施用量为 10 g kg^{-1} 处理中,土壤钾素的释放量达到了 129.1 mg kg^{-1} ,比没有施用腐殖酸的(114.8 mg kg^{-1})增加了12.47%。土壤施用胡敏酸也能够提高钾素的释放量,但不如施用富里酸的作用大。施用胡敏酸 10 g kg^{-1} 处理的钾素释放量为 125.9 mg kg^{-1} ,增加幅度为9.7%。显著性检验表明,施用腐殖酸处理的土壤钾素释放量与对照比较都达到了显著水平。

表1分别列出了钾素总释放量中水溶性钾和交换性钾的含量。从表中看出,在没有施用外源钾的条件下,施用富里酸 10 g kg^{-1} 处理的土壤水溶性钾含量由 14.52 mg kg^{-1} ,增加到 26.57 mg kg^{-1} ,增加了83.0%,而交换性钾从 100.3 mg kg^{-1} 增加到 102.5 mg kg^{-1} ,仅增加了2.3%。在施用胡敏酸处理中水溶性钾的增加量明显低于施用富里酸处理的,仅增加了35.5%,但是交换性钾的增加幅度反而高于施用富里酸的,达到了6.0%。另外,从表1中还可以看出,土壤施用外源钾以后,不仅施用腐殖酸处理的水溶性钾和交换性钾明显增加,而且没有施用腐殖酸的水溶性钾和交换性钾增加幅度也较大,二者之和增加了 43.02 mg kg^{-1} ,而施用 10 g kg^{-1} 富里酸和胡敏酸处理的与没有施用腐殖酸处理的比较,土壤的交换性钾分别增加了 26.38 mg kg^{-1} 和 15.18 mg kg^{-1} ,增加幅度为20.0%和12.1%。这一现象说明施用腐殖酸不仅可以提高土壤水溶性钾含量,而且还可提高被土壤固定外源钾的释放,其中富里酸的作用大于胡敏酸的。

表1 施用腐殖酸对土壤钾素释放量的影响(培养21d)

Table 1 Effects of humic acids on potassium release in the soil (Incubated for 21d)

腐殖酸用量 Humus added (C, g kg^{-1})	施钾量 K applied	钾素总释放量 (K, mg kg^{-1})		
		水溶性钾 Water soluble K	钾素总释放量 Total extractable K	交换性钾 Exchangeable K
FA	0	0	114.8	100.3
	10	0	129.1	102.5
	0	600	157.8	125.9
	10	600	201.2	152.2
HA	0	0	114.8	100.3
	10	0	125.9	106.3
	0	600	157.8	125.9
	10	600	180.6	141.0

Tan^[7]认为腐殖酸对含钾矿物的溶解作用在促进土壤钾素释放上也起着重要作用; Schnitzer^[8]和 Song^[9]的研究证明了富里酸对含钾矿物的溶解作用; Olk 等^[3]在富含蛭石的土壤中施用从土壤中提取的脱钙胡敏酸后发现, 土壤的水溶性钾和交换性钾提高了, 并认为是腐殖酸的溶解作用和促进矿物晶层膨胀所致。本研究的上述分析表明, 腐殖质在提高土壤钾素释放方面, 既有它对含钾矿物的溶解作用, 又有对钾素的吸附和促进层间钾释放的作用。

2.2 施用腐殖酸对土壤钾素固定的影响

土壤的固钾作用是指土壤溶液中的钾和交换性钾进入 2:1 型黏土矿物的复三方网孔中, 而不能被 $1\text{ml L}^{-1} \text{NH}_4\text{OAc}$ (pH7) 浸提, 成为非交换性钾的过程。土壤固钾作用经常发生在有外源钾施入的情况下, 是影响钾肥利用率的主要因素。从表 2 可以看出, 在土壤没有施用腐殖酸时, 每 kg 土施用 200、400

和 600 mg 钾素的条件下, 经过 21d 的恒湿培养, 土壤的固钾量达到了 172.9、359.8 和 538.0 mg kg^{-1} , 固钾率分别为 86.47%、89.94% 和 89.67%。施用腐殖酸以后, 土壤的固钾率都不同程度地下降了。在施用富里酸 2、4、8、10 g kg^{-1} 以后, 每 kg 土壤施用外源钾 600 mg 条件下, 土壤的固钾率分别下降至 88.81%、87.37%、85.06%、82.78%, 除施用 2 g kg^{-1} 的处理外, 其他的与对照之间的差异均达到了极显著水平, 而且各处理之间的差异性也达到了极显著水平。施用胡敏酸也具有降低土壤固钾量的作用, 在施用外源钾 200 mg kg^{-1} 和 400 mg kg^{-1} 条件下, 与对照比较土壤的固钾量差异均达到了极显著水平; 而施用钾素 600 mg kg^{-1} 处理的, 除施用胡敏酸 2 g kg^{-1} 处理的外, 其他的也达到了极显著水平。从图 1 还可以看出, 施用富里酸降低土壤固钾率的作用要大于施用胡敏酸的。

表 2 施用腐殖酸对土壤固钾量的影响

Table 2 Effect of humic acids on K fixation rate by the soil

腐殖酸用量 Humus added (C, g kg^{-1})	胡敏酸 HA			富里酸 FA		
	外源钾加入量 K added (K, mg kg^{-1})			外源钾加入量 K added (K, mg kg^{-1})		
	200	400	600	200	400	600
0	172.9a	359.8a	538.0a	172.9a	359.8a	538.0a
2	171.3a	357.7b	538.6b	168.8b	354.6b	532.9a
4	166.9b	352.7c	535.0b	164.7c	343.5c	524.2b
8	157.8c	346.6d	524.9c	151.4d	331.2d	510.4c
10	152.7d	335.5e	517.2d	135.7e	310.4e	496.7d

注: 在同一列中标有相同字母的数据间差异未达到极显著水平 $p=0.01$ Note: Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at $p=0.01$ level

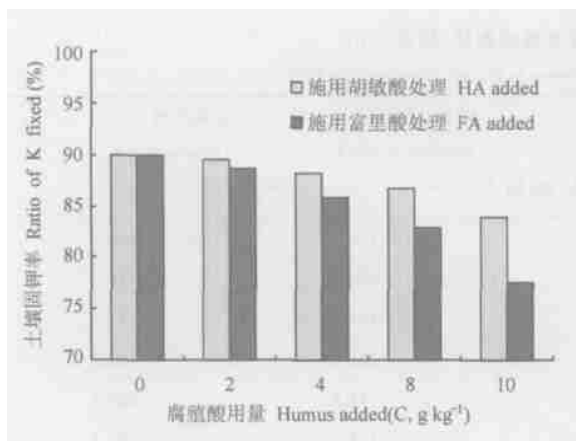


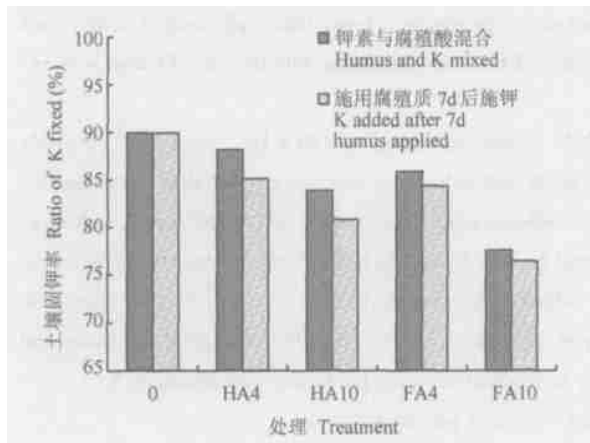
图 1 施用腐殖酸对土壤固钾率的影响 (施钾 400mg kg^{-1})

Fig. 1 Effect of humic acids on K fixation rate in the soil

2.3 外源钾不同施用方式对土壤固钾状况的影响

一般认为, 由于腐殖酸具有较大的阳离子交换量, 施入土壤中的钾素可以通过被腐殖酸吸附而降低土壤的固钾率, 并相应地提高交换性钾浸提量^[10]。一些研究表明, 腐殖酸中的胺基对 2:1 型黏土矿物层间钾的交换作用在降低土壤固钾能力上有一定贡献^[11, 3]。还有一些学者认为, 腐殖酸对 2:1 型黏土矿物的层间堵塞和楔入作用降低了矿物的固钾强度^[12]。为了将腐殖酸对含钾矿物的溶解作用和对钾素的吸附作用与层间堵塞作用分开讨论, 本研究将外源钾的施用方式设为与腐殖酸同时施用和腐殖酸与土壤培养 7d 后施用两种处理。从图 2 可以看出, 在没有施用腐殖酸处理中, 施用外源钾相隔 7d 并没有影响土壤的固钾率。但是, 在施用腐殖酸处理中, 两种不同施钾方式处理的固钾率出现了明

显差异,其中,土壤与胡敏酸培养 7d 以后再施钾处理的固钾率显著下降,施胡敏酸 4 g kg^{-1} 和 10 g kg^{-1} 的固钾率分别为 85.13% 和 80.82%, 比与胡敏酸同时施用处理的低 3.58% 和 3.77%, 而在施用富里酸处理中也有同样的规律,但降低的幅度仅 1.81% 和 1.50%, 低于胡敏酸的作用。这可能是由于富里酸的活性较大,容易与土壤发生复合作用有关。



HA4: HA 4 g kg^{-1} ; HA10: HA 10 g kg^{-1} ; FA4: FA 4 g kg^{-1} ;
FA10: FA 10 g kg^{-1}

图 2 钾素不同施用方式对土壤固钾率的影响(施钾 400 mg kg^{-1})

Fig. 2 Effect of ways of K application on K fixation rate

前期研究结果已经表明,供试土壤所需的固钾平衡时间较短,一般 1 d 以内就达到了平衡,再继续培养固钾量不发生变化。因此,可以认为,本研究所设钾素与腐殖酸混合后同时施用处理与施用腐殖酸 7 d 后再施用钾素处理之间的固钾率差异应该主要是腐殖酸与土壤复合以后对 2:1 型黏土矿物层间产生堵塞造成的。这一结果还表明,虽然富里酸和胡敏酸在促进土壤钾素释放和降低土壤固钾率上都具有一定作用,但富里酸对含钾矿物的溶解作用和对层间钾素的交换作用较强,而胡敏酸在通过层间堵

塞降低土壤固钾作用上要强于富里酸。

参考文献

- [1] 谢建昌. 土壤钾素研究的现状与展望. 土壤学进展, 1981, 1: 1~16. Xie J C. Present situation and prospects for the soil potassium research (In Chinese). Progress in Soil Science, 1981, 1: 1~16
- [2] Karathanasis A D, Wells K L. Conservation tillage effects on the potassium status of some Kentucky soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54: 800~806
- [3] Oik D C, Cassman K G. Reduction of potassium fixation by two humic acid fractions in vermiculitic soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1995, 59: 1 250~1 258
- [4] Cassman K G, Roberts B A, Bryant D C. Cotton responds to residual fertilizer potassium on vermiculitic soil: Soil organic matter and sodium effects. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56: 823~830
- [5] 文启孝. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984. Wen Q X. Research Method of Organic Matters in Soil (In Chinese). Beijing: Agricultural Press, 1984
- [6] 金继运. 土壤钾素研究进展. 土壤学报, 1993, 30(2): 95~100. Jin J Y. Progress in soil potassium research (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1993, 30(2): 95~100
- [7] Tan K H. The release of silicon, aluminum, and potassium during decomposition of soil mineral by humic acid. Soil Sci., 1980, 129: 5~11
- [8] Schnitzer M, Kodama H. The dissolution of mica by fulvic acid. Geoderma, 1976, 15: 381~391
- [9] Song S K, Huang P M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. Soil Sci. Soc. Am. J., 1988, 52: 383~390
- [10] Poonia S R, Mehta S C, Pal R. Exchange equilibria of potassium in soils. Effect of farmyard manure on potassium-calcium exchange. Soil Sci., 1986, 141: 77~83
- [11] Kodama H, Schnitzer M. Evidence for interlayer adsorption of organic matter by clay in a podzol soil. Canada Journal of Soil Science, 1971, 51: 509~512
- [12] Evangelou V P, Wang J. Effect of long-term tillage system and nitrogen addition on potassium quantity-intensity relationship. Soil Sci. Soc. Am. J., 1988, 52: 1 047~1 054

EFFECT OF HUMIC ACIDS ON FIXATION AND RELEASE OF POTASSIUM IN CULTIVATED BROWN SOIL

Liang Chenghua Luo Lei Du Liyu Pan Dawei

(*College of Land and Environment, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China*)

Abstract Laboratory incubation experiments in constant temperature were implemented to study influence of humic-acid and fulvic-acid on fixation and release of potassium in cultivated brown soil. The results indicate that application of humic acids accelerated potassium release from the soil, showing a tendency of the rate of K release increasing with the rate of humic acid addition.

After incubating at 25 °C for 21 days, K release increased by 6.25 % in the soil treated with 40 g kg⁻¹ fulvic-acid, but only by 2.26 % in the soil treated with humic-acid. Application of humic acids may reduce the rate of the soil fixing extraneous K. After application of 400 mg kg⁻¹ K, the soils treated with humic acids differed significant from the soil in the control in K fixation. But the effect of humic acids reducing K fixation rate was affected by how K was applied. In the treatments where humic acids-treated soils were incubated in constant temperature for 7 days before application of potassium, the K fixation rates were lower than that in the treatment of applying potassium and humic acids at the same time. The effect of humic acids on fixation and release of potassium in soil was accomplished by dissolving K-bearing minerals or blocking interlayers and adsorbing K.

Key words Humic acid; Cultivated brown soil; Fixation and release of potassium