

作物 NH_4^+ 和 K^+ 营养关系的土壤 及矿物因素研究*

钱晓晴 封克汤 炎程传敏 徐源

(扬州大学农学院 扬州 225009)

摘 要

通过水培、土培试验研究了不同阳离子的存在与土壤、矿物固定态铵释放及水稻苗期氮、钾吸收之间的关系,以及不同 NH_4^+ 、 K^+ 浓度组合对水稻苗期氮、钾营养关系的影响。结果表明: K^+ 的存在并不直接影响作物对 NH_4^+ 的吸收,但明显抑制土壤、矿物固定态铵的释放,从而导致作物吸氮减少。有土栽培条件下,养分元素间表现出来的相互作用与无土栽培时的结论并不完全一致。

关键词 作物; NH_4^+ ; K^+ ; 土壤; 矿物

NH_4^+ 、 K^+ 同为一价阳离子,离子半径又极为相近,许多学者推断它们在进入植物细胞时会竞争同一载体。事实上,确有关于大量施钾后作物吸氮减少的例子(H·R·Von Vexhüll, 1970)。K·Mengel 在 1976 年利用 ^{15}N 进行了水稻幼苗水培试验,证实不论 K^+ 存在与否或浓度高低,短时间内水稻植株吸氮不受影响⁽¹⁾。A·Lone 在研究氮、钾相互作用时亦指出,在氮水平不变时,增加 K^+ 的供应将不会影响植株对氮的吸收⁽²⁾。但也有一些学者持不同看法⁽³⁾,有些教材仍沿用 NH_4^+ 、 K^+ 的吸收具有颞颥作用的说法⁽⁴⁾。我们分析这些矛盾的结论可能与试验者采用的培养方法有关。近期关于土壤固定态铵的研究表明,施入钾素会明显抑制膨胀型粘土矿物固定态铵的释放,这很可能是导致作物吸氮量减少的真正原因,有土和无土栽培时养分元素间的相互作用可能并不一致。

1 材料与方方法

1.1 材料

将矿物蒙脱石、蛭石磨碎,过 60 目筛。试验采用 4 种含粘粒较多的水稻土,其基本理化性状列于表 1。部分土壤在试验前先经黑麦草耗竭吸收,以去除易矿化态氮。

供试作物为盐优 57 水稻。

1.2 方法

1.2.1 不同阳离子处理试验:将纯矿物和经黑麦草耗竭的土壤用 $1\text{ molL}^{-1}\text{NH}_4\text{Cl}$ 饱和,2 天后洗去水溶性 NH_4^+ 至微氯反应,风干混匀后称土 20g、矿物 10g 包于微孔滤膜袋中,置于事先盛有加富 1 倍 K^+ (K^+ 处理)、加富 1 倍 Na^+ (Na^+ 处理)和加富 1 倍 Ca^{2+} (Ca^{2+} 处理)的营养液⁽⁵⁾ 的 1L 塑料杯中,每杯移栽水稻 10 株,生长 50 天(其间换液 4 次),收获后测定生物量

* 受国家自然科学基金及江苏省教委自然科学基金资助。

及氮、钾含量和土壤矿物固定态铵的释放量。

1.1.2 不同 K^+ 浓度处理试验: 将矿物和经黑麦草耗竭的土壤用 10% NaCl 洗 4—5 次, 以去除交换性钾, 多余 NaCl 用水、50% 乙醇、95% 乙醇各洗 1 次, 风干过 60 目筛。用 $1 \text{ mol L}^{-1} \text{NH}_4\text{OAc}$ 按水土比 1:1 平衡土壤, 24 小时后用水淋洗土壤, 再用 95% 乙醇淋洗至微铵反应, 风干混匀后称土壤、矿物 10g 包于微孔滤膜袋中, 置于事先盛有 0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7 $\text{mmol L}^{-1} K^+$ 的营养液的 0.5L 塑料杯中, 每杯移栽水稻 5 株, 每周换液 1 次, 生长 50 天后收获, 测定植株氮、钾含量和土壤、矿物固定态铵释放量。

表 1 供试土壤的基本性状

土名	采集地	pH	有机质(g/kg)	CEC(cmol/kg)	矿物组成
黄白土	江苏镇江	7.18	19.9	19.7	水云母为主, 部分蛭石、高岭
黄粘土	江苏淮阴	7.70	12.8	28.5	水云母、蒙脱为主, 少量高岭
勤泥土	江苏盐城	6.99	17.1	24.8	水云母、蒙脱为主, 少量高岭
紫色土	四川简阳	7.52	23.2	26.8	水云母为主、部分蛭石、蒙脱, 少量高岭

1.2.3 不同 NH_4^+ 、 K^+ 组合的土培、水培试验: 将未经任何处理的勤泥土 200g, 放入事先盛有不同 NH_4^+ 、 K^+ 浓度组合营养液的 1L 塑料杯中作土培试验, 同时以不加土壤的作水培试验。每杯移栽水稻 10 株, 水培每周换液, 生长 50 天后收获, 测定生物量及氮、钾吸收量。各试验处理均设 2 次重复, 取平均值。

2 结果与分析

2.1 不同阳离子对矿物固定态铵释放及水稻吸氮的影响

不同阳离子对纯矿物的固定态铵释放有一定影响(表 2), 这在蛭石上表现得尤为明显。铵饱和处理后蛭石对铵的固定能力很强, 平均达到 1320 mg kg^{-1} , 在水稻生长期间各处理的矿物固定态铵释放量均较大, 其释放量从大到小顺序为: Na^+ 处理 $>$ Ca^{2+} 处理 $>$ CK $>$ K^+ 处理, 可见 Na^+ 、 Ca^{2+} 的存在有利于矿物固定态铵的释放, 而 K^+ 对这种释放具有抑制作用。从植株吸氮量上看, 也以 K^+ 处理的为最低, 各处理固定态铵的净释放量与植株吸氮总量之比在 0.40—0.44 之间, 说明固定态铵的释放情况与作物氮素营养状况有一定关系。蒙脱石对铵的固定能力很弱, 平均只有 71.6 mg kg^{-1} , 水稻生长期间只释放出 0.185—0.311 mg N/盆 , 对植株总吸氮量 11.7—53.6 mg N/盆 , 贡献极小, 植株吸氮量从多到少的顺序为 K^+ 处理 $>$ Na^+ 处理 $>$ Ca^{2+} 处理 $>$ CK。 K^+ 的存在不仅没有阻碍作物吸氮, K^+ 处理植株的含氮率还高于移栽时秧苗的含氮率, K^+ 、 Na^+ 处理的植株干重增加较多, 氮的累积量亦较多, 可见, K^+ 对不同矿物固定态铵释放的影响有所不同。

2.2 不同阳离子对土壤固定态铵有效性的影响

在四种土壤上所做的试验结果(表 3)无一例外地表现为: K^+ 存在明显地阻碍土壤固定态铵的释放, 并导致作物含氮率、干物重、累积吸氮量最低, 这与前人的试验结果^(6,7) 基本一致。相对地说, Na^+ 、 Ca^{2+} 存在有利于土壤固定态铵的释放, 并提高植株含氮率、干物重和累积吸氮量。除在黄粘土上 Na^+ 存在表现出比 Ca^{2+} 存在更有利于土壤固定态铵释放外, 在其他几种土壤上, 这两个离子的作用则甚为接近。

表2 不同阳离子对矿物固定态铵有效性的影响

矿物种类	处理	植 株					土 壤		
		干重 (g)	含氮率 (g/kg)	吸氮量 (mg)	含钾率 (g/kg)	吸钾量 (mg)	净吸氮 (mg)	固定态铵 (mg/kg)	净释氮 (mg)
蛭	K ⁺	1.81	13.2	23.9	24.8	44.9	19.8	466	8.55
	Na ⁺	1.85	14.8	27.4	12.0	22.2	23.3	267	10.8
	Ca ²⁺	2.02	14.6	29.6	15.1	30.5	25.5	251	10.7
石	CK	1.75	17.0	29.7	17.7	31.1	25.6	323	9.98
	移栽前	0.209	19.7	4.12	22.3	4.66	-	1320	-
蒙	K ⁺	2.44	22.0	53.6	20.7	50.4	49.4	43.7	0.278
	Na ⁺	2.09	16.7	34.8	10.5	22.0	30.7	40.5	0.311
	Ca ²⁺	0.698	25.6	17.9	16.3	11.4	13.8	45.4	0.262
脱	CK	0.430	27.2	11.7	15.8	6.79	7.59	53.0	0.185
	移栽前	0.209	19.7	4.12	22.3	4.66	-	71.6	-

2.3 不同 K⁺浓度对矿物、土壤固定态铵有效性的影响

为进一步明确不同 K⁺浓度对矿物、土壤固定态铵释放的影响，对矿物、土壤进行 K⁺浓度处理，观察水稻含氮率的变化以及矿物、土壤固定态铵的释放，结果如图 1、2。

表3 不同阳离子对土壤固定态铵有效性的影响

土壤	处理	植 株						土壤固定态铵		
		干重 (g/盆)	含氮率 (g/kg)	吸氮量 (mg/盆)	含钾率 (g/kg)	吸钾量 (mg/盆)	净吸氮量 (mg/盆)	吸收前 (mg/kg)	吸收后 (mg/kg)	净释氮 (mg/盆)
黄粘土	K ⁺	0.891	13.1	11.7	24.9	22.2	7.5		560	2.58
	Na ⁺	2.24	13.7	30.7	8.03	18.0	26.6	689	419	5.40
	Ca ²⁺	1.65	14.6	24.1	11.1	18.3	20.0		485	4.09
黄白土	K ⁺	0.991	11.6	11.5	21.5	21.4	7.4		672	2.01
	Na ⁺	1.81	16.0	28.8	11.2	20.1	24.7	772	550	4.44
	Ca ²⁺	1.70	15.0	25.6	9.18	15.6	21.5		562	4.21
黏泥土	K ⁺	1.12	11.2	12.6	21.2	23.8	8.5		641	2.33
	Na ⁺	3.12	14.0	29.9	9.19	19.6	24.7	758	523	4.69
	Ca ²⁺	1.77	14.5	25.6	10.8	19.0	21.5		531	4.54
紫色土	K ⁺	0.908	12.6	11.4	27.3	24.8	7.3		862	0.46
	Na ⁺	1.36	14.5	19.7	13.1	17.8	15.6	885	744	2.83
	Ca ²⁺	1.43	14.7	20.9	18.0	25.7	16.8		743	2.84

由图中可以看出，在 0—0.6 mmolL⁻¹ K⁺范围内，蛭石固定态铵的释放量较大，其中以 0.4 mmolL⁻¹ K⁺处理的释放量最大，达 5.10mg/盆，当 K⁺浓度超过 0.4 mmolL⁻¹ 时，固定态铵的释放受到明显的抑制。随着 K⁺浓度的增加，一方面促进作物生长，增强作物对氮素的吸收能力，致使交换性及水溶性铵数量的减少，从而有利于固定态铵的释放，另一方面，K⁺加强了层间封闭收缩，阻碍着固定态铵的释放。K⁺浓度较低时，第一方面的作用占优势，固定态铵的释放表现为随 K⁺浓度增高而略有增加，当 K⁺浓度较高时，第二方面的作用为主，固定态铵的释放表现为随 K⁺浓度增高而锐减。

可能是由于蒙脱石矿物固铵能力弱，而交换性铵特别丰富的缘故，固定态铵释放量与处理 K⁺浓度间未表现出明确的关系，植株含氮率与 K⁺浓度之间的关系也未表现出有一定的规律性。

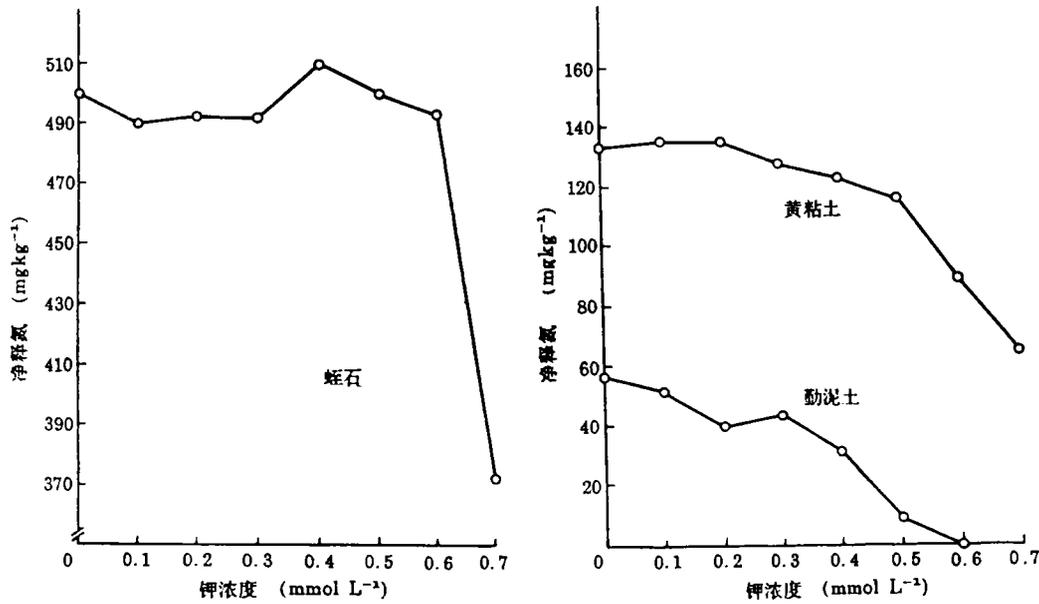


图1 钾离子浓度与矿物、土壤固定态铵净释放量的关系

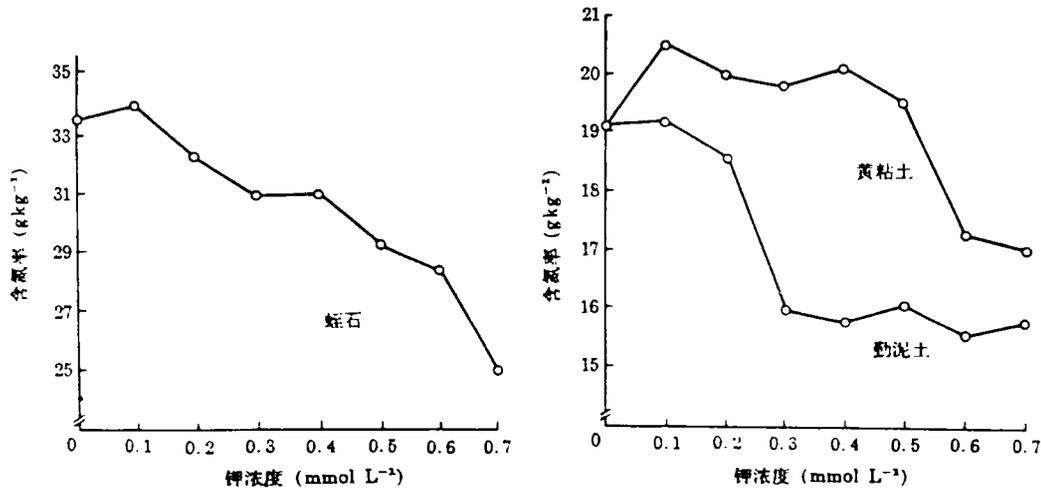


图2 钾离子浓度与水稻植株含氮率的关系

在两种土壤上所做的试验结果与在矿物上所做的结果有些相似。在0—0.2 mmolL⁻¹K⁺浓度范围内，随K⁺浓度的增高黄粘土固定态铵的释放量略有增加，当K⁺>0.2 mmolL⁻¹则表现为与蛭石矿物在0.4 mmolL⁻¹以上浓度时的情形相同。在黏泥土上所做试验比较特殊，随K⁺浓度升高从一开始就阻碍着其固定态铵的释放。处理后土壤上生长的水稻植株含氮率情况基本相似，随着处理K⁺浓度的升高，植株含氮率呈反“S”型曲线下降。对黄粘土来说，在K⁺浓度<0.5mmolL⁻¹时，植株含氮率高于起点值，>0.5mmolL⁻¹后急剧下降，并渐趋稳定在17g kg⁻¹左右。在黏泥土上，K⁺浓度在0—0.2mmolL⁻¹范围内，植株含氮率较稳定，下降较少，而在0.2—0.3mmolL⁻¹范围内急剧下降，以后保持在15.5g kg⁻¹左右。

由此可见,在较低浓度范围内, K^+ 便对这两种土壤固定态铵的释放起着阻碍作用,并导致着植株氮素营养状况发生变化。

2.4 培养条件下作物 NH_4^+ 、 K^+ 营养的相互关系

为了进一步明确到底是由于 K^+ 抑制着土壤固定态铵释放而导致植物氮素营养状况改变还是 K^+ 直接阻碍着植物吸氮过程,我们采用有土与无土条件下不同 NH_4^+ 、 K^+ 浓度组合栽培水稻,结果列于表4。从生物量上看,除完全空白处理(0-0)外,水培植株生物量均远高于土培植株,土壤上各处理植株生物量差异较小,显然这与土壤较大的养分吸收及缓冲能力有关。水培试验中,水稻植株吸氮总量随处理 NH_4^+ 浓度的提高而提高,与 K^+ 浓度大小关系不大。植物对钾素的吸收量与处理 K^+ 浓度关系密切,同时也与 NH_4^+ 浓度关系较大。无氮时植株吸钾量明显减少,低 NH_4^+ (0.5mmolL^{-1})高 K^+ (5mmolL^{-1})时植株吸钾量最大。 NH_4^+ 浓度较高时对作物吸钾有一定的抑制作用。土培试验中,植株吸氮量除表现出与处理 NH_4^+ 浓度有关外,还受到处理 K^+ 浓度的深刻影响,低 K^+ (1mmolL^{-1})时对作物吸氮尚有促进作用,而高 K^+ (5mmolL^{-1})时植株吸氮量明显减少,并在植株含氮率和生物量上同时有所表现,这与水培时的情况完全不同。土培时,多量 NH_4^+ 的存在似对水稻 K^+ 的吸收也有抑制作用,但远不及水培时显著,这可能与同时向土壤中施加 NH_4^+ 、 K^+ 时, NH_4^+ 对层间固定位竞争能力更强而改变了 NH_4^+ 、 K^+ 浓度与比例,以及土培条件下难以发生 K^+ 的奢侈吸收等因素有关。同样,在大田条件下一般也难以出现 NH_4^+ 抑制作物吸钾的现象。相反地,施入 NH_4^+ 的竞争固定可以减少 K^+ 的固定而增加作物吸钾。不过也有报道^[8,9]认为, NH_4^+ 会封闭层间 K^+ 而阻碍其释放。 NH_4^+ 的这种促进或抑制作物吸钾的作用显然与土壤层间钾的数量和释放特征以及 NH_4^+ 、 K^+ 施入时间顺序有关。相应地, K^+ 对土壤原有固定态铵及同时施入 NH_4^+ (NH_4^+ 竞争层间固定能力更强)的生物有效性的影响与对 K^+ 施入土壤被固定之后施入 NH_4^+ 的生物有效性的影响可表现出完全不同的情况。因此在田间条件下,由于土壤粘土矿物种类及数量,原有层间铵、钾数量及释放特点,铵、钾肥料施用数量、比例及时间顺序的不同,得出铵、钾营养关系的不同甚至相反的结论是经常的,在讨论铵、钾营养关系时,土壤这一培养基质所带来的影响是不容忽视的。

表4 不同培养条件下 NH_4^+ 、 K^+ 用量对水稻氮、钾吸收的影响

营养液浓度 (mmolL^{-1})		水 培					土 培				
NH_4^+	K^+	干重 (g/盆)	含氮率 (g/kg)	含钾率 (g/kg)	净吸氮量 (mg/盆)	净吸钾量 (mg/盆)	干重 (g/盆)	含氮率 (g/kg)	含钾率 (g/kg)	净吸氮量 (mg/盆)	净吸钾量 (mg/盆)
0	0	0.263	13.3	11.7	-0.03	-0.05	0.282	18.8	10.8	1.77	-0.09
	1	0.367	9.50	17.8	-0.04	3.40	0.285	25.8	12.8	3.81	0.53
	5	0.432	8.35	25.4	0.08	7.83	0.306	18.5	26.7	2.13	5.05
0.5	0	0.651	21.5	4.90	10.5	0.06	0.301	26.0	13.0	4.29	0.77
	1	0.799	18.2	20.2	11.0	13.0	0.339	27.0	17.1	5.61	2.67
	5	0.768	18.3	61.9	10.5	44.4	0.307	25.0	29.3	4.16	5.85
2.5	0	0.664	31.0	4.81	17.1	0.06	0.305	32.7	15.6	6.44	1.64
	1	0.726	30.6	23.3	18.7	13.8	0.362	32.5	23.0	8.22	5.20
	5	0.695	30.8	37.4	17.9	22.9	0.332	29.3	26.3	6.20	5.60
5.0	0	0.659	37.0	4.67	20.8	-0.05	0.326	33.6	12.8	7.24	1.06
	1	0.714	33.6	24.3	20.5	14.2	0.375	33.1	19.9	8.86	4.34
	5	0.780	31.8	35.8	21.3	24.8	0.360	30.4	23.0	7.40	5.14

