植物营养与肥料学报 2003,9(3):369～372
Plant Nutrition and Fertilizer Science

钙对水稻旱育秧立枯病的控制作用

刘 峰[1],慕 卫[1],张文吉[2],张 军[3*]
(1 山东农业大学植保学院,泰安 271018;2 中国农业大学理学院,北京 100094;
3 中国农业大学生物学院,北京 100094)

摘要:用 $CaSO_4$、$CaCO_3$、CaO、CaO_2、$CaCl_2$ 和 $Ca(NO_3)_2$ 混土处理,考察了它们对水稻旱育秧立枯病的防治效果,其中 CaO 和 CaO_2 对该病具有一定的控制作用。用 0.25%～2% CaO 水溶液浸种 48 h 可以使水稻旱育秧立枯病病苗率减少 40%左右,以土重 0.5%～1%的 CaO 处理土壤也使水稻立枯病的发病率降低 50%。在降低立枯病发病率的同时,CaO 处理也延缓了水稻立枯病的发展。

关键词:钙;水稻立枯病;防治
中图分类号:S143.7+2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2003)03-0369-04

Control effect on rice dry seedling damping-off by calcium

LIU Feng[1], MU Wei[1], ZHANG Wen-ji[2], ZHANG Jun[3]
(*1 College of Plant Protection of Shandong Agricultural University. Taian 271018, China; 2 College of Applied Chemistry of China Agricultural University, Beijing 100094, China; 3 College of Biology of China Agricultural University, Beijing 100094, China*)

Abstract: $CaSO_4$、$CaCO_3$、CaO、CaO_2、$CaCl_2$ and $Ca(NO_3)_2$ mixed in soil affected the incidence rate of damping-off of rice seedling. CaO_2 and CaO were effective in control of this disease. After soaked in 0.25% - 2% solutions of oxide calcium for 48-hour, the infected rates of seedling which undergone damping-off were reduced by 40 percent less than the water control. The infected rates of seedling which cultivated in lime treated soil were also half lower than non-treatment. The results showed the above treatments with calcium were relayed the development of rice seedling damping-off.

Key words: calcium-containing compound; damping-off; rice; control

水稻立枯病是日本、韩国、朝鲜以及我国南北方稻区旱育秧田常发的一种苗期病害,由土壤习居的多种真菌引起,主要有镰刀菌、丝核菌、平脐蠕孢和腐霉等[1~4],一般年份发病率 10%～30%,严重年份可达 60%以上。发病后稻苗停止生长并大批死苗,严重影响秧苗质量和育苗进程,已成为旱育高产技术推广的障碍。自水稻旱育秧技术发明和推广以来,人们一直在寻求控制立枯病的措施,其中土壤调酸和杀菌剂处理土壤是目前国内外控制该病危害的主要手段,但存在着操作程序复杂、导致土壤含盐量升高以及容易造成土壤污染等问题,因此有必要研究更为简便、安全的控制措施。笔者在前期研究中发现 CaO 等含钙化合物土壤施用能够促进水稻幼苗生长、提高水稻的抗寒能力,而水稻立枯病的发生恰恰与低温和生长缓慢有关[2,5],在此背景下本文对不同含钙化合物对水稻旱育秧立枯病发生的影响进行了研究,旨在评价新的土壤改良措施对该病的控制作用。

1 材料与方法

1.1 材料

供试水稻品种为越富(*Oryza sativa* L. sub. *japonica* Yuefu),属粳稻,为北京地区主栽品种。稻种事先用 22%的 NaCl 水溶液选取,25℃清水浸泡 4d,35℃催芽 1d,露白后备播。

供试土壤为中国农业大学科学园大田土,该地为山前冲

收稿日期:2002-07-11
基金项目:国家自然科学基金项目(39670429)资助。
作者简介:刘峰(1970—),男,山东沂水人,博士,副教授,从事农药学、植物病害生态控制研究。* 通讯作者

积平原，土壤类型为褐土，质地为壤土，有机质含量 10.7 g/kg，全氮和全磷含量分别为 1.16g/kg 和 0.93g/kg，pH 值 7.85，土壤过 2mm 筛，风干后用于试验。

供试药剂 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$、CaO、$CaCO_3$、CaO_2（过氧化钙）、$CaCl_2 \cdot 2H_2O$、$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$、H_2SO_4 均为化学纯。

1.2 方法

1.2.1 不同含钙化合物处理土壤方法 CaO 在土壤中的施用量为土壤重量的 1%，方法是将块状 CaO 加适量水消化，用研钵研细成细粉后混土。其它含钙化合物的用量以 CaO 中 Ca 的用量进行折算，保证最终土壤的含钙量一致，各化合物的具体用量（每 100 g 干土）为 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ 3.07 g、$CaCO_3$ 1.79 g、CaO_2 1.29 g、$CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 2.63 g 和 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 4.21 g 与稻田土充分混匀作为育苗床土备用。以调酸处理作为对照，方法是将浓 H_2SO_4 用蒸馏水配制成 0.5mol/L H_2SO_4 溶液直接浇到土壤中，每 100 g 干土用 40 mL。另设空白对照。将上述土壤装入木质育秧盘（每盘 9 格，每格 10 cm×10 cm×3 cm），播种经催芽露白的稻种，重复 5 次，盖土覆膜，在育秧温室中培养，定期浇水保持盘土湿润。播种后第 13 天开始进行变温处理，昼温最高 32℃左右，夜温最低 17℃，同时保持盘土湿润，诱导立枯病发生。

1.2.2 CaO_2 土壤处理方法 分别按土重 0、0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%和 1.8%的量将 CaO_2 粉与稻田土充分混匀，分别装在 4 cm×4 cm×6 cm 的 50 穴苗盘中，播种经催芽露白的稻种，重复 5 次，盖土覆膜，于温室培养，播种后第 9 天开始同上方法进行变温处理，诱发立枯病。

1.2.3 CaO 浸种处理方法 用水将消化的 CaO 粉配制成水溶液，浓度分别为 0、0.25%、0.5%、1%和 2%，25℃浸种 48 h 后，换用清水相同温度下继续浸种 48 h，35℃催芽 24 h，播种于装有稻田土的 4 cm×4 cm×6 cm 的 50 穴苗盘中，于温室培养，重复 4 次。立枯病诱导方法同上。

1.2.4 CaO 土壤处理方法 分别按土量的 0、0.5%、0.8%和 1%，将 CaO 消化粉与稻田土充分混匀，分装在 4 cm×4 cm×6 cm 50 穴苗盘中，播种经催芽露白的稻种，重复 4 次，盖土覆膜，于温室培养，立枯病诱导方法同上。

1.2.5 效果评价 从出现卷叶病苗开始，调查病苗数和总苗数，计算发病率，应用新复极差法对结果进行方差分析。

2 结果及分析

2.1 不同含钙化合物对土壤 pH 的影响及对水稻立枯病的控制作用

表 1 是播种后 21 天水稻幼苗感染立枯病的情况。在土壤中相同含钙量条件下，不同含钙化合物对水稻立枯病的控制作用由大到小依次为 CaO_2、CaO、$CaCO_3$ 和 $CaSO_4$。CaO_2 和 CaO 处理土壤的 pH 分别达到 11.58 和 11.73，水稻立枯病的发病率分别为 25.7%和 35.3%，调酸处理（H_2SO_4）立枯病发病率为 27.1%，与 CaO_2 和 CaO 比较差异不显著。$CaCO_3$ 处理的发病率为 53.0%，低于对照处理，但方差分析差异不显著，$CaSO_4$ 处理发病率高于对照处理，方差分析也不显著。$CaCl_2$ 和 $Ca(NO_3)_2$ 处理土壤初始 pH 分别为 7.21 和 7.26，低于清水处理，但水稻未出苗，这可能是由于 Cl^{-1} 和 NO_3^{-1} 对稻苗有毒害作用造成的。$CaCO_3$ 和 $CaSO_4$ 均为不溶物，对土壤 pH 影响不大，对立枯病控制作用也差。

表 1 不同含钙化合物对水稻立枯病的控制作用

Table 1 Effects of different calcium-containing compound on the development of rice seedling damping-off (21d)

处理 Treatment	播种前床土 pH pH of soil before sowing	病苗率(%) Infection rate of seedling(%)[1]
$CaSO_4$	8.14	81.2a[2]
$CaCO_3$	9.23	53.0bc
CaO	11.73	35.3cd
CaO_2	11.58	25.7d
H_2SO_4	4.72	27.1d
$CaCl_2$	7.21	–
$Ca(NO_3)_2$	7.26	–
CK	7.85	72.9ab

1 数字为 5 次重复平均值。Data are the mean of five replicates.

2 不同字母表示在 95%水平上差异显著。Different letters indicate significant difference between different treatments (P=0.05).

表 1 中各处理土壤的初始 pH 的变化也反映了含钙化合物解离的程度的差异，CaO_2 和 CaO 遇水能够变成 $Ca(OH)_2$，溶解度增加，结果是土壤初始 pH 较高，土壤中 Ca^{2+} 含量也明显高于其他处理，其次是 $CaCO_3$，再次是 $CaSO_4$，相应地，水稻立枯病的发病率也呈升高趋势。由此可见土壤可溶性 Ca^{2+} 的含量与发病率有一定相关性。

2.2 CaO_2 处理土壤对水稻立枯病的控制作用

从表 2 可以看出，与清水处理相比 CaO_2 系列浓度处理土壤对水稻立枯病均有显著的控制作用，在土壤中添加 0.3%～1.8%的 CaO_2 后，土壤初始 pH 随着 CaO_2 的含量增加而缓慢增大，不过播种后 15 d，各处理土壤 pH 均下降到 5.4～5.9，水稻立枯病发病率在 2.5%～6.3%，明显低于对照处理，浓度间差异并不显著。

2.3 CaO 浸种对水稻立枯病的控制作用

结果见表 3，播种后第 14 天开始，所有处理均

有病苗出现，0.25%～2% CaO 浸种处理病苗率 8.0%～10.5%，清水对照为 6.0%。第 17 天，对照处理发病率达到 47.4%，而 CaO 各浓度处理立枯病发病率仅为 15%～29%。第 22 天，清水对照发病率为 72.3%，0.25%～2% CaO 浸种处理病苗率仅为 28.4%～31.8%。这表明 CaO 浸种处理明显减轻水稻立枯病的发病率。

表 2　CaO_2 对水稻立枯病的控制作用

Table 2　Control effect of CaO_2 on rice seedling damping-off by soil treatment (15d)

处理 Treat.	浓度 Conc. (%)	播种前床土 pH pH of soil before sowing	播种后 15d 床土 pH Soil pH 15d after sowing	病苗率(%) Infection rate[1]
CaO_2	0.3	9.53	5.42	2.73b[2]
	0.6	11.05	5.81	4.50b
	0.9	11.53	5.66	5.37b
	1.2	11.94	5.89	6.29b
	1.5	12.11	5.75	4.06b
	1.8	12.19	5.78	2.51b
CK	–	7.85	5.77	25.16a

1 数字为 5 次重复平均值。Data are the mean of five replicates.

2 不同字母表示在 95% 水平上差异显著。Different letter means significant difference between different treatments at P=0.05.

表 3　CaO 浸种对水稻立枯病的控制作用

Table 3　Controlling effects on rice seedling damping-off by seed-soaking with CaO solutions

处理 Treat.	浓度 Conc. (%)	pH water	病苗率(%)[1] Infection rate					
			14d	15d	17d	19d	20d	22d
CaO	0.25	11.22	10.0ab[2]	10.3a	27.6ab	27.6a	28.5a	29.0a
	0.5	12.41	8.2ab	12.2a	29.5ab	29.9a	29.9a	30.7a
	1.0	12.30	8.0ab	12.3a	20.9ab	23.1a	28.7a	31.8a
	2.0	12.72	10.5ab	10.5a	15.1a	19.6a	25.1a	28.4a
CK	–	7.46	6.0a	16.7ab	47.4c	57.7b	64.7b	72.3b

1 数字为 4 次重复平均值。Data are the mean of four replicates

2 不同字母表示 95% 水平上差异极显著。Different letter means significant difference between different treatments at P=0.05.

由于 CaO 在水中以 $Ca(OH)_2$ 的状态存在，$Ca(OH)_2$ 溶解度有限，达到饱和后，溶解不会再随剂量增加而增加，这从各处理水溶液的初始 pH 上可以看出(表 3)，因此各浓度 CaO 水溶液中 Ca^{2+} 的含量差异不大，相应地各处理之间立枯病发病率差异也不显著。

自发病第一天起，水稻立枯病的病情发展情况如图 1 所示，发病 1d 后清水对照处理的发病率增加了 10.7%，CaO 浸种各处理增加 0～4.3%。发病 3 d 后，对照处理发病率增加了 41.4%，而 CaO 各处理发病率仅增加 4.6%～21.3%。之后 CaO 浸种各处理发病率增加缓慢，而清水对照处理发病率则持续大幅度上升。由此表明，CaO 浸种处理也能延缓水稻立枯病病情的发展速率。

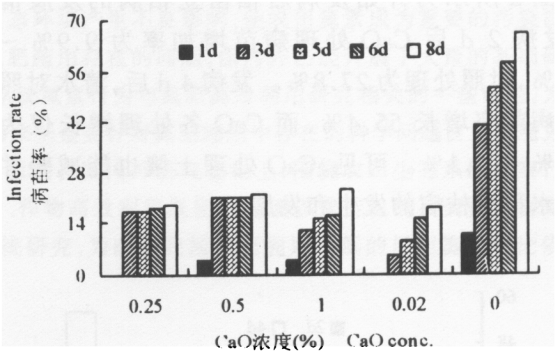

图 1　CaO 浸种处理对水稻立枯病病情扩展的影响

Fig.1　Effects of CaO on development of damping-off of rice seedling by seed-soaking

2.4　不同浓度 CaO 处理土壤对水稻立枯病的控制

从表 4 结果来看，CaO 处理土壤对水稻立枯病也有明显的控制作用。播种后第 11 天各处理明显开始出现卷叶病苗。占土量 0.5%、0.8% 和 1% 的 CaO 处理水稻秧苗立枯病发病率为 11.9%～13.4%，清水对照处理病苗率为 25.3%。第 13 天，立枯病发病率增加，CaO 各处理病苗率分别为 23.6%、27.5% 和 24.3%，对照处理达到 53.1%。第 15 天清水对照处理病苗率为 80.7%，CaO 处理为 39.3%～42.5%。

表 4　CaO 处理土壤对水稻立枯病的控制作用

Table 4　Controlling effect of CaO on damping-off of rice seedling by soil treatment

浓度 Conc. (%)	播种前床土 pH pH of soil before sowing	病苗率(%)[1] Infection rate 11d	13d	15d	播种后 15d 床土 pH pH of soil 15d after sowing
0.5	11.43	12.5a[2]	23.6a	40.5a	5.80
0.8	11.86	11.9a	27.5a	39.3a	5.61
1.0	11.73	13.4a	24.3a	42.5a	5.54
0	7.85	25.3b	53.1b	80.7b	5.72

1 数字为 4 次重复平均值。Data are the mean of four replicates.

2 不同字母表示 95% 水平上差异极显著。Different letter means significant difference between different treatments at P=0.05.

从土壤 pH 变化上分析，在分别加入土重的 0.5%、0.8%、1.0%的 CaO 后，播种前土壤 pH 由原来的 7.85 增加到 11.43、11.86 和 11.73，表明 $Ca(OH)_2$在土壤中的解离程度相差不大，由于水稻根在生长过程中不断分泌有机酸，土壤被酸化，播种后 15 d 床土 pH 已经回落到 6 以下，与对照处理基本相当。结果进一步表明 Ca^{2+} 含量的变化可能是引起水稻立枯病发病率变化的主要原因。

图 2 所示为开始发病后稻苗立枯病的发展情况，发病 2 d 后 CaO 处理病苗增加率为 9.9%～15.6%，对照处理为 27.8%。发病 4 d 后，清水对照处理病苗率增长 55.4%，而 CaO 各处理增长仅为 27.4%～29.1%。可见，CaO 处理土壤也能减轻并延缓水稻立枯病的发生和发展。

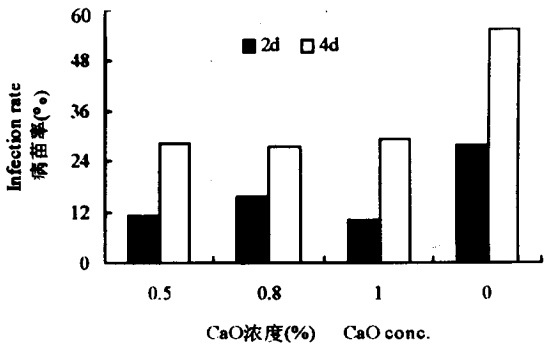

图 2 CaO 处理土壤对水稻立枯病病情扩展的影响

Fig.2 Effects of CaO on development of damping-off of rice seedling by soil treatment

3 讨论

钙与植物的关系密切。根据已有报道，钙与植物细胞壁的形成有关[6]，能够减轻植物的盐害[7]、水分胁迫[8]、解除铝毒[9,10]，提高植物的抗低温能力[11,12]，促进水稻生长[5]，还参与植物信号的传递[13]，调节酶活性的变化[14]。钙在植物病害防治中也有广泛应用，如保护性杀菌剂老品种石硫合剂和波尔多液即含有石灰(CaO)的成分，50 年代初期曾有石灰用于稻瘟病防治的报道；苹果果实缺钙可导致苦痘病、水心病和痘斑病等生理性病害，采前喷钙或采后浸钙可以有效解决这些病害的发生[15,16]；由于水稻水育秧和水直播均存在发芽和出苗时缺氧问题，因此 CaO_2 在日本及东南亚稻区作为一种供氧剂包衣种子使用以提高水育秧苗的出苗率[17,18]。本研究首次发现 CaO_2 和 CaO 能够用于水稻旱育秧立枯病的防治，无论是 CaO 浸种处理还是土壤处理，对水稻立枯病均有明显的控制作用。同样含钙量的 $CaSO_4$ 和 $CaCO_3$ 土壤处理效果差，可能与这两者都是微溶物，在土壤中解离的 Ca^{2+} 含量较少有关。这一结果表明土壤添加钙质对水稻旱育秧立枯病的控制作用与 Ca^{2+} 浓度有一定关系。

水稻立枯病是由病原真菌和不良逆境条件共同作用引起的病害，稻苗在逆境下生长缓慢、抵抗力下降是导致该病发生的直接诱因。一般认为连阴天、低温和盐碱是导致立枯病发生的主要逆境条件，目前对于该病的防治也多是针对病原菌和上述逆境展开的。根据以往的栽培理论，水稻是喜酸作物，最适 pH 4.5～5.5，在我国东北稻区生产中采用的土壤调酸法即是创造稻苗适宜生长环境的一种措施，对减轻水稻立枯病的发生很有效。本研究发现利用 CaO_2 和 CaO 等碱性物质，混土处理培育的水稻秧苗只是在出苗速度和前期生长上略迟于清水对照处理，不过播种 20 天后稻苗生长已经开始超过对照处理，且能够在一定程度上减轻水稻立枯病的发生，此外还提高了水稻抗低温能力[5]。尽管 CaO_2 和 CaO 能引起土壤初始 pH 大幅度地提高(达 11 左右)，对水稻生长不利，但由于水稻秧苗根部分泌有机酸能够使土壤酸化，因此初期土壤酸碱变化可能不是引起水稻生理变化的原因，可能在于土壤中 Ca^{2+} 浓度的提高，这一点从浸种处理结果也能反映出来。不过土壤添加钙质导致的抗病作用究竟是由于钙质直接影响了水稻，还是通过改良土壤间接作用于水稻或不利于病原菌繁殖而减轻病害发生，其机理需要进一步明确。

参 考 文 献：

[1] 单玉斌，罗嵘，赵瑞昌. 水稻旱育秧苗期立枯病的发生特点及防治对策[J]. 农药，2000，39 (7)：31.

[2] 杨丽敏. 寒地水稻旱育秧苗青枯、立枯病的发生与防治 [J]. 作物杂志，1997，(1):28-29.

[3] 徐敬友，吴翠萍，童蕴慧，等. 江苏水稻旱育秧"黄枯"病原鉴定及致病力研究 [J]. 植物病理学报，2001，31(3)：230-235.

[4] 高同春，叶钟音，王梅，等. 水稻旱育秧苗立枯病致病镰刀菌分离、鉴定及致病性测定[J]. 中国水稻科学，2001，15(4)：320-322.

[5] 刘峰，张军，张文吉. 氧化钙对水稻幼苗的生理作用研究[J]. 植物学通报，2001，18(3)：490-495.

[6] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京：农业出版社，1991. 123-130.

[7] 章文华. 钙对大麦幼苗盐胁迫的缓解效应 [J]. 植物生理学通讯，1992，28(3)：176-179.

[下转 380 页]