

# NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对 K<sup>+</sup> 在土壤肥际微域中迁移和转化的影响\*

杜振宇<sup>1, 2</sup> 周健民<sup>†</sup> 王火焰<sup>1</sup> 杜昌文<sup>1</sup> 陈小琴<sup>1</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

(2 山东省林业科学研究院, 济南 250014)

**摘要** NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 共施在农田施肥中是很普遍的现象, 研究它们共施后二者在土壤中的交互作用对指导施肥具有重要意义。采用室内土柱实验研究了共施条件下 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对 K<sup>+</sup> 在红壤和潮土肥际微域中的迁移和形态转化的影响, 供试肥料为 NH<sub>4</sub>Cl 和 KCl。试验结果表明, 与单施 K<sup>+</sup> 相比, 共施 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 没有改变肥料钾在红壤和潮土中的迁移距离, 但提高了肥际微域中的水溶性钾含量; 在靠近施肥点附近, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的施用减少了土壤交换性钾含量, 这种作用在潮土中的表现不如在红壤中明显; 与单施 KCl 相比, 共施 NH<sub>4</sub>Cl 明显降低了施肥点附近土壤微域内的非交换性钾含量。研究结果表明, 共施 NH<sub>4</sub>Cl 减少了土壤晶格对钾离子的固定, 增加了钾的淋溶风险。

**关键词** NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; K<sup>+</sup>; 红壤; 潮土; 迁移; 转化

**中图分类号** S153.3 **文献标识码** A

K<sup>+</sup> 半径与 2:1 型粘土矿物晶层网眼的大小相近, 因此钾的晶格固定常发生于 2:1 型粘土矿物如蛭石、蒙脱石、伊利石等的晶层间<sup>[1~4]</sup>。NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 与 K<sup>+</sup> 有几乎相同的离子半径和水化能, 因此 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 离子也同样会被粘土矿物晶格固定<sup>[5, 6]</sup>。由于 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 与 K<sup>+</sup> 竞争固定位点, 因而 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的存在可能会改变 K<sup>+</sup> 的固定及释放特征。一般认为, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 先于 K<sup>+</sup> 施用或同时施用, K<sup>+</sup> 在土壤中的固定量会下降<sup>[7~9]</sup>, 但也有例外的报道<sup>[10]</sup>。NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 在影响 K<sup>+</sup> 固定时, 会对土壤中的水溶性钾和交换性钾产生影响, 但这方面的研究只有零星报道<sup>[11]</sup>。在农业生产中, 特别是近年来随着复混肥大规模的推广应用, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 共施的现象普遍存在, NH<sub>4</sub>Cl (或 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 经常和 KCl (或 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 一起作为复混肥中的主要配料, 因而研究 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 共施条件下 K<sup>+</sup> 在土壤中的化学行为有重要意义。前人的研究基本上都是采用土壤和肥料均匀混合的土壤培养实验, 或在田间较大空间范围内取样测定, 这些方法不能准确反映肥料附近微域中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对 K<sup>+</sup> 土壤化学行为的影响, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 浓度在肥料颗粒周围发生变化的情况并不清楚, 因

此研究 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对 K<sup>+</sup> 在肥际微域中迁移和转化的影响是非常必要的。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试土壤为江西鹰潭红壤(湿润富铁土)和河南封丘潮土(潮湿雏形土), 土壤采自耕层(0~15 cm), 其基本理化性状见表 1。其中阳离子交换量(CEC)

**表 1** 供试土壤的基本理化性状  
**Table 1** Basic properties of the soils selected

土壤 Soil	pH <sup>1)</sup>	阳离子 交换量 CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )	有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg kg <sup>-1</sup> )	缓效钾 Slow- available K (mg kg <sup>-1</sup> )
红壤 Red soil	4.57	9.88	10.8	49.3	96.8
潮土 Fluvisol soil	8.60	8.44	13.7	216	1284

1) 水土比为 1:2.5 W<sub>soil</sub>:W<sub>water</sub> = 1:2.5

\* 国家自然科学基金项目(No. 40071051)和国家重点基础研究发展规划项目(No. G1999011802)资助

† 通讯作者, E-mail: jmzhou@issas.ac.cn

作者简介: 杜振宇(1973~), 男, 山东枣庄人, 博士, 高级工程师, 主要从事土壤肥力、植物营养和新型肥料开发方面的研究。E-mail: zhenyu.du@163.com

收稿日期: 2006-02-31; 收到修改稿日期: 2006-06-24

用  $\text{NH}_4\text{OAc}$  法测定; 有机质采用  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  氧化测定; 有效钾用  $1 \text{ mol L}^{-1} \text{NH}_4\text{OAc}$  浸提, 缓效钾用  $1 \text{ mol L}^{-1}$  沸  $\text{HNO}_3$  提取<sup>[12]</sup>。

供试肥料为分析纯  $\text{NH}_4\text{Cl}$  和  $\text{KCl}$  试剂, 土壤和肥料样品均磨细并过 20 目筛。

## 1.2 方法

采用室内土柱实验, 所用培养容器为内圆外方的蜡筒, 高 15 cm, 直径 5 cm, 将石蜡和凡士林按 2:1 比例在水浴中融化并混匀后, 倒入模具浇铸而成<sup>[13]</sup>。蜡筒一端用两张圆形滤纸封口, 均匀装土 360 g, 保持土壤容重为  $1.22 \text{ g cm}^{-3}$ 。为了将肥料与土壤隔开, 并让肥料溶液能均匀向土壤中扩散, 在圆形土柱上面放置一片略小于蜡筒直径的滤纸圆片。将装好的土柱垂直放置在细砂盘上, 向细砂盘中加入去离子水, 利用毛细作用使土柱均匀吸水至饱和持水量, 此时红壤土柱的含水量为  $370 \text{ g kg}^{-1}$ , 潮土土柱的含水量则为  $332 \text{ g kg}^{-1}$ 。土柱吸水至饱和持水量后, 去掉蜡筒下端的封口滤纸, 两端用 Parafilm 膜封口, 以防水分损失<sup>[14]</sup>, 将蜡筒垂直放于  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  培养室内避光平衡 48 h。

两种土壤各设 2 个施肥处理: (1)  $\text{KCl}$  0.2 g (以 K 表示); (2)  $\text{KCl}$  0.2 g +  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0.144 g (以 NK 表示), 培养时间为 7d 和 28d; 各处理所施 K 与 N 的摩尔数相同, 同一培养时间重复 3 次。同时以不施肥的空白处理为对照 (CK)。培养到预定时间后, 对红壤实验, 用自行设计的切土装置将蜡筒从顶端依次切成 25 片 2 mm 厚和 20 片 5 mm 厚的薄片, 取其中的土样供分析化验; 潮土实验则切成 30 片 5 mm 厚

的薄片。测定土样的含水量和水溶性钾、交换性钾、非交换性钾含量, 切土装置、切土方法和分析方法参见文献[15, 16]。

在本实验中, 土壤样品中钾含量以单位烘干土重含单质钾量 ( $\text{K mg kg}^{-1}$ ) 表示, 数据的统计分析通过 STATISTICA 6.0 统计软件完成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 $\text{NH}_4^+$ 对水溶性钾的影响

红壤和潮土各处理的肥际微域中水溶性钾的动态变化如图 1 和图 2 所示, 水溶性钾含量的分布规律在单施  $\text{K}^+$  和  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$  共施时相近, 总的趋势均是随着距施肥点距离的增加而逐渐降低。本实验中同一土壤的 2 个处理的钾迁移距离相同, 在 7 d 和 28 d 时红壤分别为 60 mm 和 90 mm, 潮土则分别为 40 mm 和 55 mm, 表明施  $\text{NH}_4^+$  没有改变  $\text{K}^+$  在土壤肥际微域中的迁移距离。比较同一培养时间下施用  $\text{NH}_4^+$  对水溶性钾含量的影响, 可以看出, 培养 7 d 时在红壤中共施  $\text{NH}_4^+$  对水溶性钾没有明显影响, 两个施肥处理的浓度变化线几乎重叠在一起, 但在培养 28 d 时  $\text{NH}_4^+$  对红壤水溶性钾则有较明显的提高作用。这可能是因为红壤对阳离子吸附量很低, 因此 7 d 时看不出差异, 随培养时间延长, 离子进一步扩散, 至 28 d 时,  $\text{NH}_4^+$  减少  $\text{K}^+$  吸附的现象才得以显现。在潮土中, 共施  $\text{NH}_4^+$  处理中水溶性钾含量在全过程均高于单施  $\text{K}^+$  时的含量, 这说明  $\text{NH}_4^+$  的存在对减少  $\text{K}^+$  的吸附比例在潮土中更明显。

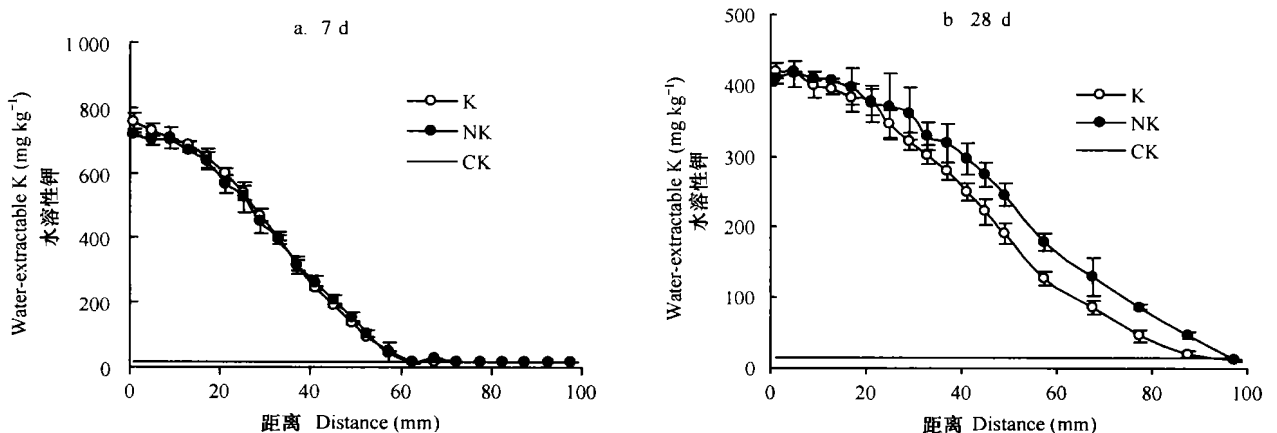


图 1 施  $\text{NH}_4^+$  对红壤肥际微域水溶性钾的影响

Fig. 1 Effect of  $\text{NH}_4^+$  on water extractable K in fertilizer microsites in red soil

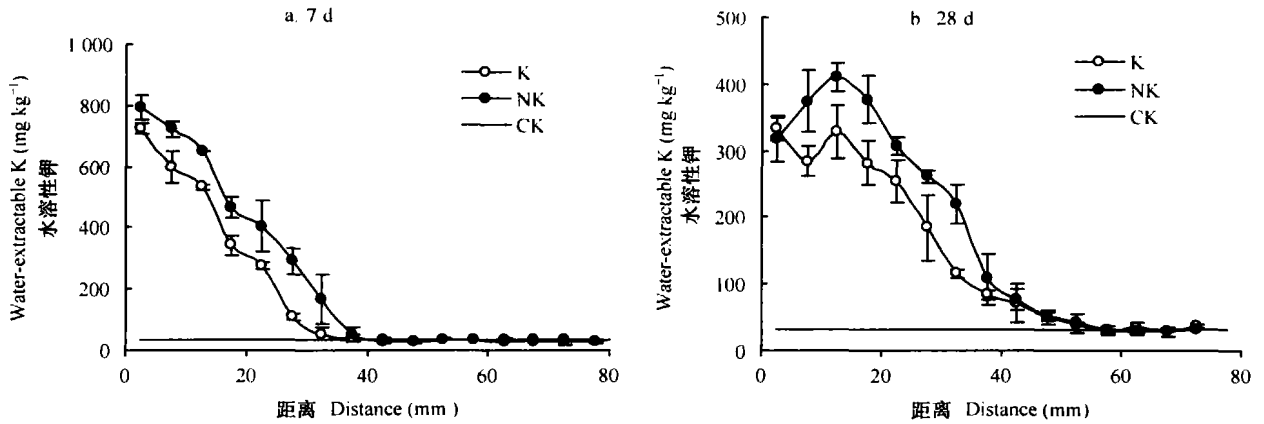


图2 施  $\text{NH}_4^+$  对潮土肥际微域水溶性钾的影响

Fig. 2 Effect of  $\text{NH}_4^+$  on water extractable K in fertilizer microsites in Fluvisol soil

实验结果表明,  $\text{NH}_4^+$  对水溶性钾的影响非常显著, 共施  $\text{NH}_4^+$  显著提高了土壤肥际微域中水溶性钾的含量, 这一方面是由于  $\text{NH}_4^+$  与土壤颗粒表面的一些位点的结合能力远远大于  $\text{K}^+$  与这些位点的结合能力, 从而使  $\text{NH}_4^+$  吸附到土壤的交换位点和非交换位点, 导致可用来吸附和固定  $\text{K}^+$  的位点减少<sup>[17]</sup>; 另一方面, 也可能是因为在土壤颗粒表面,  $\text{NH}_4^+$  交换  $\text{K}^+$  的能力远远大于  $\text{K}^+$  交换  $\text{NH}_4^+$  的能力<sup>[18]</sup>。总之, 土壤溶液中的钾是由  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{K}^+$  在土壤中的交换吸

附和土壤中的扩散两个过程决定的。

## 2.2 $\text{NH}_4^+$ 对交换性钾的影响

从图3可以看出, 单施  $\text{K}^+$  和  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$  共施时, 红壤肥际微域中的交换性钾含量随距施肥点距离增加而逐渐降低。与单施  $\text{K}^+$  相比, 共施  $\text{NH}_4^+$  显著降低了交换性钾在红壤肥际微域中的含量, 施  $\text{NH}_4^+$  导致肥际微域中交换性钾含量的减少与导致水溶性钾含量增加的结果是相关联的, 可归因于  $\text{NH}_4^+$  与  $\text{K}^+$  在交换位点的竞争或直接交换作用。

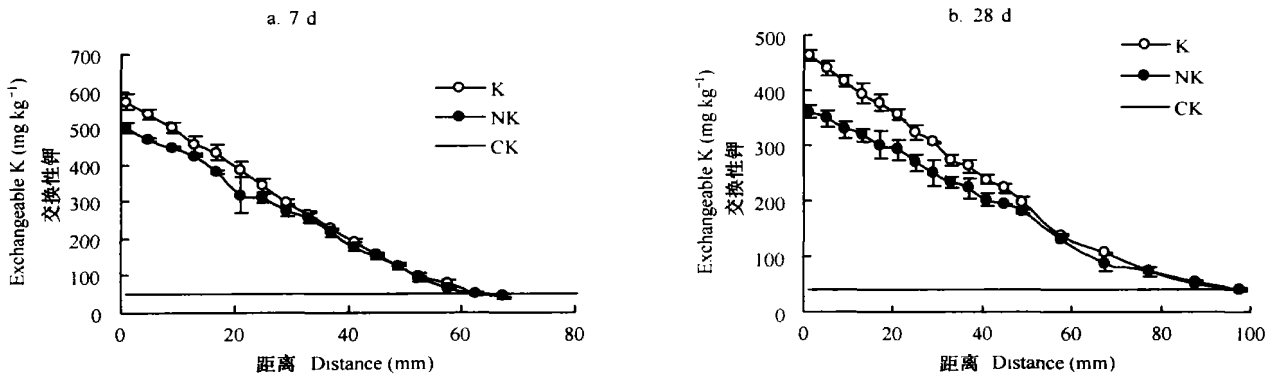


图3 施  $\text{NH}_4^+$  对红壤肥际微域交换性钾的影响

Fig. 3 Effect of  $\text{NH}_4^+$  on exchangeable K in fertilizer microsites in red soil

为了比较红壤中距施肥点不同距离处这种影响作用的大小, 将同一距离处两施肥处理交换性钾含量之差占单施钾时含量的百分数定义为减少率。图4表明, 随着距施肥点距离的增加,  $\text{NH}_4^+$  对土壤交换性钾的减少率有逐渐下降的趋势, 表明距施肥点距

离越近,  $\text{NH}_4^+$  的影响作用越大, 原因可能是由于距施肥点近处  $\text{NH}_4^+$  浓度较高的缘故。28 d 时的影响作用要大于 7 d 时, 其原因可能在于: 随培养时间增加, 由于  $\text{NH}_4^+$  在土壤中逐渐被硝化,  $\text{NH}_4^+$  逐渐减少, 所产生的  $\text{H}^+$  相应增多, 由于  $\text{H}^+$  的吸附能力较大,

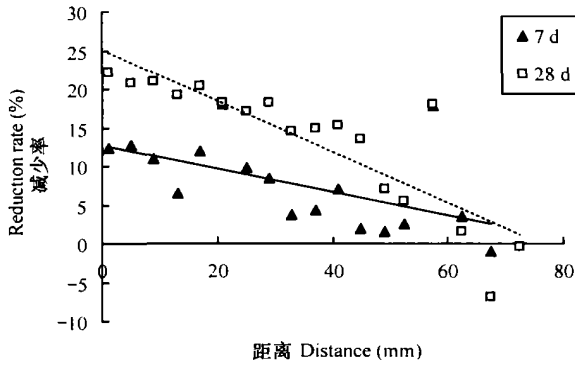


图4 施  $\text{NH}_4^+$  对红壤肥际微域交换性钾含量减少率的影响

Fig. 4 Effect of  $\text{NH}_4^+$  on reduction rate of exchangeable K in fertilizer microsites in red soil

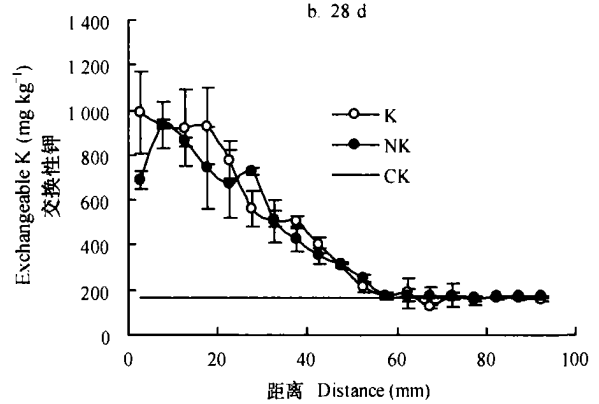
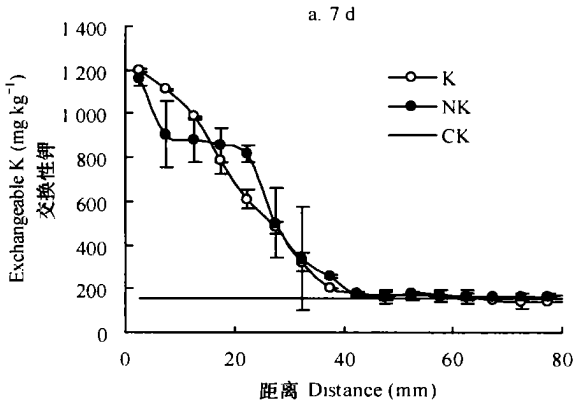


图5 施  $\text{NH}_4^+$  对潮土肥际微域交换性钾的影响

Fig. 5 Effect of  $\text{NH}_4^+$  on exchangeable K in fertilizer microsites in Fluvø aquatic soil

在红壤和潮土肥际微域中的分布没有显著影响,但可以明显看出,施用  $\text{NH}_4^+$  处理的非交换性钾在距施肥点较近范围内略低于单施  $\text{K}^+$  处理的含量,表明施  $\text{NH}_4^+$  减少了土壤对  $\text{K}^+$  的固定,这与前人的很多研究结果相一致<sup>[7-9, 21]</sup>。由于  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{K}^+$  有相近的水化离子半径,粘土矿物晶格对它们的固定机制相似,当  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{K}^+$  同时施用于土壤时,会对同一固定位点进行竞争,这样就会导致  $\text{K}^+$  固定量下降。由于潮土中 2:1 型粘土矿物含量较高,这种作用就会更加明显。

#### 2.4 施 $\text{NH}_4^+$ 对不同形态钾迁移量的影响

1 mol L<sup>-1</sup> 沸  $\text{HNO}_3$  法常被用作土壤缓效钾的提

对  $\text{K}^+$  的交换能力要大于  $\text{NH}_4^+$  对  $\text{K}^+$  的交换能力<sup>[19, 20]</sup>;也有可能是由于土壤表面正电荷增加,减少了钾的吸附,因而在 28 d 时红壤交换性钾比例相对较低。

相比之下,施用  $\text{NH}_4^+$  对潮土肥际微域交换性钾的影响不如在红壤中明显(图 5),统计结果表明差异不显著( $p < 0.05$ ),但在距施肥点较近距离内(培养 7 d: 0~15 mm; 培养 28 d: 0~25 mm),交换性钾仍有明显降低趋势,这与潮土中  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{K}^+$  的吸附量较大,且  $\text{Ca}^{2+}$  含量较高有关。

#### 2.3 $\text{NH}_4^+$ 对非交换性钾的影响

非交换性钾含量在肥际微域中的动态变化如图 6 和图 7 所示,在施肥点附近,非交换性钾含量有增加趋势。与单施  $\text{K}^+$  相比,共施  $\text{NH}_4^+$  对非交换性钾

取,但少部分被土壤固定的钾素不能为该法提取出来,王火焰将其命名为深层固定钾<sup>(1)</sup>。同时,由于 1 mol L<sup>-1</sup> 沸  $\text{HNO}_3$  对一些云母、蛭石有一定程度的破坏作用,可能会释放出一定量的矿物钾<sup>[22]</sup>,因此所提取的非交换性钾只是一个半定量的相对值,但用该法计算施入钾素的回收率,以此间接地评价外源钾的固定还是比较合理的<sup>[23]</sup>。此方法能够比较完全地提取出所固定的钾,因此我们以施钾处理土样中水溶性钾、交换性钾和非交换性钾的量,减去未施肥(空白)处理土样中相应形态钾差值的总量作为来自肥料的全钾量<sup>[24]</sup>。水溶性钾与交换性钾二者之和为有效钾。肥料中的钾迁移进入土壤后以不同形

(1) 王火焰. NPK 肥料在土壤中交互作用与养分的形态转化. 中国科学院南京土壤研究所博士后研究报告, 2001

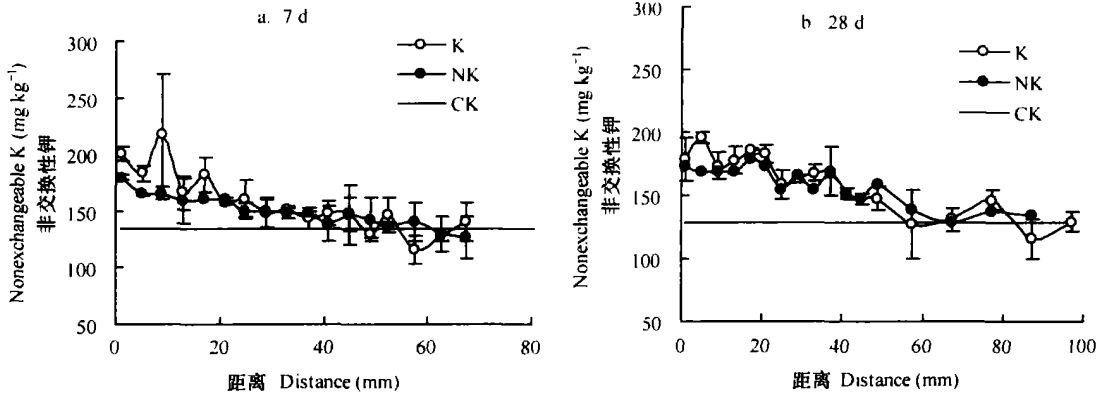


图 6 施  $\text{NH}_4^+$  对红壤肥际微域非交换性钾的影响

Fig. 6 Effect of  $\text{NH}_4^+$  on nonexchangeable K in fertilizer microsites in red soil

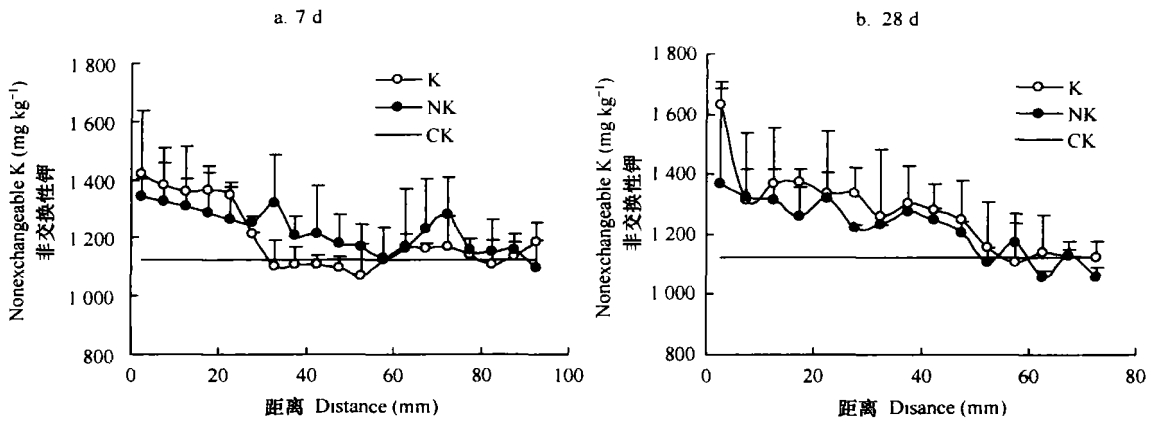


图 7 施  $\text{NH}_4^+$  对潮土肥际微域非交换性钾的影响

Fig. 7 Effect of  $\text{NH}_4^+$  on nonexchangeable K in fertilizer microsites in Fluvo-aquic soil

态存在于肥际微域中的总量被定义为钾的迁移量。

表 2 和表 3 结果表明, 所施入钾在红壤中的回收率为 81.2% ~ 94.6%, 潮土中为 92.7% ~ 100.9%, 证明用  $1 \text{ mol L}^{-1}$  沸  $\text{HNO}_3$  回收所施入钾肥

的方法是可行的。放置于土柱顶部的滤纸片对钾只有少量吸附(0.5 mg, 实验室测定值), 对钾迁移的影响可以忽略不计。培养 7 d 时, 共施  $\text{NH}_4^+$  与单施  $\text{K}^+$  相比, 水溶性钾在红壤中的迁移量没有显著差异,

表 2 所施入钾在红壤肥际微域中的迁移量<sup>1)</sup>

Table 2 Movement amount of K applied in fertilizer microsites in red soil

处理代号 Treatment	培养时间 Incubation period	施钾量 Added K (mg)	迁移量 Movement amount (mg)				
			WE-K <sup>2)</sup>	EX-K <sup>3)</sup>	NEX-K <sup>4)</sup>	AK <sup>5)</sup>	TK <sup>6)</sup>
K	7 d	104.70	58.99 a	36.27 a	3.75 ab	95.26 a	99.01
	28 d	104.7	45.26 c	40.32 a	5.69 a	85.51 b	91.20
NK	7 d	104.7	58.13 a	32.02 b	2.73 b	90.15 a	92.89
	28 d	104.7	51.45 b	32.45 b	5.95 a	83.89 b	89.84

1) 同一列中不同字母表示在  $p < 0.05$  水平下差异显著 Different letters in the same column mean significant difference at  $p < 0.05$  level by LSD test.

2) WE-K: 水溶性钾 Water extractable K; 3) EX-K: 交换性钾 Exchangeable K; 4) NEX-K: 非交换性钾 Nonexchangeable K; 5) AK: 有效钾 Available K;

6) TK: 全钾 Total K

但在 28 d 时有显著增加, 在潮土中 7 d 和 28 d 均有显著性增加。表明施  $\text{NH}_4^+$  能增加肥料钾在土壤肥际微域中的水溶性钾迁移量。共施  $\text{NH}_4^+$  时, 由于土壤溶液中的  $\text{NH}_4^+$  与  $\text{K}^+$  对交换位点存在竞争, 会导致土壤肥际微域中交换性钾迁移量的减小, 表 2 和表 3 中的数据也证明了这一点。在相同的培养时间

下,  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$  共施与单施  $\text{K}^+$  处理中迁移进入肥际微域中的非交换性钾量没有显著差异, 但总体上看, 施  $\text{NH}_4^+$  可以轻微降低钾在土壤肥际微域中的固定。综合水溶性钾、交换性钾和非交换性钾的迁移量, 可以推知, 与单施  $\text{K}^+$  相比, 共施  $\text{NH}_4^+$  抑制了土壤溶液中的部分外源  $\text{K}^+$  进入交换位点和非交换位点。

表 3 所施入钾在潮土肥际微域中的迁移量<sup>1)</sup>

Table 3 Movement amount of K applied in fertilizer microsites in Fluvo aquic soil

处理代号 Treatment	培养时间 Incubation period	施钾量 Added K (mg)	迁移量 Movement amount (mg)				
			WE-K <sup>2)</sup>	EX-K <sup>3)</sup>	NEX-K <sup>4)</sup>	AK <sup>5)</sup>	TK <sup>6)</sup>
K	7 d	104.70	29.10 b	53.28 b	14.72 b	82.38 b	97.10
	28 d	104.70	20.06 d	62.81 a	22.48 a	82.87 b	105.34
NK	7d	104.70	39.44 a	52.56 b	10.94 b	91.99 a	102.93
	28 d	104.70	26.49 c	55.29 b	21.77 a	81.78 ab	105.59

1) 同一列中不同字母表示在  $p < 0.05$  水平下差异显著 Different letters in the same column mean significant difference at  $p < 0.05$  level by LSD test.

2) WE-K: 水溶性钾 Water extractable K; 3) EX-K: 交换性钾 Exchangeable K; 4) NEX-K: 非交换性钾 Nonexchangeable K; 5) AK: 有效钾 Available K; 6) TK: 全钾 Total K

### 3 结 论

共施  $\text{NH}_4^+$  没有改变肥料中的  $\text{K}^+$  在土壤肥际微域中的迁移距离, 但提高了供试红壤和潮土肥际微域中水溶性钾含量, 表明  $\text{NH}_4^+$  的存在可以提高  $\text{K}^+$  的供应强度。

与单施  $\text{K}^+$  相比, 共施  $\text{NH}_4^+$  降低了肥际微域中的交换性钾含量。减少了土壤晶格对钾离子的固定, 说明  $\text{NH}_4^+$  的存在导致土壤对  $\text{K}^+$  的吸持比例减小, 钾的淋溶风险加大。

### 参 考 文 献

- [1] 鲍士旦, 于军. 钾耗竭后土壤对铵钾离子的固定竞争. 土壤, 1994, 26(6): 301~304, 309. Bao S D, Yu J.  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{K}^+$  ions competition for fixation by K exhausted soils (In Chinese). Soils, 1994, 26(6): 301~304, 309
- [2] 黄绍文, 金继运. 我国北方一些土壤对外源钾的固定. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(2): 131~138. Huang S W, Jin J Y. Potassium fixation in selected soils from north China (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996, 2(2): 131~138
- [3] Rich C I. Mineralogy of soil potassium. In: Kilmer V J, et al. eds. The Role of Potassium in Agriculture. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, 1968. 79~96
- [4] Ross G J, Cline R A. Potassium exchange characteristics in relation to mineralogical properties and potassium uptake by grapes of selected soils in Niagara Peninsula of Southern Ontario. Can. J. Soil Sci., 1984, 64: 87~98
- [5] Chappell M A, Evangelou V P. Influence of added  $\text{K}^+$  on inducing ammonium fixation and inhibiting nitrification. Soil Sci., 2000, 165: 420~426
- [6] Welch L F, Scott A D. Availability of non exchangeable soil potassium to plants as affected by added potassium and ammonium. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1961, 25: 102~104
- [7] Kar A K, Chattopadhyay J P, Dhua S P. Relative fixation of added potassium and ammonium in some acid soils. J. Indian Soc. Soil Sci., 1975, 23(4): 428~433
- [8] 范钦桢. 铵对土壤钾素释放、固定影响的研究. 土壤学报, 1993, 30(3): 245~251. Fan Q Z. Effect of ammonium on potassium release and fixation of soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1993, 30(3): 246~251
- [9] Raju G S N, Mukhopadhyay A K. Effect of the sequence of addition of potassium and ammonium and preadsorbed cations on fixation of applied ammonium ions in soils. J. Indian Soc. Soil Sci., 1975, 23(2): 172~176
- [10] Singh B, Singh A P. Fixation of potassium in soils as affected by an ammoniacal fertilizer. J. Indian Soc. Soil Sci., 1979, 27(3): 272~276
- [11] Lumbanna J, Evangelou V P. Binary and ternary exchange behavior of potassium and ammonium on Kentucky subsoils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1990, 54: 698~705
- [12] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K, ed. Analytic Method of Soil and the Agriculture Chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [13] Khasawneh F E, Soileau J M. Soil preparation and sampling for studying ion movement. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1969, 33: 476~477
- [14] Fan M X, MacKenzie A F. Interaction of urea with triple superphosphate in a simulated fertilizer band. Fert. Res., 1993, 36: 35~44
- [15] Du Z Y, Zhou J M, Wang H Y, et al. Effect of nitrogen fertilizers on movement and transformation of phosphorus in an acid soil. Pedo

- sphere, 2005, 15(4): 424~ 431
- [16] 杜振宇,周健民. 钾在红壤肥际微域中的迁移. 土壤学报, 2005, 42(6): 1 035~ 1 039. Du Z Y, Zhou J M. Movement of potassium in fertilizer microsities in red earth (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(6): 1 035~ 1 039
- [17] Levy R P, Fine P, Feigen A. Sodicity levels of soils equilibrated with waste waters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, 50: 35~ 39
- [18] Barbayiannis N, Evangelou V P, Keramidas V C. Potassium ammonium calcium quantity / intensity studies in the binary and ternary models in two soils of micaceous mineralogy of Northern Greece. *Soil Sci.*, 1996, 161(10): 716~ 724
- [19] 于天仁,季国亮,丁昌璞,等著.可变电荷土壤的电化学.北京:科学出版社,1996. 88~ 106. Yu T R, Ji G L, Ding C P, *et al.* *Electrochemistry of Variable Charge Soils* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1996. 88~ 106
- [20] 朱祖祥主编.土壤学(上册).北京:农业出版社,1982. 54~ 57. Zhu Z X. ed. *Soil Science* (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1982. 54~ 57
- [21] Acquaye D K, MacLean A J. Influence of form and mode of nitrogen fertilizer application on the availability of soil and fertilizer potassium. *Can. J. Soil Sci.*, 1966, 46: 23~ 28
- [22] Conyers E S, Wilding L P, McLean E O. Influence of chemical weathering on basal spacings of clay minerals. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1969, 33: 518~ 523
- [23] Chen J S, MacKenzie A F. Fixed ammonium and potassium as affected by added nitrogen and potassium in three Quebec soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1992, 23(11/12): 1 145~ 1 159
- [24] Malavolta E. Potassium status of tropical and subtropical region. In: Munson R D. ed. *Potassium in Agriculture*. Madison, Wisconsin, USA: ASA-CSSA-SSSA, 1985. 163~ 200

## EFFECT OF $\text{NH}_4^+$ ON MOVEMENT AND TRANSFORMATION OF $\text{K}^+$ IN FERTILIZER MICROSITES IN SOILS

Du Zhenyu<sup>1, 2</sup> Zhou Jianmin<sup>1†</sup> Wang Huoyan<sup>1</sup> Du Changwen<sup>1</sup> Chen Xiaoqin<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 Shandong Academy of Forestry Science, Jinan 250014, China)

**Abstract** It is a common way to apply  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{K}^+$  together in farming. Effects of  $\text{NH}_4^+$  on movement and transformation of  $\text{K}^+$  in fertilizer microsities in red soil and Fluvo-aquic soil were studied through an incubation experiment using soil columns. The fertilizers used in the experiment were  $\text{NH}_4\text{Cl}$  and  $\text{KCl}$ . Compared with the treatment of application of  $\text{K}^+$  alone, the treatment of addition of  $\text{NH}_4^+$  did not show any effect on diffusion distance of fertilizer K but did increase the concentration of water extractable K in fertilizer microsities. In the soil close to the fertilizer placement site, the concentration of exchangeable K was decreased as a result of the addition of  $\text{NH}_4^+$ , which was not so apparent in Fluvo-aquic soil as in red soil. Besides, the addition of  $\text{NH}_4^+$  significantly decreased the concentration of nonexchangeable K in fertilizer microsities, suggesting that the addition of  $\text{NH}_4^+$  reduced K fixation in soil crystal lattices, thus increasing the risk of K leaching in the two soils.

**Key words**  $\text{NH}_4^+$ ;  $\text{K}^+$ ; Red soil; Fluvo-aquic soil; Movement; Transformation