

土壤调理剂对冷浸田土壤特性及水稻生长的影响^①

刘 杰¹, 罗尊长^{1*}, 肖小平¹, 瞿德明², 罗贤树²,
罗志勇², 孙 耿¹, 洪 曦¹, 余崇祥¹

(1 湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125; 2 浏阳市土肥工作站, 湖南浏阳 410300)

摘 要:冷浸田因长期受冷泉水浸渍, 土体封闭, 通气不良, 土壤 Eh 值和有效养分低下, 水稻产量偏低。本研究以单施化肥为对照, 设置增施生物稻糠、脱硫灰、石膏、过氧化钙和硅钙肥处理, 通过田间小区试验和定期观测, 探究了不同土壤调理剂对冷浸田土壤特性及水稻生长的影响。结果表明: 与 CK 处理比较, 施用生物稻糠和石膏土壤活性还原物质含量分别降低了 52% 和 30%, 从而提高了土壤的氧化性能; 土壤细菌数分别提高 200% 和 96%, 真菌数分别下降 16% 和 10%, 进而提高土壤供氮能力。而施用脱硫灰和石膏调节了土壤养分, 土壤有效磷含量均增加 83%, 速效钾含量分别增加 50% 和 13%, 水稻叶绿素含量分别提高 3% 和 5%。施用石膏、生物稻糠和脱硫灰水稻分别增产 13.0%、10.1% 和 5.1%。研究认为, 施用土壤调理剂能消减冷浸田还原物质毒害, 提升土壤微生物活性, 提高土壤养分供应, 促进水稻增产, 并以生物稻糠、石膏和脱硫灰效果最佳。

关键词:冷浸田; 土壤调理剂; 土壤特性; 水稻生长; 水稻产量

中图分类号: S156.8

冷浸田是指长期受水浸渍的一类水田^[1-2], 主要分布在山区、丘陵谷地、平原湖沼低洼地以及山塘、水库堤坝的下部等区域, 属潜育型水稻土土类。该类土壤剖面中有蓝灰色的潜育层(G), 土壤受积滞水分的长期浸渍, 土体封闭于静水状态下, 难以通气与氧化; 同时, 在易分解的有机物还原影响下, 使土壤及积滞水的 Eh 值下降, 土壤中 Fe、Mn 处于还原低价状态, 土体显青色或青黑色^[3]。地下水位高、冷、烂、酸、毒、瘦及潜在肥力不能发挥是冷浸田的重要特征^[4], 因此在该类土壤上生长的水稻常表现为稻苗返青迟^[5]、分蘖迟且少, 甚至坐兜不长^[1], 影响有效分蘖的形成, 同时水稻根系在生育前期生长缓慢, 生育后期容易早衰, 这是形成冷浸田低产的主要原因。

兴修水利、开沟排水等工程是改良冷浸田的基础措施, 陈士平等^[6]研究认为, 采用塑料波纹管改造山区冷浸田, 可使耕层土壤除渍、土体收缩、水温 and 土温升高、理化性状改善, 最终水稻增产 29.7%。沈秀英等^[7]采用“W”模式改造冷浸田, 即在冷浸田里挖地成沟, 形成垄沟相间、高垄低沟的“W”模式,

也能达到增产效果。但前人的研究多数仅在开沟排水上, 对于排水之后冷浸田土壤结构的改良, 进一步提升其生产力的措施则少见报道。近年来土壤调理剂的研制与应用为冷浸田的进一步改良提供了新思路。许晓平等^[8]认为土壤调理剂能够培肥土壤, 提高作物产量。Sudha 和 Dinesh^[9]报道煤粉灰能够改善土壤结构, 有助于作物根系生长。董稳军等^[10]发现, 施用生物活性炭和脱硫灰能提高水稻伤流强度、根冠比和生物量。王文军等^[11]发现施用生物炭能提高水稻生育前期土温, 促进水稻干物质积累, 提高水稻产量。为此, 笔者以湖南省典型冷浸田为研究对象, 在明沟排水的基础上配合施用 5 种土壤调理剂对冷浸田进行改良, 研究其对土壤特性及水稻生长的影响, 以期同类型地区的土壤改良提供科学依据和有效的配套技术措施。

1 材料与方法

1.1 试验设计及施肥管理

试验地位于湖南省浏阳市镇头镇柏树村(27°58'11.66"N,

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD05B05-3)、公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503119-05-2)、湖南省自然科学基金项目(2014JJ6064)和中国农业科学院土壤质量重点实验室开放基金项目(201501)资助。

* 通讯作者(luozunchang@vip.sohu.com)

作者简介: 刘杰(1980—), 男, 湖南湘潭人, 博士, 助理研究员, 主要从事中低产田改良研究。E-mail: jiebaz@163.com

113°18'59.11"E), 试验时间为 2014 年 3—7 月, 试验土壤属潜育型水稻土类、冷浸田土属, 试验前耕层土壤基础理化性状为: pH 5.0, 有机质含量 32.5 g/kg, 全氮 2.02 g/kg, 全磷 0.59 g/kg, 全钾 19.0 g/kg, 碱解氮 256 mg/kg, 有效磷 1.6 mg/kg, 速效钾 61 mg/kg, 还原物质总量 10.17 cmol/kg, 活性还原物质 8.28 cmol/kg, 亚铁 4.81 cmol/kg, 亚锰 0.35 cmol/kg。试验设 6 个处理: ①NPK 化肥+生物稻糠; ②NPK 化肥+脱硫灰; ③NPK 化肥+石膏; ④NPK 化肥+过氧

化钙; ⑤NPK 化肥+硅钙肥; ⑥NPK 化肥(CK)。
施用氮肥为尿素, 按纯氮 165 kg/hm² 施用; 磷肥为过磷酸钙, 按 P₂O₅ 90 kg/hm² 施用; 钾肥为氯化钾, 按 K₂O 105 kg/hm² 施用。磷肥做基肥一次性施用, 氮肥和钾肥分基肥和追肥施用, 氮肥基肥: 追肥 = 6 : 2 : 2, 钾肥基肥: 追肥 = 1 : 1。各土壤调理剂作基施, 其用量为: 生物稻糠 3 000 kg/hm², 脱硫灰 3 000 kg/hm², 石膏 225 kg/hm², 过氧化钙 120 kg/hm², 硅钙肥 1 050 kg/hm²。各土壤调理剂的理化性质如表 1 所示。

表 1 供试调理剂的理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of soil amendments used

调理剂	pH	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	CaO (g/kg)	MgO (g/kg)
生物稻糠	6.8	3.25	2.09	3.69	20.9	5.84
脱硫灰	8.5	1.08	1.43	1.10	432.7	14.04
石膏	7.8	—	—	—	326.8	—
过氧化钙	7.6	—	—	—	—	—
硅钙肥	7.2	—	—	40.10	184.1	8.84

每个处理重复 3 次, 随机区组排列, 小区面积 20 m²(4 m × 5 m), 每个小区周围围成 20 cm 宽、30 cm 高的堤坝 (农膜包裹堤坝防止水肥流失)。试验区四周开 30 cm 宽、30 cm 深的排水沟, 试验区内单灌单排, 以便水稻生长季及时排出田内过量积水。供试水稻品种为潭两优 83, 采用移栽方式, 种植密度为每公顷 22.5 万窝, 每窝插 2 粒谷秧苗, 稻田病虫害按当地习惯采用农药进行防治, 人工拔除杂草。

1.2 取样及分析测定方法

在作物生长期定期观测水稻的分蘖动态, 在作物成熟期 (2014 年 7 月) 收获水稻测定产量, 且每小区取样 5 穴带回室内考察产量构成因素; 采用棋盘法于分蘖盛期 (2014 年 5 月) 和收获期采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤和植株样品用于分析测定, 土壤样品取回晾干磨碎后分别过 2 mm 筛和 0.149 mm 筛。

取水稻分蘖盛期土壤样测定土壤还原性物质总量: 测定采用重铬酸钾氧化法^[12], 土壤活性还原物质

含量测定采用高锰酸钾滴定法, 亚锰测定采用高碘酸钾比色法, 亚铁测定采用邻菲罗啉或 α, α'-联吡啶比色法。

取水稻分蘖盛期土壤样测定土壤微生物区系: 细菌培养基用牛肉膏蛋白胨琼脂, 放线菌培养基用高泽氏一号琼脂, 真菌培养基用马丁-孟加拉红链霉素琼脂, 细菌、放线菌、真菌计数采用稀释平板计数法。用土壤呼吸作用强度反映土壤微生物活性, 其测定采用氢氧化钠吸收法^[13]。

其他项目均采用常规法测定^[12]。

1.3 数据分析

数据的整理及均值、标准差等计算在 Excel 2003 实现, 采用 SPSS 16.0 进行统计分析, 显著性水平设为 0.05, 结合 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同调理剂对土壤还原性物质含量的影响
从表 2 分析, 添加调理剂后土壤还原物质含量均

表 2 不同调理剂对土壤还原物质含量的影响
Table 2 Effects of different amendments on contents of soil reducing substances

处理	还原物质总量(cmol/kg)	活性还原物质(cmol/kg)	亚铁(cmol/kg)	亚锰(cmol/kg)
生物稻糠	5.42 d	3.97 d	2.34 c	0.27 bc
脱硫灰	8.23 b	6.04 c	4.25 ab	0.27 bc
石膏	6.15 cd	5.78 c	3.54 b	0.29 b
过氧化钙	7.56 bc	6.54 b	4.55 a	0.22 d
硅钙肥	6.73 bcd	5.94 c	4.11 ab	0.25 c
CK	10.08 a	8.27 a	4.72 a	0.33 a

注: 表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 P<0.05 显著水平, 下表同。

较 CK 处理有所降低,其中以添加生物稻糠处理效果最好,还原物质总量仅 5.42 cmol/kg,较 CK 处理降低 46.2%;活性还原物质含量仅 3.97 cmol/kg,较 CK 处理降低 52.0%;土壤亚铁离子含量仅 2.34 cmol/kg,较 CK 处理降低 50.0%。土壤亚锰离子含量也以 CK 处理最高,以过氧化钙处理降低最明显,仅 0.22 cmol/kg,下降约 33%。可见,施用调理剂能明显降低冷浸田的还原性物质含量,进而减轻其毒害,为水稻的生长创造良好环境。

2.2 不同调理剂对土壤微生物区系及活性的影响

从表 3 可知,施入调理剂后土壤细菌数量均有不

同程度的提升,其中以生物稻糠处理效果最好,细菌数达 85.93×10^4 cfu/g,较 CK 处理提升 2 倍;而施入调理剂后土壤真菌数量均有不同程度的降低,其中也以生物稻糠处理效果最明显,较 CK 处理下降约 16%。土壤放线菌数量以石膏和过氧化钙处理较高,分别达 166.12×10^3 和 158.09×10^3 cfu/g,分别较 CK 处理提升 15% 和 9%。土壤微生物活性以生物稻糠处理最高,达 0.32 mg/(g·d),较 CK 处理提高 23%。可见调理剂施入提高了土壤细菌数、放线菌数和微生物活性,降低了土壤真菌数量,以生物稻糠处理效果较明显。

表 3 不同调理剂对土壤微生物区系及活性的影响
Table 3 Effects of different amendments on soil microbial contents and activity

处理	细菌(×10 ⁴ cfu/g)	真菌(×10 ² cfu/g)	放线菌(×10 ³ cfu/g)	微生物活性(CO ₂ , mg/(g·d))
生物稻糠	85.93 a	78.46 c	145.76 b	0.32 a
脱硫灰	64.66 b	86.21 b	146.43 b	0.27 b
石膏	56.46 bc	83.71 b	166.12 a	0.27 b
过氧化钙	43.91 cd	86.28 b	158.09 a	0.31 a
硅钙肥	30.49 d	83.53 b	113.41 c	0.21 c
CK	28.83 d	93.34 a	144.82 b	0.26 b

2.3 不同调理剂对水稻收获期土壤速效养分含量的影响

从表 4 分析,水稻收获期各调理剂施入较 CK 处理土壤碱解氮含量有小幅提升,以生物稻糠处理较高,为 234 mg/kg。土壤有效磷含量以 CK 处理最低,仅 1.8 mg/kg,施用脱硫灰和石膏处理较高,达 3.3 mg/kg,较 CK 处理增加了 83%。土壤速效钾含量以 CK 处理最低,仅 38 mg/kg,施用脱硫灰处理较高,达 57 mg/kg,较 CK 处理增加了 50%。可见,施用调理剂能改善土壤理化性状,使得水稻收获期土壤肥力得到一定程度的提升。

表 4 不同调理剂对水稻收获期土壤养分的影响
Table 4 Effects of different amendments on soil fertility at rice harvest stage

处理	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
生物稻糠	234 a	2.5 b	42 b
脱硫灰	222 a	3.3 a	57 a
石膏	222 a	3.3 a	43 b
过氧化钙	230 a	2.3 b	42 b
硅钙肥	223 a	2.5 b	40 b
CK	220 a	1.8 c	38 b

2.4 不同调理剂对水稻分蘖数的影响

从图 1 来看,施入调理剂均能不同程度增加水

稻营养生长期分蘖数,至分蘖盛期以过氧化钙和硅钙肥处理较高,分别达每穴 20.2 个和每穴 18.6 个,分别较 CK 处理增加 49% 和 37%。可见,调理剂改善了冷浸田土壤理化性状,进而增强了水稻的分蘖能力。

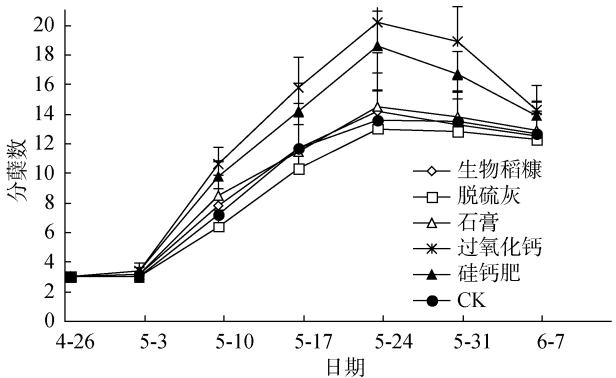


图 1 不同调理剂对水稻分蘖的影响
Fig. 1 Effects of different soil amendments on rice tiller

2.5 不同调理剂对水稻分蘖盛期叶绿素含量的影响

从图 2 可知,添加调理剂后水稻分蘖盛期叶绿素含量均较 CK 处理有所提高,其中以添加石膏和硅钙肥效果最明显,均较对照提升约 5%。叶绿素含量的提高意味着水稻光合作用效率的提升,有利于增加水稻干物质的积累。

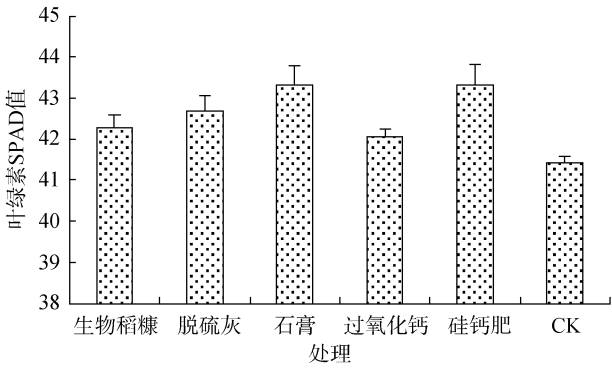


图 2 不同调理剂对水稻叶绿素含量的影响
Fig. 2 Effects of different soil amendments on rice chlorophyll

2.6 不同调理剂对水稻产量及构成的影响

从表 5 分析,水稻产量以 CK 处理最低,仅

表 5 不同调理剂对水稻产量及构成的影响
Table 5 Effects of different soil amendments on rice yield

处理	有效穗数	每穗实粒数	结实率(%)	千粒重(g)	实际产量(kg/hm ²)
石膏	17.8 a	67.5 a	60.5 b	26.5 a	6 892.3 a
生物稻糠	17.8 a	63.6 a	67.8 a	27.2 a	6 714.5 a
脱硫灰	17.8 a	67.5 a	60.5 b	26.5 a	6 314.3 b
过氧化钙	17.2 a	57.0 b	62.1 b	26.5 a	6 091.9 c
硅钙肥	17.2 a	56.5 b	60.6 b	25.1 b	6 091.9 c
CK	15.8 b	54.9 b	47.4 c	24.8 b	6 003.0 c

脱硫灰处理在土壤有效磷和速效钾方面改善效果明显,分别较 CK 处理增加了 83% 和 50%,这一结果与董稳军等^[14]在广东省冷浸田改良试验中的结果相一致。

陈进红等^[15]认为施用硅肥能促进水稻植株对氮、磷、钾养分的吸收与积累,从而增加水稻干物质积累与籽粒产量。从本试验结果可看出硅钙肥通过补充土壤所缺乏的硅和钙元素,协调土壤养分供应,促进了水稻分蘖发育,使水稻分蘖数较 CK 处理增加 37%,增产效果明显,这一结果与全成哲等^[16]的研究结果相似。

生物稻糠处理对土壤速效养分、土壤还原性物质及微生物活性方面改善效果明显,土壤碱解氮含量提升了 6%,活性还原物质和亚铁离子含量分别较对照降低 52.0% 和 50.0%,细菌数和土壤微生物活性分别提升 200% 和 23%,真菌数下降约 16%。主要原因可能是施用生物稻糠增加了土壤通透性,同时补充有机碳,不仅可消减土壤还原性物质毒害,还能增加微生物活性并培肥土壤,这一结果与张文玲等^[17]的研究结果相似。

因冷浸田长期处于淹水的特殊状态,土壤中硫酸根离子常还原形成硫化氢导致水稻黑根现象,石膏处

6 003.0 kg/hm²,施入调理剂后水稻均有增产,其中以石膏和生物稻糠处理效果较好,分别达 6 892.3 和 6 714.5 kg/hm²,较 CK 处理增产 13.0%和 10.1%,脱硫灰处理增产 5.1%,过氧化钙和硅钙肥处理增产 1.5%。从产量构成来看,各调理剂均明显提高了水稻有效穗数和结实率,从而获得增产。

3 结论与讨论

土壤理化性状是土壤环境健康程度的直接评价指标,直接影响水稻的生长发育和产量高低。本试验结果表明:冷浸田施用 5 种土壤调理剂后,土壤还原性物质含量明显消减,土壤速效养分缺乏和微生物活性低的问题得到明显改善。

理增加钙离子的同时还增加了硫酸根离子,提高了土壤的氧化性能,有效消减了土壤还原性物质毒害,还原物质总量和活性还原物质含量分别较对照降低 39% 和 30.0%,进而提高了土壤微生物活性,土壤细菌数量和放线菌数量分别较对照提高 96% 和 15%,土壤有效磷和速效钾均显著高于 CK 处理,增产效果明显。

施用土壤调理剂通过对土壤理化性状的改善,有利于冷浸田水稻分蘖和光合作用物质积累,最终通过提高水稻产量主要构成因子成穗数、结实率和千粒重,使水稻明显增产。综合来看,生物稻糠、石膏和脱硫灰更适合用于冷浸田土壤改良。此外,应进一步开展定位试验,以验证其改良效果的稳定性,同时分析调理剂施入土壤后各离子与养分之间的相互作用及机理,为冷浸田合理施用土壤调理剂及配套改良措施提供技术支撑。

参考文献:

[1] 唐先来. 冷浸田的低产原因及改良措施[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(3): 78
[2] 焦加国, 张惠娟, 贺大连. 我国冷浸田的特性及改良措施[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 4 247-4 248
[3] 吴新德, 戴廷寿. 安徽池州地区冷浸田的综合改良[J]. 土壤, 1996, 28(2): 62-64

- [4] 邓绍欢, 叶成龙, 刘婷, 等. 南方地区冷浸田土壤线虫的分布特征[J]. 土壤, 2015, 47(3): 564–571
- [5] 林增泉, 徐朋, 彭加桂, 等. 冷浸田类型与改良研究[J]. 土壤学报, 1986, 23(2): 157–162
- [6] 陈士平, 吴华成, 周发明. 塑料波纹管改造山区冷浸田技术研究[J]. 土壤肥料, 2001(6): 42–43
- [7] 沈秀英, 蔡道雄, 荣和大, 等. 冷浸田“W”模式改造效益初探[J]. 湖北农学院学报, 1994, 14(1): 59–63
- [8] 许晓平, 汪有科, 冯浩, 等. 土壤改良剂改土培肥增产效应研究综述[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 331–333
- [9] Sudha J, Dinesh G. Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production-a review[J]. Bioresource Technology, 2006(97): 1136–1147
- [10] 董稳军, 郑华平, 黄旭, 等. 土壤改良剂对冷浸田水稻根系活力及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(36): 182–187
- [11] 王文军, 张祥明, 凌国宏. 生物质焦对冷浸田水稻生长及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6220–6221
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [13] Schnurer J, Rosswall T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1982, 43(1): 1256–1261
- [14] 董稳军, 徐培智, 张仁陟, 等. 土壤改良剂对冷浸田土壤特性和水稻群体质量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(7): 810–816
- [15] 陈进红, 毛国娟, 张国平, 等. 硅对杂交粳稻干物质与养分积累及产量的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(1): 22–26
- [16] 全成哲, 方秀琴, 金京花, 等. 水稻施用硅钙肥试验效果研究初报[J]. 北方水稻, 2011, 41(5): 39–43
- [17] 张文玲, 李桂花, 高卫东. 生物质炭对土壤性状和作物产量的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(17): 153–157

Effects of Amendments on Soil Properties and Rice Growth in Cold Waterlogged Paddy Field

LIU Jie¹, LUO Zunchang^{1*}, XIAO Xiaoping¹, QU Deming², LUO Xianshu²,
LUO Zhiyong², SUN Geng¹, HONG Xi¹, YU Chongxiang¹

(1 Institute of Soil and Fertilizer in Hunan Province, Changsha 410125, China;

2 Soil and Fertilizer Station of Liuyang County, Liuyang, Hunan 410300, China)

Abstract: The soil oxidation-reduction potential, soil available nutrients and rice yield were low in cold spring paddy fields because of long-term flooding by cold spring water. A field experiment and laboratory analysis were performed to study the effects of different amendments on improving soil properties and rice growth. Experimental treatments were control, biomass charcoal, desulphurization ash, gypsum, calcium peroxide and silicon calcium fertilizer. The results showed that the application of biomass charcoal and gypsum reduced soil active reducing substances by 52% and 30%, respectively, and thus increased soil oxidation capacity evidently, compared with control. Application of biomass charcoal and gypsum also increased soil bacteria by 200% and 96%, respectively, and reduced the number of soil fungi by 16% and 10%, respectively, while soil available N was increased evidently. Application of desulphurization ash increased soil available P, soil available K and rice chlorophyll content by 83%, 50% and 3%, and the corresponding data were 83%, 13% and 5% for the treatment with gypsum applied. Consequently, the rice yield was increased by 13.0%, 10.1% and 5.1% due to application of gypsum, biomass charcoal and desulphurization ash. In conclusion, application of biomass charcoal, gypsum and desulphurization ash could reduce toxicity of soil reducing substances, increased soil microorganism activity, contents of soil available nutrients and rice yield.

Key words: Cold waterlogged paddy field; Soil amendments; Soil properties; Rice growth; Rice yield