

氮磷钾肥料在土壤中转化过程的交互作用

⑦ 硫酸铵在水稻土中的转化*

王火焰 周健民 陈小琴 杜昌文 李寿田 董彩霞

(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)

摘要 通过室内培养实验,研究了 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 和 KCl 对 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 在土壤中转化的影响。结果表明, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 对 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 转化的影响较小。 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 对未施氮土壤中硝化作用的正效应,以及对施氮培养前期土壤中硝化作用的负效应可能与土壤 pH 的变化有关。施用 KCl 显著影响供试水稻土中 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的转化,主要表现为: (1) 施钾导致培养初期土壤中水溶性铵的增加与交换态铵的减少,与铵钾的代换作用有关,培养后期这两种形态铵的共同增加则与钾抑制硝化作用有关。(2) 施钾既显著地抑制了氯化钠提取过程中土壤铵的释放,也抑制了培养过程中土壤固定态铵的释放。施钾对风干土样水溶性铵的影响与鲜样中不同,也与施钾抑制土壤风干过程中铵的释放有关。(3) 钾铵同时施用,施钾促进了铵的固定。(4) 施钾显著抑制了硝化作用,本文实验条件下,其直接作用机制可能并不是钾抑制了土壤中固定态铵的释放。单施钾肥会显著降低未施氮土壤中无机氮的有效性。由以上结果推测,氮钾肥配施将不仅有利于减少硝态氮的淋洗和反硝化脱氮作用,而且可增强土壤中铵的缓冲能力。这也表明土壤中钾对铵态氮肥转化的影响,可能是生产实践中氮钾肥配合施用可提高氮肥利用率的原因之一。

关键词 氮;磷;钾;土壤;转化;交互作用

中图分类号 S143.1 文献标识码 A

多种化肥养分之间的交互作用是土壤肥料与植物营养科学中的重要研究内容之一。养分交互作用可发生于土壤、根际和植物体内,对作物生长、养分吸收运转及代谢有广泛的影响,并最终影响作物的产量和品质^[1-5]。作物种植条件下的养分交互作用,人们研究的主要是作物吸收或利用养分过程中的拮抗与协同作用^[1],而土壤中的养分交互作用通常较少引起人们的重视^[6]。实际上,多种肥料共同施用的情况下,某一肥料养分在土壤中的转化过程往往受其他肥料养分施用的直接或间接影响,并在一定条件下表现为显著的交互作用。这种交互作用不仅影响土壤的化学性质,如 pH^[7],还会影响肥料养分的生物有效性,以及肥料养分向环境中的迁移^[8]。肥料氮在土壤中的转化,一定条件下会受磷或钾肥共施的影响。如钾肥可影响土壤中铵的固定^[9]、释放^[10]、硝化作用以及氨挥发^[11,12],磷肥也会影响某些土壤中铵的固定^[13],以及尿素的水解等^[14]。已有研究主要关注磷或钾肥影响土壤中氮

肥转化的某一方面,肥料氮不同转化过程是否受磷钾肥施用的动态影响尚缺乏深入系统的研究。本文以固铵能力较强的一种水稻土为例,研究了室内无植物培养条件下 KCl 与 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 对 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 转化的动态影响,并对其作用机制作了初步探讨,以期推动肥料养分交互作用研究的进一步深入,最终为合理配方施肥、提高肥料利用率、减轻农业面源污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

土壤为采自江苏常熟的乌栅土(0~20 cm),属水稻土类,在国际土壤系统分类中属潜育水耕人为土。其基本理化性状见表 1。

1.2 试验设计

采用完全组合设计,氮、磷、钾肥料设施与不施

* 国家自然科学基金项目(40071051)和国家重点基础研究发展计划 973 项目(G1999011802)资助

作者简介:王火焰(1971~),男,博士,副研究员,主要从事植物营养机理与土壤肥料反应方面的研究。E-mail: hywang@isas.ac.cn

收稿日期:2003-09-27;收到修改稿日期:2004-08-10

表 1 供试土壤基本理化性状
Table 1 Basic agrochemical properties of tested soil

pH ¹⁾	CEC (cmol kg^{-1})	有机质 Organic matter	CaCO ₃	全氮 Total N	碱解氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	主要粘土矿物 Main clay minerals
7.06	18.56	39.1	12.3	2.13	126	20	152	水云母和蒙脱石 Hydromica and smectite

1) 土水比= 1:1 Soil-water ratio 1:1 (W/W)

2 个水平, 共 8 个处理: CK(对照)、N、P、K、NP、NK、PK、NPK, 分别培养 1、5、15、45、90 d, 共 5 个时间段, 各重复 3 次。N、P、K 处理分别为每千克烘干土施 N 0.4 g (NH₄)₂SO₄、P₂O₅ 0.4 g (Ca(H₂PO₄)₂) 以及 K₂O 0.4 g (KCl)。

1.3 室内培养及取样

1.3.1 培养方法 称取 150 g (以烘干土重计) 土样(过 20 目)于塑料自封袋中, 按处理准确称入肥料(过 100 目)。将拌匀好的土样一边倒入塑料杯(200 ml)中, 一边用喷雾器加入蒸馏水, 用称重法使土壤含水量保持为 27% (≈ 60% 田间持水量)。用保鲜膜封口后, 将塑料杯转移至 28℃ 恒温培养, 培养 45 d 和 90 d 的样品隔 15 d 补加水一次。

1.3.2 取样方法 土样分别培养 1、5、15、45、90 d 后取样, 先用称重法测出各杯土样含水量, 再将土样移至塑料自封袋中混匀。称取鲜样 13.50 g 用于提取水溶性养分。其余土样经风干, 并过 20 目和 100 目筛, 装入塑料自封袋中, 于 -20℃ 冰柜中贮藏备用。

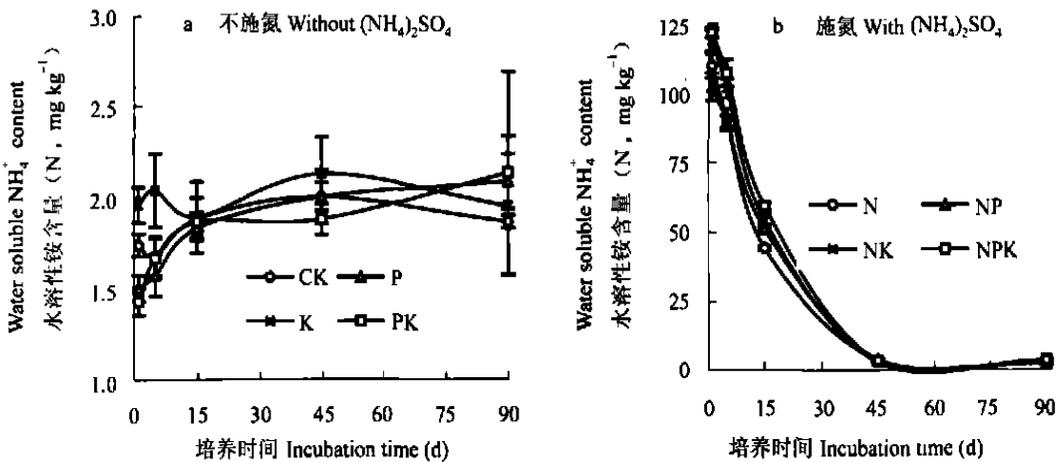
1.4 测定方法

分别测定鲜样和风干样中水溶性铵与硝态氮的含量。鲜样根据其含水量补加水, 使土水比为 1:10, 风干样直接采用土水比为 1:10, 振荡 30 min 后过滤。滤液置于 -20℃ 冰柜中冷冻, 测定前解冻, 取上层清激溶液用于测定。硝态氮采用紫外分光光度法, 水溶性铵和 3.42 mol L⁻¹ NaCl 提取的铵(包括水溶态与交换态铵)用靛酚蓝比色法测定^[15]。固定态铵用 Silva 和 Bremner 法测定^[16]。

2 结果与分析

2.1 水溶性铵的动态变化

水溶性铵是存在于土壤水溶液中的铵。未施氮新鲜土壤中水溶性铵含量较低(图 1a), 为 2 mg kg⁻¹ N 左右, 且受培养时间和磷、钾肥处理的影响很小。施用 400 mg kg⁻¹ 铵态氮肥(以纯 N 计)培养 1 d 后(图 1b), 土壤水溶性铵含量增至 110 mg kg⁻¹ 左右, 占施入氮总量的 27%, 其余的外源铵则被土壤吸附或



CK: 不施肥 No fertilizer; N: 0.4 g N ((NH₄)₂SO₄);
P: 0.4 g P₂O₅ (Ca(H₂PO₄)₂); K: 0.4 g K₂O (KCl). 下同 The same as later

图 1 鲜样水溶性铵的动态变化及其受磷钾肥施用的影响

Fig. 1 Dynamic changes in water soluble NH₄⁺ in the fresh soil as influenced by application of Ca(H₂PO₄)₂ and KCl

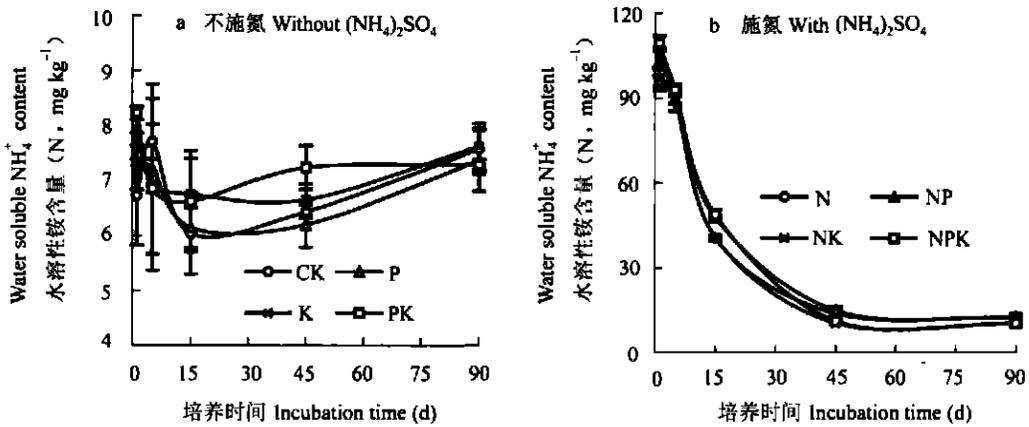


图2 风干样水溶性铵的动态变化及其受磷钾肥施用的影响

Fig. 2 Dynamic changes in water soluble NH_4^+ in the air-dried soil as influenced by application of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and KCl

固定。随培养时间延长, 施氮土壤中水溶性铵含量迅速下降, 第45天即降至 $3\sim 4\text{ mg kg}^{-1}$, 其后至第90天变化不大。施用 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 仅使培养15d的土壤中水溶性铵略有上升, 对其他时段的水溶性铵无显著影响。施用钾肥显著提高了除45d外其他各时段水溶性铵的含量, 1~15d土壤中钾提高水溶性铵的幅度在 $10\%\sim 20\%$, 而培养90d的土壤中增幅达 $20\%\sim 40\%$ 。

鲜土样经风干后, 其水溶性铵含量发生了显著的变化(图2)。未施氮风干土样的水溶性铵含量是鲜样的 $3\sim 4$ 倍(图2a), 不同培养时间和肥料处理对水溶性铵的影响不显著。施氮情况下(图2b), 培养1~15d的水溶性铵风干样较鲜样低, 而培养期第45~90天风干样较鲜样高 $2\sim 4$ 倍。施氮情况下, 磷肥对风干样和鲜样中水溶性铵的影响基本相同, 除在第15天水溶性铵较不施磷处理显著高出外, 其他无显著影响。尽管施钾提高了大多数鲜样中水溶

性铵的含量, 但风干样中, 钾仅在培养第1天提高了土壤中的水溶性铵, 而对第5、15天土壤中水溶性铵无影响, 使培养45、90d土壤中水溶性铵较未施钾处理下降了 $15\%\sim 25\%$ 。

2.2 交换态铵的动态变化

用 $3.42\text{ mol L}^{-1}\text{ NaCl}$ 提取的铵是水溶性铵和交换态铵的总和。但本研究发现未施氮肥的土壤中, NaCl 溶液提取的铵含量显著低于用水提取的水溶性铵含量。其原因可能是, 土壤交换态铵含量很低时, 水溶液更有利于未施氮土样中铵的释放, 而且水提取液中还含有水溶性胶体或其他小分子有机物吸附的铵, 这都会导致 $3.42\text{ mol L}^{-1}\text{ NaCl}$ 提取的铵量低于纯水提取的铵量。未施氮土壤中不能用差值法计算土壤中的交换态铵。因而图3a所示是未施氮土壤 NaCl 提取铵, 也包括真正土壤溶液中的铵, 而图3b是施氮土壤用 NaCl 提取铵和水溶性铵通过差值法计算而来的交换态铵。

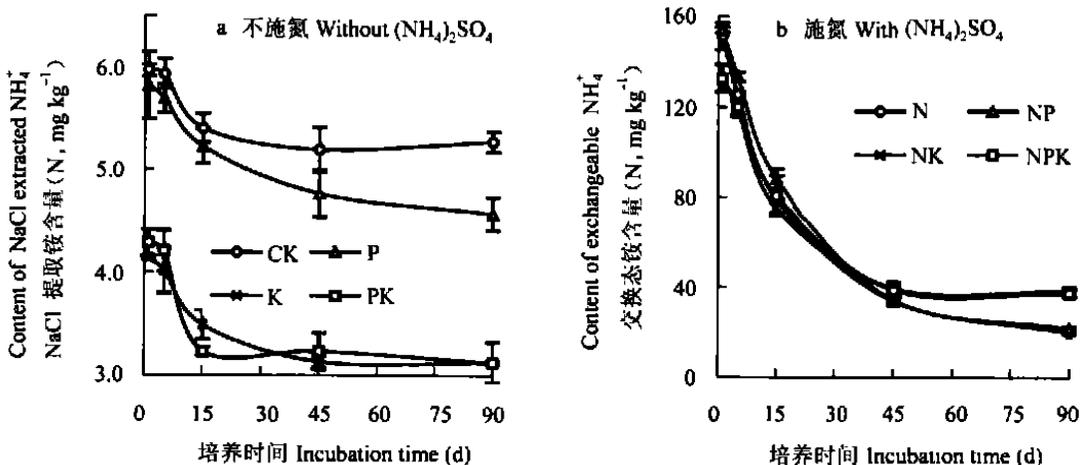


图3 NaCl 提取铵与交换态铵的动态变化及其受磷钾肥施用的影响

Fig. 3 Dynamic changes in NaCl extracted NH_4^+ or exchangeable NH_4^+ as influenced by application of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and KCl

未施氮土壤培养 1 d 后, 对照处理的土壤中 NaCl 提取铵含量在 6 mg kg^{-1} 左右 (图 3a), 单施磷使 NaCl 提取铵略有下降, 随培养时间延长, 其作用更显著。施钾使培养 1 d 土壤中 NaCl 提取铵含量显著下降至 $4 \sim 4.5 \text{ mg kg}^{-1}$ 。随培养时间延长至 15 d, 更进一步下降, 其后至 90 d 变化较小。

施用 400 mg kg^{-1} 铵态氮于土壤中培养 1 d 后, 交换态铵为 150 mg kg^{-1} (图 3b), 占施入铵的 38%。随培养时间延长, 各处理交换态铵迅速下降, 至第 45 天降至 40 mg kg^{-1} 以下, 其后变化较慢。单施磷使培养 5、15 d 土壤的交换态铵呈轻微的上升趋势, 而对其他处理的交换态铵影响不显著。施钾使培养 1 d 土壤的交换态铵下降了 20 mg kg^{-1} , 使培养 5、15 d 土壤的交换态铵也有轻微下降, 但使培养 45 d 土壤的交换态铵轻微上升, 至培养第 90 天土壤中较不施钾处理交换态铵增加了近 1 倍。

2.3 固定态铵的动态变化

未施氮肥土壤中固定态铵含量为 265 mg kg^{-1}

左右 (图 4a), 随培养时间延长, 变化不大, 培养 90 d 土壤中有轻微的下降趋势。不同磷钾肥处理对不施氮土壤中固定态铵无显著影响。施用 400 mg kg^{-1} 铵态氮肥 (图 4b) 培养 1 d 后, 固定态铵增加了 150 mg kg^{-1} , 占施入铵的 37%。随培养时间延长, 固定态铵含量不断下降, 但 45 d 后下降速度明显变慢。施用 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 对各培养时间段固定态铵含量无显著影响。施钾使培养 1 d 的固定态铵含量上升, 并显著抑制培养后期固定态铵含量的下降。随培养时间延长, 施钾与不施钾处理之间固定态铵含量的差异逐渐增大。

2.4 硝态氮的动态变化

硝态氮是土壤无机氮的另一个活跃成分, 在土壤氮素循环中发挥着重要作用。未施氮肥条件下 (图 5a), 培养 1 d 鲜样中硝态氮含量为 20 mg kg^{-1} (烘干土计) 左右。随培养时间延长, 土壤硝态氮含量迅速上升, 培养前期 15 d 以内以每天约 2 mg kg^{-1} 的速度增长, 15 d 以后至 90 d 以每天约 0.3 mg kg^{-1}

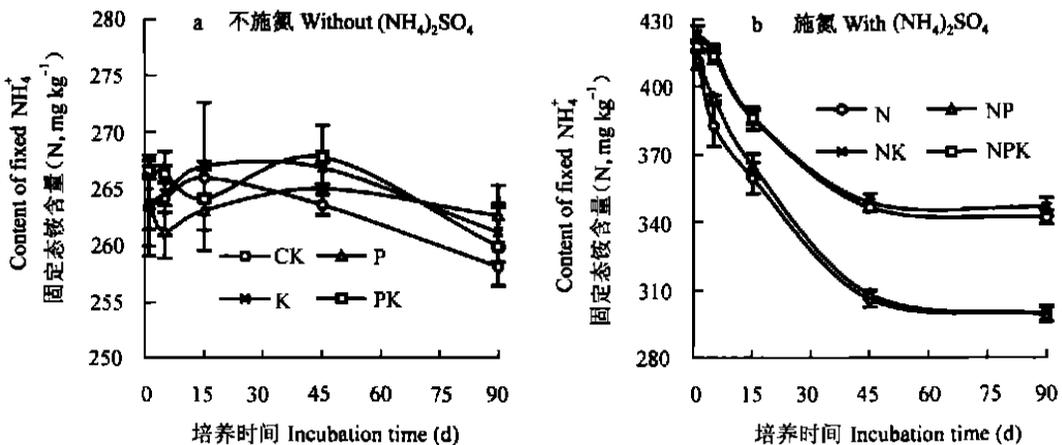


图 4 固定态铵的动态变化及其受磷钾肥施用的影响

Fig. 4 Dynamic changes in fixed NH_4^+ as influenced by application of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and KCl

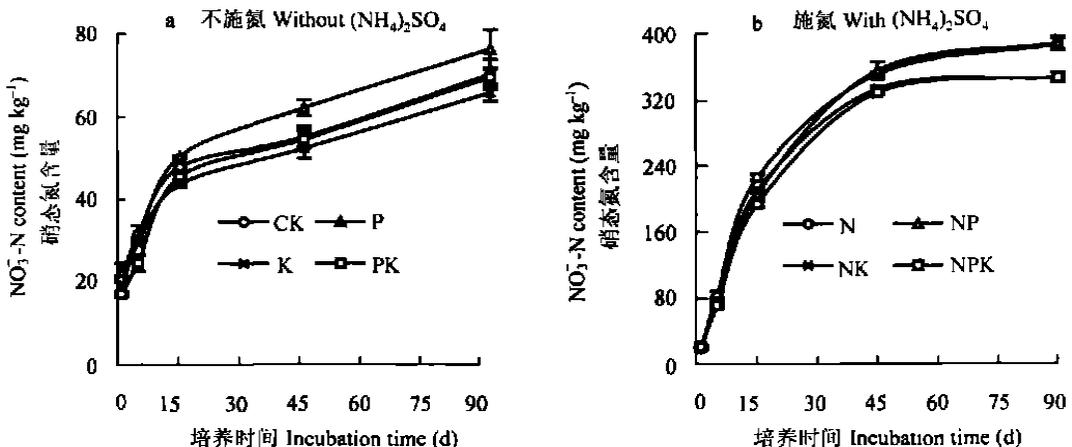


图 5 鲜样硝态氮的动态变化及其受磷钾肥施用的影响

Fig. 5 Dynamic changes in NO_3^- -N in the fresh soil as influenced by application of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and KCl

的速度上升。单施磷肥对培养后期(15~90 d)鲜样硝态氮含量有轻微的提高作用,对其他土壤中硝态氮无显著影响。施用钾肥显著地降低了各时间段鲜样中硝态氮含量,施磷条件下钾降低硝态氮的幅度达10%~20%。

施用 $400 \text{ mg kg}^{-1} (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 后(图5b),硝态氮含量在培养1 d后与不施氮土样无显著差异。随培养时间延长,土壤硝态氮含量迅速上升,在第5~15天之间达上升速度最大值,其后随培养时间延长硝态氮的上升速度逐渐减缓。施磷显著降低了培养15 d土壤中的硝态氮含量,降幅达11%,培养5 d土壤的硝态氮含量也有下降趋势,但对其他时段土壤的硝态氮影响不显著。施钾对培养1 d土壤的硝态

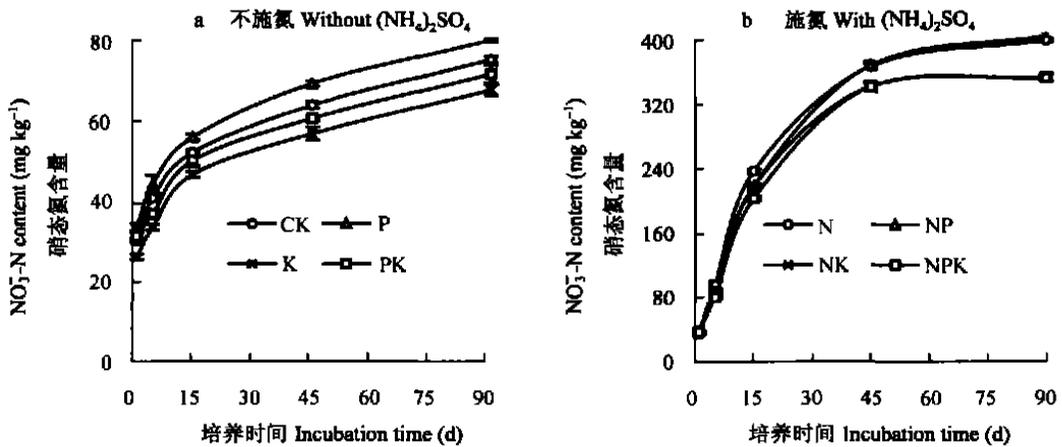


图6 风干样硝态氮的动态变化及其受磷钾肥施用的影响

Fig. 6 Dynamic changes in $\text{NO}_3\text{-N}$ in the air-dried soil as influenced by application of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and KCl

态氮含量较鲜样中增加了 $6\sim 16 \text{ mg kg}^{-1}$,施钾土壤因风干过程而增加的硝态氮含量有低于未施钾土壤的趋势。磷对风干样硝态氮的影响规律与鲜样类似,显著降低了培养5和15 d土壤中硝态氮含量,但对其他时段土壤硝态氮的影响不显著。施钾对培养1 d土壤的硝态氮影响不大,使其他各时段土壤中硝态氮含量较未施钾土壤中下降了7%~13%,以培养90 d的土壤下降最多。

2.5 无机氮总量的动态变化

累加土壤中水溶性铵、交换态铵、固定态铵和硝态氮得到的无机氮总量变化如图7所示。未施氮土壤(图7a)经过90 d培养总无机氮增加了 40 mg kg^{-1} 左右,这是土壤中有机态氮矿化的结果。施用磷肥对无机氮总量无显著影响。施用钾肥使未施氮土壤中无机氮总量呈轻微下降趋势。施氮土壤(图7b)中无机氮总量较相应未施氮土壤中增加了 $386\sim 412 \text{ mg kg}^{-1}$,占施入氮肥理论值的97%~103%。这说

明在本实验培养条件下,施入的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 基本保留在该土壤中,没有氮挥发和反硝化产生的氮的损失。施氮土壤经过90 d培养其无机氮总量也增加 40 mg kg^{-1} 左右,与未施氮土壤中接近,说明施用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 没有激发土壤本身有机氮的矿化。施钾使培养后期土壤的无机氮总量较未施钾处理略有上升。 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 对施氮土壤中无机氮总量无显著影响。

氮无影响,但显著降低了其他各时间段硝态氮含量,降幅范围在5%~11%。随培养时间延长,施钾与不施钾处理硝态氮含量的差异逐渐增大。与鲜样相比,风干样的硝态氮含量均相应增加(图6)。未施氮肥条件下(图6a),培养1 d的风干样较鲜样中硝态氮含量增加了 $7\sim 15 \text{ mg kg}^{-1}$ 。随土壤培养时间延长,风干样和鲜样硝态氮含量差值呈下降趋势,至第90天,风干样硝态氮比相应的鲜样只高出 $2\sim 5 \text{ mg kg}^{-1}$ 。与鲜样中有所不同的是,施磷使各培养时间段风干土壤硝态氮显著增加了 $3\sim 5 \text{ mg kg}^{-1}$,而施钾则使大多数土壤中硝态氮含量较未施钾土壤中下降了 $5\sim 8 \text{ mg kg}^{-1}$ 。

施用氮肥条件下(图6b),风干过程使各土样中硝

态氮含量较鲜样中增加了 $6\sim 16 \text{ mg kg}^{-1}$,施钾土壤因风干过程而增加的硝态氮含量有低于未施钾土壤的趋势。磷对风干样硝态氮的影响规律与鲜样类似,显著降低了培养5和15 d土壤中硝态氮含量,但对其他时段土壤硝态氮的影响不显著。施钾对培养1 d土壤的硝态氮影响不大,使其他各时段土壤中硝态氮含量较未施钾土壤中下降了7%~13%,以培养90 d的土壤下降最多。

3 讨论

同一土壤的鲜样水溶性铵及硝态氮含量与风干样中存在显著差异,这是风干过程中氮素转化过程仍然持续的结果。对于所有土样,风干过程均导致硝态氮含量的显著上升。在水溶性铵含量较低的未施氮土样以及施氮培养45 d以后的土样中,水溶性铵含量因风干过程而大幅上升。硝态氮和水溶性铵

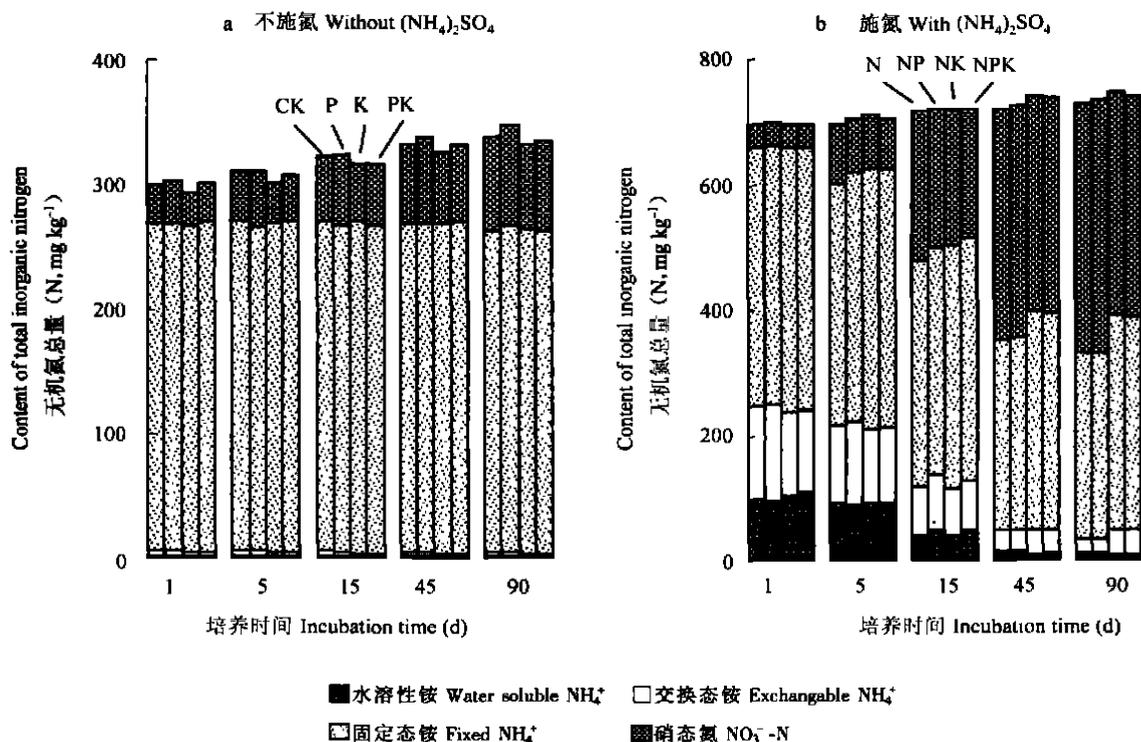


图7 无机氮总量的动态变化及其受磷钾肥施用的影响

Fig. 7 Dynamic changes in total inorganic nitrogen as influenced by application of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ and KCl

的共同上升,说明风干过程促进了土壤中游离铵的形成,这是否因风干过程促进了有机氮的矿化尚难肯定。但风干过程会显著促进游离铵含量低的土壤中固定态铵的释放^[17]。在水溶性铵含量较高的施铵且培养15 d以内的土壤中,风干过程导致水溶性铵下降,这主要源于铵的硝化作用。但部分土样中铵的下降值超过硝态氮的增加值,表明风干过程可促进土壤中较高游离铵的固定。

结果表明,施用 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 对 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 在供试水稻土中的转化总体上影响幅度较小。未施氮肥条件下,单施磷肥使培养后期土壤中氯化钠提取的铵含量下降,同时使硝态氮含量上升。这表明施用 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 能轻微但显著地促进未施硫铵土壤中的硝化作用,其原因可能是单施磷提高了硝化微生物的活性,或通过降低土壤pH(从7.07下降至6.92)从而有利于硝化作用的进行。而施氮土壤中, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 主要是影响了培养15 d土壤中的无机氮组成,即提高了水溶性铵与交换态铵的含量,同时显著降低了硝态氮的含量。其结果与pH的变化吻合,施氮条件下,磷使其他时间段土壤中pH下降了0.06~0.2个单位,而唯独对15 d土壤中pH无显著

影响,这是由于 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 降低土壤pH的效应与抑制15 d土壤中的硝化作用,即抑制pH下降的效应相抵消^[7]。 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 降低15 d土壤中硝态氮含量的作用可能与施氮条件下,施磷导致pH进一步下降有关(培养1 d土壤中pH从6.79下降至6.61)^[7],而且培养5 d土壤中的硝化作用也受到一定的抑制。这种抑制作用在15 d土壤中表现为达到顶峰。而在培养更长时间的土壤中影响硝态氮含量的主要因子是铵源的供应,因而磷对培养后期土壤中的硝态氮含量影响不再显著。

施钾显著地降低了所有未施氮土壤中氯化钠提取铵以及硝态氮的含量。对氯化钠提取铵的影响是因为钾抑制了氯化钠提取过程中固定态铵的释放,这也在施氮土壤中得到证实。因为如果是对有机氮矿化作用的抑制,那么水溶性铵也应受钾的影响而减少,而事实上施钾对未施氮土壤中的水溶性铵含量无显著影响。施钾显著降低所有未施氮土壤中硝态氮的含量,而且对未施氮土壤鲜样风干过程中硝态氮的增长也有显著的抑制作用。其原因一方面可能是钾对硝化作用的直接抑制作用,也可能是由于钾抑制固定态铵释放而降低铵有效性的间接抑制作用。在生产实践中,施钾显著降低了未施氮所有土

壤中氯化钠提取铵以及硝态氮的含量,这可能是单施钾更加剧植物缺氮的土壤因素之一。

在施氮土壤鲜样中,施钾显著提高了水溶性铵的含量。在培养初期,这主要源于钾对铵的代换作用。但在培养后期,钾对硝化作用的抑制也是提高鲜样水溶性铵的原因之一。而在风干样中,钾仅提高了培养 1 d 土壤中的水溶性铵含量,并使培养后期的水溶性铵含量因施钾而下降,后者主要源于钾对风干过程中铵释放的抑制作用。施钾对水溶性铵含量的影响在鲜样与风干样中有着不同的结果,这揭示关于土壤铵转化方面的研究,不同取样方法可能带来不同的结论。

在施氮土壤中,施钾使施氮土壤中的固定铵显著上升,同时显著降低了交换态铵含量(图 7b),这表明钾铵同时施用,钾可促进铵的固定,这与一些报道的结论相同^[10,18]。随着硝化作用的进行,土壤中铵的耗竭加剧,施钾既显著地抑制了硝化作用,也显著抑制了固定态铵的释放。施钾对硝化作用的抑制在水溶性铵含量仍很高的第 5 天土样中就存在,而对铵释放的抑制作用在培养前期的土壤中也远远超过对硝化作用的抑制效应。这说明培养 1~ 5 d 土壤中,钾抑制硝化作用与抑制固定铵的释放并不存在直接的因果关系。但在培养后期的土壤中,钾对硝化作用的抑制是否是因钾抑制铵的释放而致呢? 15~ 45 d 期间,施氮土壤中硝化作用需要的铵有相当一部分来自固定态铵的释放,此时钾对硝化作用的影响与抑制固定铵的释放有一定的协同作用(图 7b)。而在钾抑制硝化作用更加突出的 45~ 90 d 期间,钾抑制硝化作用伴随的主要是交换态铵的显著下降,而固定态铵变化较少。这说明在本文实验条件下,钾抑制固定态铵的释放,可能并不是钾抑制硝化作用的直接原因。钾既抑制固定态铵释放又抑制硝化作用的协同效应,使土壤中固定态铵含量的差异受钾的影响更加显著。

已有研究表明氮钾肥配施条件下,铵对钾肥在土壤中转化的影响效应可显著提高钾肥利用率。本文的结果同样表明,在硝态氮易被淋洗或硝化反硝化作用较为突出的田间条件下,氮钾配施将可能有利于减少硝态氮的淋洗和反硝化脱氮作用,而且可增强土壤中铵的缓冲能力,从而提高氮肥的利用率。

参 考 文 献

[1] 王家玉. 植物营养元素交互作用研究. 土壤学进展, 1992, 20 (2): 1~ 10. Wang J Y. Study on plant nutrients interactions (In

Chinese). *Advances in Soil Science*, 1992, 20(2): 1~ 10

- [2] 涂运昌, 周平贞, 谢立华, 等. 油菜的氮磷营养及其经济施肥量. *土壤学报*, 1996, 34(4): 428~ 432. Tu Y C, Zhou P Z, Xie L H, *et al.* N and P nutrients and their economic application for rape (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 34(4): 428~ 432
- [3] 肖厚军, 闫献芬, 彭刚. 氮磷钾肥配施对大白菜产量和硝酸盐含量的影响研究. *土壤通报*, 2002, 33(4): 281~ 284. Xiao H J, Yan X F, Peng G. Effects of combined application of N, P and K on the yield and nitrate content of Chinese cabbage (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(4): 281~ 284
- [4] Wallace A. Evaluation of interactions in a factorial greenhouse experiment with corn grown with combinations of N, P, K and S fertilizers. *J. Plant Nutrition*, 1990, 13: 399~ 409
- [5] Teng Y, Timmer V R. Nitrogen and phosphorus interactions in an intensively managed nursery soil-plant system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58(1): 232~ 238
- [6] 钱晓晴, 汤炎, 封克, 等. 作物吸氮过程中 NH_4^+ 、 K^+ 颞颞现象的土壤因素研究. *土壤通报*, 1994, 25(6): 256~ 258. Qian X Q, Tang Y, Feng K., *et al.* Effect of soil on interaction of NH_4^+ and K^+ in crop (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 1994, 25(6): 256~ 258
- [7] Wang H Y, Zhou J M, Chen X Q, *et al.* Interaction of NPK fertilizers during their transformation in soils iv. Dynamic changes of soil pH. *Pedosphere*, 2003, 13(3): 257~ 262
- [8] 马茂桐. 钾氮配施对土壤氮钾渗漏损失的影响. *土壤*, 1999, (3): 136~ 168. Ma M T. Effect of co-application of K and N fertilizers on leaching loss of N and K in soil (In Chinese). *Soils*, 1999, (3): 136~ 168
- [9] Drury C F, Beauchamp E G, Evans L J. Fixation and immobilization of recently added $^{15}\text{NH}_4^+$ in selected Ontario and Quebec soils. *Can. J. Soil Sci.*, 1989, 69: 391~ 400
- [10] Chen C C, Turner F T, Dixon J B. Ammonium fixation by high-charge smectite in selected Texas Gulf Coast soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, 53(4): 1 035~ 1 040
- [11] Heilman P. Effect of added salts on nitrogen release and nitrate levels on forest soils of the Washington coastal area. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1975, 39: 778~ 782
- [12] Christianson C B, Camona G, Klein M O, *et al.* Impact on ammonia volatilization losses of mixing KCl of high pH with urea. *Fertilizer Research*, 1995, 40: 89~ 92
- [13] Mandal B, Mukhopadhyay A K. Ammonium fixation in soils from application of NH_4^+ -producing fertilizers. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 1984, 32: 486~ 487
- [14] Fan M X, Mackenzie A F. Interaction of urea with triple superphosphate in a simulated fertilizer band. *Fertilizer Research*, 1993, 36 (1): 35~ 44
- [15] 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, 1999. Lu R K, ed. *Analysis Methods in Soil Agro-Chemistry* (In Chinese). Beijing: Agricultural Science and Technology Press of China, 1999
- [16] Silva J A, Bremner J M. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. 5. Fixed ammonium. *Soil Sci.*

Soc. Am. Proc., 1966, 30: 587~ 594

[17] Thompson T L, Blackmer A M. Fixation and release of N-15-labeled ammonium during soil drying. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1993, 24(7/8): 613~ 622

[18] 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

INTERACTION OF NPK FERTILIZERS DURING THEIR TRANSFORMATION IN SOILS ① TRANSFORMATION OF AMMONIUM SULFATE IN THE PADDY SOIL

Wang Huoyan Zhou Jianmin Chen Xiaoqin Du Changwen Li Shoutian Dong Caixia

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

Abstract Effects of calcium biphosphate (MAP) and potassium chloride (KCl) on transformation of ammonium sulfate (AS) in the paddy soil were investigated through laboratory incubation. The results show that MAP can only affect transformation of AS to a limited extent. The increase in nitrification in the soil without ammonium applied and decrease in nitrification in the soil with application of MAP might be associated with change in soil pH. The application of KCl significantly affected transformation of AS in the paddy soil, mainly in the following aspects: (1) The increase in water soluble ammonium (WSA) and decrease in exchangeable ammonium (EA) as a result of the addition of KCl at the initial stage of incubation were attributed to replacement of K^+ and NH_4^+ in the soil, but the increase of both WSA and EA at a later stage was related to the inhibitive effect of K on nitrification. (2) The presence of potassium significantly suppressed release of fixed ammonium during incubation or extraction of the soil with NaCl. The different effects of K on WSA in the fresh soil and air-dried soil were also attributed to K inhibiting ammonium release during air-drying course. (3) When potassium and ammonium were applied together into the soil, potassium increased ammonium fixation in the soil. (4) Nitrification of ammonium in the paddy soil was significantly suppressed by KCl, which might not result directly from K inhibiting release of ammonium under the controlled condition. Application of potassium alone might decrease availability of inorganic nitrogen in the paddy soil without N application. Thus it can be inferred that combined application of potassium and ammonium will not only reduce leaching and denitrification of nitrite, but also increase buffer capacity of soil ammonium. The results indicate that the interactions between NH_4^+ and K^+ in the soil may be one of the reasons why combined application of potassium with nitrogen fertilizers could increase efficiency of nitrogen fertilizer in production.

Key words Ammonium; Phosphorus; Potassium; Soil; Transformation; Interaction