

低盐基土壤 K、Ca、Mg 的交互作用 对水稻生长与养分吸收的影响*

陈际型 宣家祥

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 本文研究了我国南方的低盐基土壤施用 K、Ca、Mg 对水稻生长、养分迁移和养分吸收的影响。结果表明,在低盐基土壤 NP 基础上施 K,随 K 用量增加到一定量,水稻生长受阻,生长量和产量有下降的趋势。NPK 肥基础上施 Mg 生长量随之增加;NPK 肥基础上 Ca、Mg 一起补给,产生协同作用,使水稻生长量明显增加。

阳离子交换树脂模拟试验表明,K-Mg、K-Ca和 Mg-Ca在养分向根迁移过程中即存在正的交互作用。盆栽试验表明,在水稻养分吸收过程中 K-Mg 和 Mg-Ca通常表现为颉颃作用,但K-Ca-Mg 的结合施用,增加养分的总吸收量,显示协同作用。这可能是由于 K-Ca-Mg 的结合促进了稻根生长和养分吸收之故。另外,本文还探讨了利用 K-Ca-Mg的三角交互作用减少 K 的需求量的可能性。

关键词 低盐基土壤, K、Ca、Mg, 三角交互作用, 水稻生长, 养分吸收

中图分类号 S153.61

我国南方的低盐基土壤,有效性 K、Ca、Mg 含量低,随着氮磷肥用量增加、复种指数和产量的提高,施用 K 肥已成为重要的增产措施之一^[1,2],但不适当的施 K,会扰动与 Ca、Mg 等养分的平衡引起一系列的生物反应,故而其交互作用的研究日益显得重要。然而以往的研究只偏重于 K、Ca、Mg 个别元素肥效的研究,对 K、Ca、Mg 的三角交互作用并不清楚,因此解释不了低盐基土壤中遇到的复杂情况。本文报道我们在水稻上所做的一些工作,以期阐明 K、Ca、Mg 交互作用的实质,为我国南方土壤 K、Ca、Mg 的合理施用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 土壤

供试土壤有浅海沉积物发育的赤红壤、玄武岩与花岗岩母质发育的砖红壤以及第四纪红色粘土及其发育的红壤性水稻土,其基本性质列于表 1。

1.2 水稻品种

* 国家自然科学基金资助项目(49471046)

收稿日期:1998-01-07;收到修改稿日期:1998-08-20

表1 供试土壤的基本性质

Table 1 Some basic properties of soils tested

土壤名称 Soil	母质 Parent material	pH (H ₂ O)	全N Total N g/kg	全K Total K ₂ O g/kg	速效K Available K g/kg	代换性Ca Exchangeable Ca mg/kg	代换性Mg Exchangeable Mg mg/kg
赤红壤	浅海沉积物	5.99	0.31	1.9	29	193.2	38.1
砖红壤	玄武岩	5.93	0.73	3.5	12	331.0	35.1
砖红壤	花岗岩	5.00	0.36	20.5	20	410.2	33.6
红壤母质	第四纪红色粘土	4.90	0.58	12.4	43	108.0	19.2
红壤性水稻土	第四纪红色粘土	5.20	1.25	10.6	55	279.0	35.0

供试水稻品种包括 7307, 7-74, 汕优 46 以及水幅 17 等 5 个品种。

1.3 试验设计

1.3.1 大田肥料试验 设 NP, NPK₁, NPK₂, NPK₃ 4 个处理重复 3 次, 小区面积为 22.4m², 每公顷肥料用量为尿素 600kg, 钙镁磷肥 600kg, K₁ 为 187.5kgKCl, K₂ 487.5kgKCl, K₃ 757.5kgK₂SO₄。

1.3.2 K、Ca、Mg 交互作用盆栽试验 有 2 个试验。一个在赤红壤上进行, 设 NP、NPK₁、NPK₂、NPK₃、NPK₁Mg、NPK₂Mg、NPK₃Mg、NPK₁CaMg、NPK₂CaMg 和 NPK₃CaMg 等 10 个处理, 每个处理重复 4 次; 另一个在玄武岩发育的砖红壤上进行, 设 NP、NPK₁、NPK₂、NPK₃Mg、NPK₂Mg、NPK₁Ca、NPK₂Ca、NPK₁CaMg、NPK₂CaMg 等 9 个处理, 每个处理重复 3 次。两次盆栽试验每盆用土均为 1.5kg, 肥料用量和比例相同, (即 N0.143g、P₂O₅ 0.143g、K₁ 0.143g、K₂ 0.286g、K₃ 0.429g、Ca0.48g、Mg0.072g)。水稻在 6 月 10 日直播, 每盆栽 3 穴, 每穴植 3 株, 分别于 7 月 26 和 8 月 3 日收获。

1.3.3 阳离子交换树脂袋模拟实验 分两次进行。第一次处理为 CK(原始土), CK + Ca, CK + K₁ + Ca + Mg, CK + K₂ + Ca + Mg, CK + K₃ + Ca + Mg 等 5 个处理。第二次主要考察 K 对 Ca 迁移影响, 所以设 CK, CK + Ca, CK + Mg, CK + K₁Ca, CK + K₂Ca, CK + K₃Ca 和 CK + K₂Mg 等 7 个处理, 重复 3 次, 肥料用量和比例同土壤试验, 仅 K₃ 用量比土培高出一倍。每盆用土 200g, 先按处理, 加入肥料(配成溶液), 再经风干、磨细充分混匀。在每个盆中各埋入装有 5g 氢质阳离子交换树脂的尼龙丝网袋 2 个作为“模拟根”。然后土壤加水至饱和持水量并用塑料膜覆盖盆子以防止水分蒸发, 在室温(20℃左右)放置一周后, 从土中取出树脂袋。树脂用 0.5mol/L HCl 50ml 连续提取 3 次, 最后用 0.5mol/L HCl 淋洗数次, 滤液定容至 200ml, 供 K、Ca、Mg 测定之用。

1.4 测定方法

土壤全 N 用开氏法测定, 全 K 用碱熔火焰光度法测定; 土壤代换性 K、Ca、Mg 用 1mol/L NH₄AC 提取, K 用火焰光度计测定, Ca、Mg 用原子吸收光谱法测定。植株中的 K、Ca、Mg 用硝酸消化一等离子光谱法测定。蛋白态 N 用三氯乙酸提取, 其残渣连同滤纸一起用 K₂SO₄ 加催化剂硒粉消化, 以半微量定 N 法测定。

2 试验结果

2.1 低盐基土壤 K、Ca、Mg 的施用对水稻生长的影响

低盐基土壤中的赤红壤是一种有效性 K、Ca、Mg 均低的土壤, 可以想见随着 K 肥用量的

增加会诱发缺 Mg 缺 Ca,使水稻生长受阻,由图 1 可见,正如预期的那样,在高 K 用量时水稻的生长曲线趋于平坦或降低。在 NPK 肥基础上补充 Mg 生长量曲线变为直线;在 NPK 肥基础上 Ca、Mg 一起补给则明显增加水稻的生物量。这表明,K、Ca、Mg 对水稻的生长有着明显的交互作用,而这种交互作用在低盐基土壤间还存在着一定的差异。由表 2 可见,在砖红壤上 Ca 对生长的增重效应随供 K 水平的增加而增加;Mg 的增重效应则随供 K 水平的增加而有所降低。显示 K-Ca 与 K-Mg 间的关系不太一样,但在 NP 肥基础上 K、Ca、Mg 一起施用,则无论在 K₁ 或 K₂ 供 K 水平均是联合效应大于各个别效应之和,显示 K-Ca-Mg 的三角交互作用是一种协同作用。

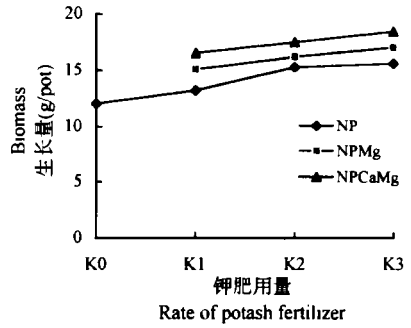


图1 赤红壤上水稻对K、Ca、Mg的反应
 Fig.1 Response of rice to fertilizers K, Ca and Mg in the lateritic red soil
 K₁: KCl 187.5kg/hm², K₂: KCl 487.5kg/hm²,
 K₃: K₂SO₄ 757.5kg/hm²

表2 K、Ca、Mg的施用对水稻生长的影响

Table 2 Effect of applying fertilizers K, Ca and Mg on the rice growth

土壤	处理	生长量(克/盆)		增重效应(克/盆)				
		Biomass(g/pot)		Biomass increment(g/pot)				
Soil	Treatment	地上部分	总重	K	Ca	Mg	K+Ca+Mg	
		Above ground part	Total				各效应之和	联合效应
				Sum of individual effect				Combinative effect
砖红壤	NP	2.94	4.17					
	NPK ₁	8.48	13.94	9.77				
	NPK ₁ Mg	8.80	14.21			0.27		
	NPK ₁ Ca	8.66	13.85		-0.09			
	NPK ₁ Ca Mg	9.48	15.47				9.95	11.30
L.S.D.(0.05)=0.84								
壤	NPK ₂	9.94	15.37	11.20				
	NPK ₂ Mg	9.81	15.39			0.22		
	NPK ₂ Ca	11.64	17.86		2.49			
	NPK ₂ Ca Mg	11.92	19.14				13.91	14.97
	L.S.D.(0.05)=0.71							

2.2 低盐基土壤 K、Ca、Mg 的施用对养分向根迁移的影响

植物根系对养分的吸收包括养分通过土壤向根的迁移和在土/根界面上根系对其吸收的过程。为了弄清 K、Ca、Mg 交互作用主要发生在哪一过程中,我们进行了阳离子交换树脂的模拟试验(见表 3)。由表 3 可见,低盐基土壤施 Ca,提高了土壤溶液中养分的浓度,促进 K、Ca、Mg 向根迁移,而施 Mg 促进 Ca、Mg 的迁移,对 K 迁移的影响则不大。K-Mg 和 K-Ca 配合施用与单独施 Ca、施 Mg 相比较,Ca、Mg 的迁移量均增加。同样,在 Ca、Mg 肥的基础上追施

表3 低盐基土壤K、Ca、Mg的施用对其养分迁移的影响

Table 3 Effect of K, Ca and Mg applications on nutrient migration in soil with low base content

土壤 Soil	处理 Treatment	树脂吸附量 Nutrient amount adsorbed by resin($\mu\text{g/g}$)		
		K	Ca	Mg
砖红壤 (玄武岩)	CK	16	34	10
	+Ca	27	331	19
	+Mg	13	48	99
	+K ₂ Mg	441	64	159
	+K ₂ Ca	670	472	40
赤红壤 (浅海沉积物)	CK	129	38	22
	+Ca	257	622	56
	+Mg	99	90	272
	+K ₂ Mg	1035	61	256
	+K ₂ Ca	1785	806	92

表4 Ca、Mg基础上增施K肥对Ca、Mg迁移的影响

Table 4 Effect of K addition on the basis of fertilizers Ca and Mg on the migration of Ca²⁺ and Mg²⁺

土壤 Soil	处理 Treatment	树脂吸附量 Nutrient amount adsorbed by resin ($\mu\text{g/g}$)		
		K	Ca	Mg
红壤 (第四纪红色粘土)	CK	26	293	33
	+K ₁ CaMg	419	355	618
	+K ₃ CaMg	1718	408	657

K, 也促进 Ca、Mg 的向根迁移(表 4)。这表明, 在养分的迁移过程中 K-Ca-Mg 与 Ca-Mg 之间存在正的交互作用。鉴于 K-Mg 的交互作用在养分吸收上总的表现为颞颞作用^[3], 所以由以上结果推想, K-Mg 发生负的交互作用的场所主要存在于土 / 根界面上。

2.3 低盐基土壤 K、Ca、Mg 的施用对水稻养分吸收的影响

已有资料报道, 当 K 是所缺乏的养分元素而其有效性提高时, 植物 Mg 和 Ca 的浓度降低^[4]。在低盐基土壤上施 K, 确实观察到水稻植株 Mg 的浓度降低(见表 5), 表明 KMg 之间存在着颞颞作用。但水稻施 K 后 Ca 的浓度有升有降, 随土壤和水稻品种而异。如, 在红壤性水稻土和砖红壤上施 K 后水稻 Ca 的浓度上升, 而在赤红壤上则下降; 对于红壤性水稻土在某些水稻品种上施 K 后水稻 Ca 的浓度上升, 在另一些水稻品种则又下降(见表 6), 说明 K-Ca 关系较 K-Mg 关系更复杂一些。在 NPK 基础上施 Mg(见表 7), 提高植株蛋白态 N 的含量, 植株 Ca 的浓度降低, 显示 Mg-Ca 间存在颞颞作用, 但施 Ca 并不降低植株 Mg 的浓度。在 NPK 基础上 Ca、Mg 一起施用与单独施 Ca, 施 Mg 相比较, N、K、Ca 的吸收总量增加, 联合效应大于各个别效应之和(见表 8)。这表明, K-Ca-Mg 的三角交互作用在养分吸收上也是一种协同作用。

表5 低盐基土壤施K对水稻植株K、Ca、Mg浓度的影响

Table 5 Effect of K application in soils with low base content on the concentrations of K, Ca and Mg in rice plants

土壤 Soil	母质 Parent materials	处理 Treatment	植株养分浓度 (g/kg) Nutrient concentration in plants			备注 Note
			K	Ca	Mg	
红壤性 水稻土	第四纪红 色粘土	NP	11.6	2.9	2.6	田间试验 (成熟期)
		NPK ₁	25.3	3.4	2.4	
		NPK ₂	27.2	3.7	1.6	
砖红壤	玄武岩	NP	5.2	4.5	3.2	盆栽试验 (分蘖盛- 孕穗期)
		NPK ₁	11.3	6.0	3.0	
		NPK ₂	18.7	6.0	2.6	
赤红壤	浅海沉 积物	NP	6.2	6.0	5.0	盆栽试验 (分蘖盛- 孕穗期)
		NPK ₁	15.9	5.9	4.2	
		NPK ₂	21.3	5.3	3.3	

表6 施K对不同水稻种植株养分浓度的影响

Table 6 Effect of K application on nutrient concentration in different variety of rice plants

土壤 Soil	品种 Variety	处理 Treatment	植株中养分浓度 (g/kg) Nutrient concentration in plants		
			K	Ca	Mg
红壤性 水稻土	801	NP	6.4	4.8	5.1
		NPK	9.6	5.5	3.5
	7-74	NP	4.9	4.8	5.7
		NPK	7.2	5.2	3.2
水稻土	汕优46	NP	4.5	5.1	5.7
		NPK	7.9	5.2	2.8
	水幅17	NP	4.6	4.8	5.5
		NPK	6.8	4.2	2.6

表7 砖红壤施Mg对水稻植株蛋白态氮和K、Ca养分浓度的影响

Table 7 Effect of Mg application in latosol on protein nitrogen, K and Ca concentrations of rice plant

处理 Treatment	植株养分浓度 (g/kg) Nutrient concentration of plant		
	蛋白质N Protein N	K	Ca
NPK ₁	95.9	11.3	6.0
NPK ₁ Mg	97.9	11.0	5.5
NPK ₂	93.7	18.7	5.9
NPK ₂ CaMg	99.3	18.3	5.2

表8 砖红壤K、Ca、Mg的配合施用对水稻养分总吸收量和根系生长的影响

Table 8 Effect of coordinations of K, Ca and Mg fertilizers applied to latosol on total uptake of nutrient and root growth of rice plant

处理 Treatment	吸收总量 (mg/pot) Total uptake					干根重 (g/pot) D.W. of roots
	N	P	K	Ca	Mg	
NPK ₁	178.6	10.5	127.5	33.7	33.7	5.46
NPK ₁ Ca	183.1	10.1	130.0	34.1	34.1	5.19
NPK ₁ Mg	189.4	10.0	127.4	66.0	66.0	5.41
NPK ₁ CaMg	231.7	10.2	164.3	63.1	63.1	5.99

3 讨论

我国化学 K 肥的用量现已发展到年施用百万吨之多,80%用在南方的低盐基土壤,主要是稻田土壤上^[5],近年也有报道这些稻田土壤普遍缺 Mg^[6],但迄今为止,施 K 必须与 CaMg 配合施用,无论在理论与实践上均未十分明确,也罕有从相互作用的角度来阐述其必要性。以上的试验表明,K-Ca-Mg在养分迁移过程中即存在相互作用而在水稻养分的吸收过程中,尽管 K-Mg 和 Mg-Ca间由于竞争根的吸收位点或由于 K 阻碍 Mg 向地上部分转移^[7]而产生颞颞作用,但 K-Ca-Mg的三角交互作用仍为一种协同作用。这可能是由于 K-Ca-Mg 的结合促进了根系的生长,根膜的吸收系统有所增加,因而减弱了 K-Mg 和 Mg-Ca离子对吸收位点的竞争作用之故。

K-Ca-Mg 的交互作用反映在水稻生长上也是这样。这三种养分的结合对水稻生长量增加的联合效应大于各个别效应之和,故而可以作为低盐基土壤上 K、Ca、Mg 这三种养分必须联合补给的依据。另一方面,鉴于我国 K 肥资源匮乏,K 的开源一直是大家重视的问题^[8],但对节流问题尚少涉及。从本试验看,利用 K-Ca-Mg的交互作用减少 K 的用量似乎也是可能的。例如,在砖红壤的试验中,NPK₁CaMg 处理水稻地上部分的生长量与 NPK₂处理相接近,而前者的稻根重更大,而且 K、Ca、Mg 养分浓度依旧超过了最适生产的临界值^[9]。在赤红壤上更明显,NPK₂Ca-Mg 处理的植株其地上部分和稻根的干重都较 NPK₃处理为大。这些都表明,在低盐基土壤上只要适量施 K,通过增施 Ca、Mg,即可提高 K 肥的肥效。故而减少一部分 K 肥的施用(如表 9 所示那样,从 K₂或 K₃水平降低到 K₁)。把它施到更多缺 K 的土壤和需 K 的作物上这是完全有可能的。

表9 施K对水稻产量的影响

Table 9 Effect of K application on the grain yields of rice

土壤 Soil	处理 Treatment	稻谷产量 Grain yield (kg/ha)	增产 Increase %	备注 Note
红壤	NP	6138 a	100	K ₁ 施KCl188kg/ha
性水	NPK ₁	6666 b	108.9	K ₂ 施KCl488kg/ha
稻土	NPK ₂	6654 b	108.4	K ₃ 施K ₂ SO ₄ 758kg/ha
	NPK ₃	6533 b	106.4	

注:在同一列内带相同字母的平均值之间无显著差异(P=0.05,新复全距法测定)。

参 考 文 献

1. 马茂桐,杜承林. 华中红壤丘陵地区水稻生产中的 K 肥问题. 土壤通报,1982,(5):5~11
2. 范业成,陶其骥. 江西稻田施肥效应及肥力演变研究,国际平衡施肥学术讨论会论文集. 北京:农业出版社. 1989. 43~51
3. D.W. 狄伯,W.R. 汤姆森. K 与其它养分的交互作用. 见:R D 芒森. 主编. 农业中的 K. 北京:科学出版社. 1995. 414~430
4. Ohno T, Grunes D L, Sanchirico C A. Nitrogen and potassium fertilization and environmental factors

- affecting the grass tetany hazard of wheat forage. *Plant and Soil*, 1985, 86:173~184
5. 梁德印. K肥对我国主要作物的增产作用. 国际平衡施肥学术讨论会论文集. 北京: 农业出版社, 1989.106~109
 6. 黄钧如. 南方稻田普遍缺 Mg 的新动向. *中国农学通报*, 1996, (6): 49
 7. Ohno T, Grunes L. Potassium-magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1985, 45:685~690
 8. 谢建昌. 中国土壤 K 素研究的回顾. 见: 李庆逵与我国土壤科学的发展. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992.110~116
 9. Von Uexkull H R. Potassium nutrition of tropical crops. In: *The Role of Potassium for Agriculture*. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, 1968. 385~421

EFFECT OF INTERACTIONS OF K, Ca AND Mg APPLIED TO SOILS WITH LOW BASE CONTENT ON GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE BY RICE PLANT

Chen Ji-xing Xuan Jia-xiang

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Summary

Effects of potassium, calcium and magnesium fertilizers applied to soils on rice growth, nutrient migration and nutrient uptake by rice plants in soils with low base content in southern regions of China were investigated.

Results showed that on the basis of NP fertilizers with the increase of K, the rice growth was retarded and its biomass decreased, Applying Mg on the basis of NPK fertilizers increased the rice biomass. Applying Ca, Mg on the basis of NPK fertilizers resulted in the synergistic effect to make the biomass remarkable increase. It is suggested that the triangular interactions of K-Ca-Mg are positive interactions.

Simulation experiments using ion-exchange resin showed the positive interactions between K-Mg, K-Ca and Mg-Ca in the process of nutrient migration to roots. Pot culture experiment showed an antagonistic effect between K-Mg and Mg-Ca in the process of nutrient uptake by rice plant. However, combinative use of K-Ca-Mg increased the total uptake of nutrient, showing a synergistic effect. It is mainly due to the promotion of rice root growth. In addition, the possibility of decreasing the requirement of K by the triangular interaction of K-Ca-Mg was also discussed.

Key word Low-base soils, Potassium-calcium-magnesium, Triangular interaction, Rice growth, Nutrient uptake