

CaO₂ 等缓性释氧化物改善土壤氧化还原条件的作用及对水稻生长的影响*

向万胜 周卫军 古汉虎

(中科院长沙农业现代化研究所, 410125)

EFFECTS OF OXYGEN-RELEASING PEROXIDES SUCH AS CaO₂ ON SOIL REDOX STATUS AND RICE GROWTH

Xiang Wansheng Zhou Weijun and Gu Hanhu

(Changsha Institute of Agricultural Modernization, Academia Sinica, 410125)

关键词 过氧化物释氧化物, 水稻, 亚铁毒害, 土壤氧化还原条件

我国南方广泛分布的潜育化水稻土, 由于土壤过度渍水, 通透性差, 氧气供应缺乏, 导致土壤处于强烈还原状态, 有毒还原物质易于累积, 因而水稻生长不良, 产量低。

碱土金属的过氧化物如 CaO₂、MgO₂ 和 BaO₂ 等, 由于其分子结构中含有活性氧, 它们与水作用时能缓慢释放出氧 ($2MO_2 + 2H_2O \rightarrow 2M(OH)_2 + O_2 \uparrow$)^[1]。这一特性, 可能对改善潜育化水稻土的氧化还原条件具有一定作用。

本文用添加葡萄糖和 Fe²⁺ 的方法来模拟潜育化土壤的强还原条件, 研究了 CaO₂、MgO₂ 及 BaO₂ 三种过氧化物释氧化物对土壤氧化还原条件及水稻生长的影响。并选择 CaO₂ 进行了田间试验, 对其改善潜育化土壤氧化还原条件的效果进行了初步验证。

1 试验材料与方法

1.1 盆栽试验

于 1992 年进行了早晚两季水稻盆栽试验, 所用土壤均为第四纪红色粘土发育的水稻土, 其基本性状如下: pH5.9, 有机质 29.6g/kg, 全量 N、P、K 分别为 1.2g/kg、0.64g/kg 和 12.7g/kg (以元素计), 碱解氮为 16.07mg N/100g±, 速效磷、钾分别为 15.4 和 65.0mg/kg (以元素计)。每盆装土 3.5kg, 施 N 0.525g, P₂O₅ 0.35g, K₂O 0.525g, N 以尿素施入, P、K 以 KH₂PO₄ 施入, 不足的钾以 KCl 补充。

早稻共设九个处理, 每处理四次重复。添加 Fe²⁺ 和葡萄糖的处理, 每盆施葡萄糖 (G) 15g, FeSO₄ · 7H₂O 2g。葡萄糖在装盆时与土壤混匀, FeSO₄ 于移栽后用针筒多点注入约 6cm 深的土层中。过氧化

* 本研究为所长青年基金资助项目, 试验得到本所何电源研究员和廖先苓副研究员指导, 谨致谢忱。
收到修改稿日期: 1995-05-26

物及氧化物均在装盆时与土壤混匀。施用过氧化物的处理,其过氧化物产生的活性氧的量一致(0.67g),氧化物的用量与其相应的过氧化物中金属离子等摩尔数。早稻试验处理如下:(1)CK 只施 NPK 肥;(2)CaO 施 CaO3.7g;(3)MgO 施 MgO 9.0g;(4)CaO₂ 施 CaO₂4.3g(含 CaO₂70%);(5)MgO₂ 施 MgO₂9.6g(含 MgO₂25%);(6)Fe²⁺+G(CK₁) G1.5g,FeSO₄·7H₂O2g;(7)Fe²⁺+G+CaO₂G15g,FeSO₄·7H₂O2g, CaO₂4.3g;(8)Fe²⁺+G+MgO₂G15g,FeSO₄·7H₂O2g, MgO₂9.6g(含 MgO₂25%);(9)Fe²⁺+G+BaO₂G15g,FeSO₄·7H₂O2g, BaO₂8.4g(含 BaO₂85%)。泡水三天后移植秧苗,品种浙辐 802,每盆 2 穴,每穴 6 株,5 月 4 日移栽,8 月 3 日收获。

晚稻共设七个处理,每处理重复四次,所有处理均添加了 G 和 Fe²⁺,G 为每盆 15g,Fe²⁺为每盆 1g FeSO₄·7H₂O,施用方法同早稻。各处理过氧化物的用量相同,氧化物(或氢氧化物)的用量与其相应的过氧化物中的金属离子等摩尔数。晚稻处理如下:(1)Fe²⁺+G(CK₁);(2)Fe²⁺+G+CaO,施 CaO 1.9g;(3)Fe²⁺+G+MgO 施 MgO 2.1g;(4)Fe²⁺+G+Ba(OH)₂Ba(OH)用量 2.3g;(5)Fe²⁺+G+CaO₂,CaO₂用量 2.2g(含活性氧 0.34g);(6)Fe²⁺+G+MgO₂,MgO₂用量 2.2g(含活性氧 0.16g);(7)Fe²⁺+G+BaO₂,施 BaO₂2.2g(含活性氧 0.18g)。7 月 29 日移栽,水稻品种为晚粳 89-1,每盆 2 穴,每穴 5 株,10 月 28 日收获。

1.2 田间试验

于 1993 年进行了中稻田试验,试验土壤为河湖冲积物发育的潜育化水稻土。土壤 pH6.73。试验设 CK、CaO75kg/ha、CaO₂37.5kg/ha 和 CaO₂75kg/ha 四个处理,设三次重复,随机区组排列,小区面积 3m×6m。每公顷 N、P、K 用量分别为 N180kg、P₂O₅45kg 和 K₂O 60kg。CaO 及 CaO₂ 均在耘田时基施混入土层。水稻品种为当地常规中稻“稀插”,6 月 13 日移植,9 月 20 日收获。

1.3 分析与测定方法

盆栽土壤 pH 和 Eh 均使用 DMP-2 型 mV/pH 计在盆钵中原位测定。各处理的 pH 和 Eh 值均取四盆土壤测定平均值。土壤 Fe²⁺及还原性物质的测定参见文献[2]。植株含 Fe 量测定采用 HNO₃-HClO₄ 法消化,邻啡罗啉比色法测定。

2 结果与讨论

2.1 对土壤 Eh 及 pH 的影响

盆栽早稻施用过氧化物三天后测定土壤 Eh,经 CaO₂ 和 MgO₂ 处理的土壤 Eh 比对照提高 16—23mV,差异均达显著或极显著水平。而 BaO₂ 处理的土壤,则与对照无明显差异,但施用十天后,土壤 Eh 比对照提高 12mV,且差异达极显著水平;CaO₂ 和 MgO₂ 处理的土壤,Eh 比对照显著降低(表 1)。这说明施用过氧化物能在一定时间范围内提高土壤 Eh,但由于不同过氧化物的释氧特性不同,对 Eh 的提高幅度与维持时间有一定差异。施用氧化物的处理 Eh 均比对照显著降低。对土壤 pH 的测定表明(表 1),不论土壤是否添加了 Fe²⁺和葡萄糖,施用过氧化物后均使土壤 pH 升高,这是由于过氧化物与水作用放氧后的产物为碱性氢氧化物,因而对 pH 的影响与施用相应氧化物的效果相同。施用过氧化物后,一方面由于活性氧的释放会提高土壤 Eh,另一方面,又由于 pH 的升高会使得土壤 Eh 降低。因而过氧化物对土壤 Eh 的影响是由这一矛盾过程综合作用的结果。MgO 和 MgO₂ 处理由于施用量过高,pH 升高可达 8 以上,施入 30 天以后土壤仍呈强碱性,因而抑制了水稻的生长,并影响了水稻产量(见表 4)。

表1 过氧化物对土壤 pH 及 Eh(mV)的影响

处理	5月4日			5月11日			5月18日		
	pH	Eh ₇	Eh 与对照比较	pH	Eh ₇	Eh 与对照比较	pH	Eh ₇	Eh 与对照比较
CK	6.79	-192	—	7.01	-146	—	7.30	-103	—
CaO	7.78	-202	-10*	7.58	-159	-13*	7.55	-112	-9*
MgO	8.72	-188	+4	8.43	-176	-30**	8.36	-132	-29**
CaO ₂	7.65	-169	+23*	7.46	-165	-19**	7.52	-111	-8*
MgO ₂	8.68	-173	+19**	8.31	-160	-14**	8.09	-114	-11**
Fe ²⁺ +G(CK ₁)	6.68	-194	—	7.03	-171	—	7.09	-103	—
Fe ²⁺ +G+CaO ₂	7.62	-178	+14*	7.38	-182	-11**	7.32	-99	+4
Fe ²⁺ +G+MgO ₂	8.63	-172	+22**	8.37	-185	-14**	8.22	-100	+3
Fe ²⁺ +G+BaO ₂	7.69	-196	-2	7.50	-159	+12**	7.53	-99	+4

注：“*”差异达5%显著水平，“**”差异达1%显著水平。

2.2 对土壤还原物质及水稻吸铁的影响

盆栽试验结果表明,施用过氧化物 18 天后(5月19日),添加 Fe²⁺和 G 的处理,还原物质总量除施用 BaO₂ 与对照相比无明显差异外, CaO₂ 和 MgO₂ 处理分别比对照降低 8.4%和 2.8%,其差异达极显著或显著水平。三种过氧化物处理的土壤活性还原物质含量均比对照明显降低, CaO₂ 和 BaO₂ 处理比对照分别降低 13.9%和 9.9%,差异均达显著水平; MgO₂ 处理比对照降低 12.3%,差异达极显著水平(表 2)。在潜育性水稻土上进行的田间试验表明,土壤 Fe²⁺含量明显降低(与对照比),植株含铁量亦明显降低(见表 3)。可见,由于过氧化物在土壤中的缓慢释氧作用,在一定程度上降低了土壤还原物质总量,特别是显著降低了活性还原物质及 Fe²⁺含量,因而减轻了 Fe²⁺等还原物质对水稻的毒害,从而有利于水稻的正常生长发育。

表2 三种过氧化物对土壤还原物质的影响(1992年早稻盆栽)

处理	活性还原物质(cmol / kg)		还原物质总量(cmol / kg)	
	含量	与对照比较	含量	与对照比较
Fe ²⁺ +G(CK ₂)	6.24	—	7.58	—
Fe ²⁺ +G+CaO ₂	5.37	-0.87*	6.94	-0.64**
Fe ²⁺ +G+MgO ₂	5.47	-0.77**	7.37	-0.21*
Fe ²⁺ +G+BaO ₂	5.62	-0.62*	7.70	+0.12

表3 CaO₂对土壤 Fe²⁺及水稻植株含 Fe 的影响(1993年中稻田田间试验,取样时间7月3日)

处理	土壤 Fe ²⁺ 含量(mg / 100g)		植株含铁量(mg / kg)	
	Fe ²⁺	与对照比较	Fe	与对照比较
CK	113.8	—	369.5	—
CaO	111.9	-1.9	322.6	-46.9*
CaO ₂ (37.5kg / ha)	92.4	-21.4*	283.9	-85.6**
CaO ₂ (75kg / ha)	83.4	-30.4*	252.2	-117.3**

2.3 对水稻生长发育及产量的影响

早稻盆栽试验表明,对于添加了 Fe²⁺和 G 的处理,其对照(CK)因受 Fe²⁺的严重毒害,水稻前期生长发育受阻,植株矮小,返青延迟;成熟时贪青晚熟,空秕粒多。而 CaO₂和 BaO₂处理 Fe²⁺毒害症状明显减轻,株高增加,返青提前。成熟时,施用 CaO₂和 BaO₂的处理水稻籽粒产量分别比对照增产 108.8%和 79.8%(表 4)。而 MgO₂处理因施用量过高,致使土壤 pH 迅速上升呈强碱性(表 1),因而水稻生长受到抑制,导致产量与对照差异不明显。对于未添加还原物质的处理,施用过氧化物导致减产或效果不明显,施用 CaO 和 MgO 处理均导致减产。施用三种过氧化物对晚稻生长前期的影响不如对早稻前期的影响明显,但到中后期则表现出茎秆粗壮,叶片清秀,成熟时籽粒饱满,空秕粒少。CaO₂、MgO₂和 BaO₂处理水稻籽粒产量分别比对照增产 133.8%、115.8%和 127.3%,其差异均达极显著水平(表 4)。尽管施 CaO、MgO 和 Ba(OH)₂使水稻产量也有显著提高,但其增产幅度均明显低于相应的过氧化物处理。CaO₂、MgO₂和 BaO₂处理水稻的产量分别比 CaO、MgO 和 Ba(OH)₂处理的高 3.6、6.4 和 12.8g/盆,且差异均达显著或极显著水平。结合早稻盆栽试验的结果来看,在强还原的土壤条件下,施用过氧化物促进水稻正常生长发育的作用是肯定的。在潜育化水稻土上进行的田间试验也初步证实了这一点,每公顷施用 CaO₂ 37.5kg 和 75kg 的处理,中稻产量分别比对照增产 50.0 和 57.4kg,增产率分别达 14.7%和 16.8%,差异达极显著水平。但过氧化物在不同类型潜育化土壤上的效果,以及经济有效的施用方法和技术,则有待进一步研究。

关于盆栽试验早稻不加 Fe²⁺和 G 的处理施用 CaO 和 MgO 导致水稻减产,而晚稻土壤添加了 Fe²⁺和 G 后施用上述 2 种物质及 Ba(OH)₂却导致增产的原因,可能与施用量的大小有关^[3],还可能与碱性物质抑制了 Fe²⁺的活性有关(在碱性条件下形成铁的沉淀及离子拮抗作用降低了 Fe²⁺的毒害)。

表 4 三种过氧化物对水稻产量的影响(1992 年盆栽)(g/盆)

早稻处理	产量		晚稻处理	产量	
	籽粒重	与对照比		籽粒重	与对照比
1 CK	23.4	—	1. Fe ²⁺ +G(CK ₁)	13.9	—
2 CaO	21.3	-2.1	2. Fe ²⁺ +G+CaO	28.9	+15.0* *
3 MgO	3.9	-19.5* *	3. Fe ²⁺ +G+MgO	23.6	+9.7* *
4 CaO ₂	24.5	+1.1	4. Fe ²⁺ +G+Ba(OH) ₂	18.8	+4.9*
5 MgO ₂	16.0	-7.4	5. Fe ²⁺ +G+CaO ₂	32.5	+18.6* *
6 Fe ²⁺ +G(CK ₁)	11.4	—	6. Fe ²⁺ +G+MgO ₂	30.0	+16.1* *
7 Fe ²⁺ +G+CaO ₂	23.8	+12.4* *	7. Fe ²⁺ +G+BaO ₂	31.6	+17.7* *
8 Fe ²⁺ +G+MgO ₂	10.7	-0.7			
9 Fe ²⁺ +G+BaO ₂	20.5	+9.1* *			

3 小结

盆栽试验结果表明,施用 CaO₂等缓性释氧化物能在一定时间范围内提高土壤 Eh;用

添加 Fe^{2+} 和 G 来模拟潜育化土壤的还原条件,施用过氧化物能明显降低土壤还原物质总量与活性还原物质含量。田间试验结果还表明,潜育化土壤施用 CaO_2 后降低了土壤中 Fe^{2+} 的含量,水稻植株含铁量也相应降低。这说明,在强还原性土壤上施用过氧化物释氧物能明显改善土壤的氧化还原条件,减轻 Fe^{2+} 等还原物质对水稻的毒害,从而有利于水稻的正常生长发育,提高产量。

参 考 文 献

1. 吕希伦,1987:无机过氧化物化学。305—317页,科学出版社。
2. 于天仁等,1976:土壤的电化学性质及其研究法。447—450页,科学出版社。
3. 何电源,1992:关于稻田施用石灰的研究,土壤学报,第29卷1期,87—92页。

更正

土壤学报 1995,32(4)第 377 页,中文题目:

“低湿地与土壤湿度的卫星遥感监测与制图”应增加作者唐伶俐。

作者:戴昌达勘误