

酸性硫酸盐土壤改良对不同品种水稻生育性状的影响

黄旭, 唐拴虎, 杨少海, 黄巧义, 李苹, 付弘婷, 易琼

(广东省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部南方植物营养与肥料重点实验室/
广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:以珠三角地区主栽的15个常规稻品种为材料,通过盆栽试验,采用双因素完全随机设计,研究酸性硫酸盐土壤(acid sulphate soils,简称ASS)改良前后不同品种水稻产量及其构成因素、分蘖动态、干物质累积量及根系活力等。结果表明,ASS对水稻产生不同程度的胁迫,未改良土壤水稻前期分蘖缓慢,生育期推迟,干物质累积量、有效穗数及穗实粒数均显著降低,最终导致产量大幅下降,且晚稻表现比早稻更为严重。施用碱性改良剂可有效改善水稻生长环境,提高水稻产量,早稻改良后可增产20.4%~780.2%,晚稻改良后增产达167.5%~2651.5%。不同品种水稻生育性状结果表明,玉香油占、台秀占、粤晶丝苗2号及合丰占等属于耐酸性品种,在土壤未改良条件下生长情况相对其他品种更佳;黄软占、粤综占及粤华丝苗等属于酸敏感性品种,土壤改良后产量相对较高。

关键词:酸性硫酸盐土壤;水稻;品种

中图分类号:S156.6;S511

文献标识码:A

文章编号:1673-6257(2015)06-0048-09

酸性硫酸盐土壤(acid sulphate soil,简称ASS)是热带、亚热带沿海三角洲平原和低纬度海岸带的一种强障碍性的土壤,其母质为富含还原态硫化物矿物(硫化铁为主)的沉积物,在接触氧气后,还原态硫化铁类矿物发生氧化反应,形成多种形态硫、铁矿物,并产生硫酸、 H^+ ,最终形成酸性极强、生长障碍因素多及生态危害大的土壤^[1-3]。该类型土壤中铁、铝、锰等元素活性较高,开垦利用后植物易出现毒害及缺磷等症状,对其生长产生严重障碍^[4]。我国有11.2万 hm^2 的酸性硫酸盐土,围垦种植水稻的产量一直处于较低水平,如能提高其土地产出率,对缓解粮食安全问题大有帮助。近年来,许多学者对于酸性硫酸盐土的分布、发生、化学特性及改良技术等均作了相关研究^[5-8]。水稻对酸性土的主要障碍因子铝、铁等的耐性机制也获得了很大的进展^[9-11],亦有一些学者开展了不同水稻品种间耐铝性差异,如采用全营养液水培检测方法和简单钙液水培检测方法,分别以

相对根长和相对根伸长量为指标,测定了耐铝品种和铝敏感品种的耐铝性^[12],或通过营养液条件定位水稻耐铝的数量性状基因座(quantitative trait locus, QTL)等^[13-16]。然而,由于土壤环境比较复杂,ASS障碍性因子众多,各因素间相互影响,土培条件下不同品种水稻在ASS上的耐受性及酸性改良效果等研究仍比较缺乏。本文尝试从比较ASS上不同品种水稻耐性出发,选取15个华南地区种植面积较广的常规稻品种开展试验,探讨在ASS上通过酸性改良措施前后不同品种的生长表现,以获得其耐性结果,为进一步在ASS上水稻生产提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

于2012年2月至11月在广东省农业科学院农业资源与环境研究所网室内开展盆栽试验,试验用土壤采集于广东省台山市冲蒺镇齐洛村,为典型酸性硫酸盐土壤,产量不足1.5 t/hm^2 。采样方法按耕层(0~15 cm)及亚耕层(15~30 cm)分别采集,采集土壤经风干,过3 mm筛,用于种植水稻。供试土壤基本化学性质见表1。试验用塑料盆口径30 cm,盆底钻1 mm口径孔,每盆模拟田间土壤,按0~15及15~30 cm模拟田间土壤分布,装入耕层及亚耕层土壤各6 kg。

收稿日期:2014-09-22;最后修订日期:2014-12-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201003016);广东省科技计划项目(2012A020100004)。

作者简介:黄旭(1981-),男,广西合浦人,硕士,助理研究员,主要从事植物营养与作物高效施肥研究。E-mail: amateurhx@163.com。

表 1 供试土壤基本性质

	pH 值	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (P mg/kg)	速效钾 (K mg/kg)	交换性酸 (cmol/kg)	有效铁 (mg/kg)	交换性铝 (cmol/kg)
耕层	3.8	51.2	280.6	5.8	177.7	7.8	300.5	7.4
亚耕层	3.3	34.9	148.1	3.3	63.6	9.9	219.1	9.1

供试水稻品种由广东省农业科学院水稻研究所及台山市农业科学研究所提供，分别为：广盐 1 号 (GY1)、黄软占 (HYZ)、粤晶丝苗 2 号 (YJ2)、粤奇丝苗 (YQS)、合美占 (HMZ)、粤华丝苗 (YHS)、黄华占 (HHZ)、合丰占 (HFZ)、粤综占 (YZZ)、玉香油占 (YXY)、美油占 (MYZ)、新宁丝苗 (XNS)、华秀占 (HXZ)、齐丰占 (QFZ)、台秀占 (TXZ)。

试验肥料：水稻配方专用肥 (20-8-16)。

试验用酸性土壤改良剂为石灰 (pH 值为 12)。

1.2 试验设计

采用双因素完全随机设计，设置土壤改良及不同品种常规稻两因素，土壤改良因素包括无酸性改良措施 (NC) 及有酸性改良措施 (施用石灰，SC) 共 2 个处理，不同品种水稻因素包括 15 个不同的常规稻处理，每处理均设置 8 次重复。秧苗于两叶一心时移栽，每盆栽植 4 穴，呈方形分布，每穴栽植两苗。试验每盆总养分用量 N 1.60 g、P₂O₅ 0.64 g、K₂O 1.28 g，土壤改良剂用量 100 g。肥料按基肥、返青肥及分蘖肥 3 次施用，用肥量分别占总用量的 50%、15% 及 35%。其中土壤改良剂与基肥均于移栽前与 0~15 cm 土层土壤混匀施入，返青肥于移栽后 7 d 撒施于土表，分蘖肥于移栽后 25 d 撒施于土表。

早稻播种日期为 2 月 24 日，插秧日期为 3 月 21 日，于 7 月 20 日开始收获。晚稻播种日期为 7 月 23 日，插秧日期为 8 月 11 日，于 11 月 25 日开始收获。早、晚稻均采用新土种植。

1.3 样品采集与分析方法

分蘖动态：早稻移栽后 15 d 起开始记录分蘖数，每 5 d 记录一次，至分蘖峰值时止。

干物质累积：早稻移栽后 35 d (分蘖盛期)、65 d (幼穗分化期) 及 105 d (收获期) 分别采集水稻植株用于生物量累积测定，采集方法为：将整个植株从盆钵中取出，使植株与土壤脱离，用不锈钢剪刀将根系和地上部分开，地上部直接装入纸

袋，105 ℃ 杀青 20 min，70 ℃ 烘干。新鲜根系用自来水冲洗，将根系与粘在根上的土壤分离，用吸水纸吸干水分再杀青，并烘干。将烘干的根系和地上部取出，称量干重。

生理指标：选取分蘖盛期干物质累积量居中的 4 个品种 (广盐 1 号、粤综占、美油占及新宁丝苗) 测定植株伤流量以及氨基酸-N 含量，于分蘖盛期及幼穗分化期共测定两次。17:00 在离土面 10 cm 处剪去地上部，套上已称重内装脱脂棉花的塑料袋，于第二天 8:00 收集伤流液称重。吸取收集的伤流液，采用茚三酮法测定伤流液中氨基酸-N 含量，并依据伤流量计算氨基酸-N 输出强度。

产量及产量结构：所有品种按盆每处理取 4 重复称产，另取 4 重复穗样用于穗实粒数、千粒重、结实率等产量构成因素分析。

收获期土壤化学性质：水稻收获后，用不锈钢钻采集水稻耕层土壤 (0~15 cm)，制样后检测其 pH (电位法)、有机质 (高温外加热重铬酸钾氧化-容量法)、碱解氮 (碱解扩散法)、有效磷 (盐酸-氟化铵法)、速效钾 (乙酸铵提取法)、交换性酸 (氯化钾交换-中和滴定法)、有效铁 (盐酸溶液浸提-原子吸收分光光度计法) 及交换性铝 (氯化钾交换-中和滴定法) 含量。

1.4 数据统计方法

试验结果应用 Microsoft excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行统计分析，LSD 法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 酸性土壤改良对水稻产量及产量构成因素的影响

对试验结果进行双因素方差分析，结果显示，有无酸性改良措施处理间产量差异达显著水平，不同品种处理间产量亦有显著差异，然而改良措施与不同品种处理间交互作用不显著。表 2、表 3 结果表明，早稻改良后较改良前可增产 20.4%~780.2%，晚稻改良后可增产 167.5%~2 651.5%。增产幅度较大缘于未

表 2 酸性土壤改良对早稻产量及产量构成因素的影响

品种	改良土壤				未改良土壤			
	产量 (g/盆)	有效穗数(穗/株)	千粒重 (g)	穗实粒数(粒/穗)	结实率 (%)	产量 (g/盆)	有效穗数(穗/株)	千粒重 (g)
新宁丝苗 XNS	33.8 ± 2.2g	6.7 ± 0.8cde	15.4 ± 0.1ef	75.4 ± 0.3def	77.0 ± 2.3abcd	19.4 ± 1.1efg	6.3 ± 0.3abcd	15.5 ± 0.4cde
齐丰占 QFZ	34.3 ± 3.0g	10.7 ± 0.8a	14.5 ± 0.1fg	68.3 ± 5.9f	66.6 ± 6.9cdef	20.2 ± 1.5efg	5.7 ± 0.3bcd	14.5 ± 0.3ef
黄软占 HYZ	85.6 ± 2.3a	9.0 ± 0.5abc	15.9 ± 0.2de	136.6 ± 9.1b	75.0 ± 3.2abcde	9.7 ± 0.1i	4.0 ± 0.0d	16.1 ± 0.8bcd
华秀占 HXZ	39.4 ± 3.1fg	5.7 ± 0.3de	14.1 ± 0.2g	87.1 ± 0.4cdef	71.0 ± 2.2abcde	17.2 ± 0.3fgh	4.0 ± 0.0d	14.9 ± 0.1de
粤晶丝苗 2 号 YJ2	53.0 ± 3.8c	7.0 ± 0.9bcde	16.5 ± 0.1cd	100.6 ± 4.5cd	66.2 ± 5.4def	42.1 ± 2.5ab	6.5 ± 0.0abc	16.7 ± 0.3bc
广盐 1 号 GY1	43.6 ± 2.5ef	5.7 ± 0.8de	17.1 ± 0.1bc	86.3 ± 4.5cdef	55.2 ± 0.5f	28.8 ± 0.3d	5.3 ± 0.8cd	17.1 ± 0.3b
粤奇丝苗 YQS	46.5 ± 1.6cde	8.7 ± 0.3abc	18.5 ± 0.2a	98.0 ± 12.0cde	75.3 ± 7.7abcde	22.5 ± 1.0ef	6.7 ± 0.6abc	17.3 ± 0.3b
合美占 HMZ	44.6 ± 2.4def	8.0 ± 1.5abcd	15.0 ± 0.3fg	72.6 ± 5.5ef	74.2 ± 1.0abcde	13.3 ± 0.3hi	5.3 ± 0.8cd	13.5 ± 0.2f
粤华丝苗 YHS	51.4 ± 2.5cd	7.3 ± 0.6bcde	17.5 ± 0.4b	90.9 ± 4.2cdef	74.8 ± 2.3abcde	15.9 ± 1.5gh	5.0 ± 0.0cd	16.8 ± 0.1bc
黄华占 HUZ	47.3 ± 0.9cde	7.0 ± 1.0bcde	16.1 ± 0.3de	89.2 ± 10.6cdef	79.8 ± 2.9abc	21.4 ± 0.5ef	5.7 ± 0.3bcd	15.7 ± 0.1cde
合丰占 HFZ	49.5 ± 3.2cde	5.0 ± 0.5e	16.5 ± 0.1cd	164.4 ± 15.5a	84.0 ± 3.0a	38.0 ± 2.4bc	4.3 ± 0.3d	17.2 ± 0.4b
粤综占 YZZ	59.9 ± 1.7b	9.7 ± 0.8ab	19.0 ± 0.3a	95.8 ± 3.6cde	69.8 ± 4.4bcde	28.8 ± 0.5d	7.3 ± 0.6ab	19.4 ± 0.3a
玉香油占 YXY	52.9 ± 2.3c	8.7 ± 1.3abc	19.2 ± 0.3a	99.4 ± 5.8cde	81.4 ± 2.9ab	43.9 ± 2.1a	7.0 ± 0.0abc	19.7 ± 0.2a
台秀占 TXZ	48.0 ± 2.2cde	10.7 ± 0.3a	14.1 ± 0.4g	85.6 ± 2.7cdef	68.4 ± 3.1bcde	34.3 ± 1.2c	8.3 ± 1.8a	13.4 ± 0.1f
美油占 MYZ	50.6 ± 2.8cde	9.7 ± 1.8ab	16.2 ± 0.4cde	103.0 ± 4.4c	62.2 ± 2.2ef	23.1 ± 2.0e	6.3 ± 0.8abcd	16.4 ± 0.5bc

注：表中数据为平均值 ± 标准误，同列数据后不同字母表示不同处理间差异达 5% 显著水平，表 3 同。

表 3 酸性土壤改良对晚稻产量及产量构成因素的影响

品种	改良土壤				未改良土壤			
	产量 (g/盆)	有效穗数(穗/株)	千粒重 (g)	穗实粒数(粒/穗)	结实率 (%)	产量 (g/盆)	有效穗数(穗/株)	千粒重 (g)
新宁丝苗 XNS	37.6 ± 3.3abcd	8.0 ± 0.5ab	16.5 ± 0.4e	67.9 ± 5.8cdef	55.1 ± 1.1def	5.0 ± 0.8efg	3.7 ± 0.6abcde	16.9 ± 0.7ef
齐丰占 QFZ	37.2 ± 5.3abcd	6.7 ± 0.6abcd	17.3 ± 0.1e	69.8 ± 0.9cdef	72.3 ± 1.6abc	9.7 ± 0.8abc	4.3 ± 0.3abc	17.0 ± 0.1ef
黄软占 HYZ	48.6 ± 2.7a	7.0 ± 0.5abc	20.3 ± 0.5bc	91.8 ± 3.6abc	70.0 ± 2.2abc	5.7 ± 0.7def	5.3 ± 0.3a	18.4 ± 0.5cdef
华秀占 HXZ	31.0 ± 3.7bcde	6.7 ± 0.3abcd	19.4 ± 0.2cd	70.3 ± 0.3cdef	55.0 ± 0.9def	11.6 ± 1.0a	5.3 ± 1.3a	19.1 ± 0.6bcde
粤晶丝苗 2 号 YJ2	34.7 ± 1.9abcd	5.0 ± 0.5cde	21.5 ± 0.3b	89.7 ± 6.4abcd	61.4 ± 6.2bcd	8.7 ± 0.4abcd	2.7 ± 0.6bcde	21.3 ± 1.2ab
广盐 1 号 GY1	23.0 ± 1.8de	6.0 ± 0.0bcde	18.8 ± 0.0d	40.5 ± 1.6gh	47.4 ± 5.0ef	4.3 ± 0.5fgh	1.7 ± 0.3e	18.2 ± 0.6def
粤奇丝苗 YQS	24.9 ± 1.9cde	5.0 ± 0.5cde	20.6 ± 0.4b	65.4 ± 3.5def	73.0 ± 3.7ab	5.9 ± 1.6def	2.3 ± 0.3cde	17.3 ± 0.6def
合美占 HMZ	32.6 ± 4.1bcd	5.7 ± 0.6bcde	18.9 ± 0.3d	66.0 ± 7.0def	74.4 ± 2.5ab	8.2 ± 1.4bcde	2.3 ± 0.6cde	19.0 ± 0.3bcdef
粤华丝苗 YHS	36.3 ± 1.1abcd	5.3 ± 0.3cde	21.0 ± 0.0b	80.7 ± 11.3abcde	81.8 ± 4.1a	2.4 ± 0.4gh	3.3 ± 0.3abcde	18.5 ± 0.1bcdef
黄华占 HUZ	41.5 ± 6.4ab	6.3 ± 0.3abcd	22.8 ± 0.2a	96.1 ± 2.0ab	67.9 ± 5.0bc	7.0 ± 0.7cdef	4.0 ± 0.9abcd	21.2 ± 1.2abc
合丰占 HFZ	32.3 ± 5.9bcd	3.7 ± 0.3e	20.6 ± 0.5b	102.1 ± 10.8a	59.7 ± 5.0cde	11.0 ± 0.6ab	2.0 ± 0.5de	20.1 ± 0.8abcd
粤综占 YZZ	20.2 ± 0.9e	4.3 ± 0.8de	22.6 ± 0.1a	37.8 ± 3.7h	42.6 ± 1.4f	4.7 ± 0.1fg	3.0 ± 0.5bcde	22.1 ± 1.0a
玉香油占 YXY	35.2 ± 4.3abcd	7.0 ± 1.3abc	21.3 ± 0.4b	74.6 ± 10.0cdef	67.1 ± 3.6bcd	4.6 ± 0.1fg	2.7 ± 0.3bcde	22.2 ± 0.2a
台秀占 TXZ	39.0 ± 5.4abc	8.7 ± 1.3a	16.3 ± 0.1e	61.4 ± 7.4efg	67.9 ± 4.7bc	11.0 ± 1.3ab	4.7 ± 0.6ab	16.1 ± 0.1f
美油占 MYZ	41.0 ± 0.9ab	5.3 ± 0.3cde	18.8 ± 0.7d	51.1 ± 5.8fgh	46.5 ± 2.1f	1.5 ± 0.2h	1.7 ± 0.6e	17.3 ± 0.7def

改良处理水稻前期生长普遍受抑制,分蘖数较少,至收获期其产量构成因素亦相对有不同幅度降低。不同品种间,改良后处理黄软占产量最高,早、晚稻分别为 85.6 及 48.6 g/盆,其余品种早、晚稻间表现不一致,粤综占改良后晚稻产量最低,仅为 20.2 g/盆,但早稻产量仅次于黄软占,新宁丝苗早稻产量最低,仅为 33.8 g/盆,但晚稻产量与黄软占间差异未达显著水平,除新宁丝苗和齐丰占外,其余品种晚稻产量水平显著低于早稻。土壤不改良处理晚稻受胁迫极为严重,不同品种产量仅为 1.5~11.6 g/盆,华秀占的产量最高,美油占的产量最低;土壤不改良处理早稻以玉香油占产量最高,其次为粤晶丝苗 2 号,产量分别为 43.9 及 42.1 g/盆,黄软占的产量最低,仅为 9.7 g/盆。

从产量构成因素结果比较可知,土壤改良前后水稻千粒重无显著差异,改良后有效穗数及穗实粒数较改良前有显著提高,尤以晚稻表现趋势更为明显。土壤改良后水稻穗实粒数以大穗型品种合丰占最高,早、晚稻分别为 164.4 及 102.1 粒,其次为黄软占品种;千粒重以粤综占最高,早、晚稻分别为 19.0 及 22.6 g,其次为玉香油占品种,各品种早稻千粒重均低于晚稻,说明晚稻灌浆充实度相对较高;有效穗数以台秀占最高,早、晚稻分别为 10.7 及 8.7 穗/株,其次为齐丰

占品种,合丰占的有效穗数最少;结实率以粤华丝苗品种表现较稳定,早、晚稻分别为 74.8%、81.8%,其平均值高于其他品种,广盐 1 号结实率最低。土壤不改良处理千粒重与改良后处理趋势一致,但穗实粒数、有效穗数及结实率表现有所不同,其中黄软占品种的有效穗数及穗实粒数相对较低,表明其受胁迫程度最严重,而早稻玉香油占、粤晶丝苗 2 号、台秀占及合丰占品种的有效穗数及穗实粒数均处于相对较高水平,说明其耐性较强。

2.2 酸性土壤改良对早稻干物质质量累积的影响

随水稻生育时间推移,从分蘖盛期至幼穗分化期至成熟期水稻植株干物质质量表现趋势一致,均呈逐渐增加态势(图 1 及图 2)。图 1 结果表明,各时期土壤改良后植株地上部干物质质量显著高于改良前,其中分蘖期可增加 50.5%~218.4%,幼穗分化期可增加 126.2%~350.9%,成熟期可增加 134.0%~921.8%,其中以广盐 1 号的增幅最高,其次为合美占及粤晶丝苗 2 号,华秀占的增幅最低。土壤改良处理中,分蘖期黄软占的地上部干物质质量高于其他品种,至幼穗分化期则以粤华丝苗最高,成熟期以黄软占最高,而华秀占的地上部干物质质量则始终处于最低水平。土壤未改良处理中,分蘖期粤华丝苗的地上部干物质质量最高,至幼穗分化

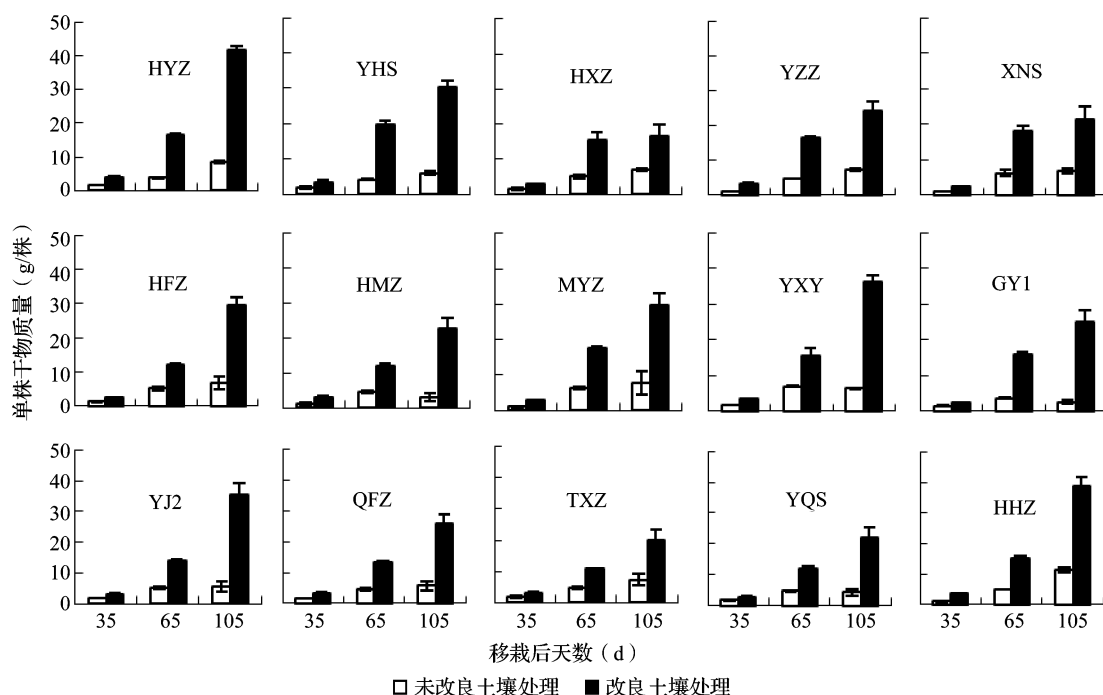


图 1 不同品种水稻地上部干物质质量累积特征

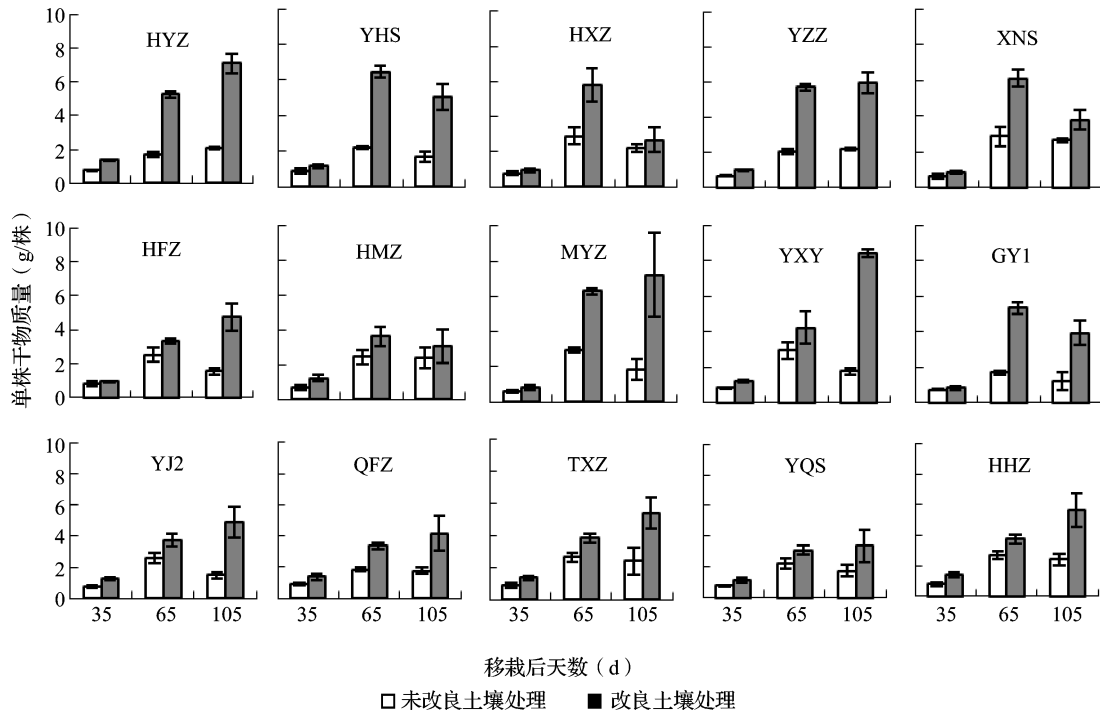


图2 不同品种水稻根系干物质质量累积特征

期以玉香油占最高,成熟期以黄华占的地上部干物质质量最高,而广盐1号及合美占的干物质质量则处于最低水平。

土壤改良前后植株根系干物质质量表现趋势与地上部有所不同,图2显示,各时期土壤改良后植株根系干物质质量亦显著高于改良前,分蘖期根系干物质质量可增加12.6%~83.6%,幼穗分化期可增加32.0%~214.8%,成熟期可增加21.1%~376.3%,其中成熟期以玉香油占的增幅最高,其次为美油占及黄软占,华秀占的增幅最低。土壤改良处理中,分蘖期黄华占的根系干物质质量最高,至幼穗分化期则以粤华丝苗最高,成熟期以玉香油占的根系干物质质量最高,而华秀占成熟期根系干物质质量则处于最低水平。土壤未改良处理中,分蘖期各处理间根系干物质质量差异不显著,至幼穗分化期则以玉香油占及美油占最高,成熟期以新宁丝苗的根系干物质质量最高,广盐1号及粤晶丝苗2号的根系干物质质量则始终处于最低水平。

2.3 酸性土壤改良对早稻分蘖动态的影响

由图3可见,土壤改良前后水稻分蘖数变化趋势差异较大,未改良处理的水稻生长明显受抑制,移栽后0~25 d阶段分蘖数增加极缓慢,移栽后25 d开始迅速增加,至35 d后始达到分蘖高峰,由于后期分蘖多难以形成有效穗,导致未改

良处理水稻成穗率及穗粒数相对较低;土壤改良处理的水稻在移栽后0~15 d阶段分蘖呈迅速增加态势,15~25 d阶段增长速度放缓,部分品种于25~30 d阶段分蘖出现较大幅度增长,到30 d时基本达到分蘖高峰。不同品种间,分蘖力较弱的合丰占、华秀占、广盐1号品种土壤未改良处理受胁迫最为严重,前期几乎无法分蘖,相对的土壤改良处理前期分蘖增加较快;分蘖力较强的黄软占、齐丰占、台秀占、美油占、粤综占品种在中期(改良后处理为移栽后25~30 d,改良前处理为移栽后30~35 d)分蘖出现大幅增加,改良后处理分蘖峰值达到10.4~11.9茎/株,改良前处理分蘖峰值则为4.5~8.8茎/株。说明ASS障碍性较强,对水稻生育前期分蘖形成严重胁迫,对于分蘖力弱的品种影响尤为严重。

2.4 酸性土壤改良对早稻根系活力的影响

2.4.1 酸性土壤改良对早稻根系伤流强度的影响

图4结果表明,随水稻生育时期推移,根系伤流强度呈下降趋势,各处理幼穗分化期伤流强度均较分蘖盛期有所降低。分蘖盛期土壤改良后各品种的单茎伤流强度均高于未改良处理,其中广盐1号及粤综占品种的差异达显著水平,而幼穗分化期的结果则正好相反,改良前处理各品种单茎伤流强度均高于改良后处理,这主要是由于一方面ASS胁迫

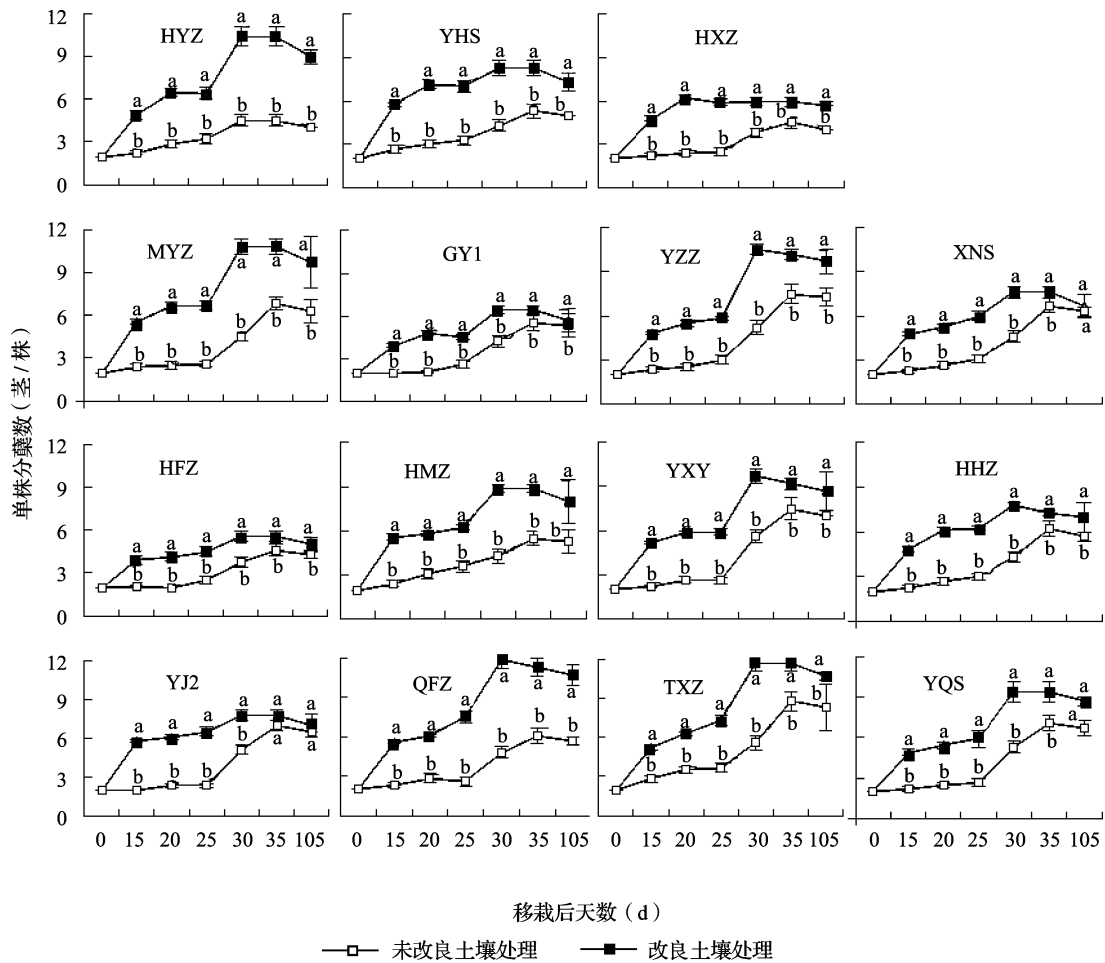


图3 土壤改良前后不同品种水稻分蘖动态

注：图中不同小写字母表示同一时期不同处理间差异达5%显著水平。下同。

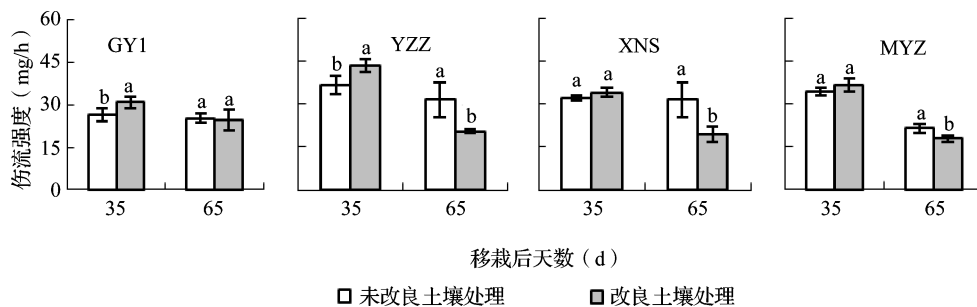


图4 ASS改良对水稻伤流强度的影响

下延缓了水稻的生长,使水稻的各生育期推迟,另一方面改良后处理的水稻分蘖数均高于未改良处理,一些次级分蘖茎秆较小亦减弱了单茎伤流输出强度。

2.4.2 酸性土壤改良对早稻根系氨基酸-N输出强度的影响

图5结果显示,土壤改良后处理随水稻生育时

期推移,根系氨基酸-N输出强度呈下降趋势,而未改良处理表现则相反,幼穗分化期氨基酸-N输出强度显著高于分蘖期,表明土壤未改良处理由于分蘖较少,保持了相对较高的有效分蘖,且生育期延迟,移栽后65 d时根系仍合成大量氨基酸以供应地上部生长,而土壤改良后处理由于弱势茎数相对较多,降低了其单茎氨基酸-N输出强度。

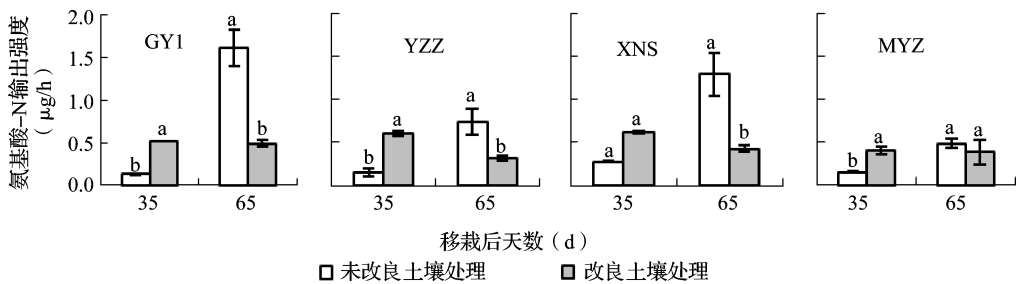


图5 ASS改良对水稻根系氨基酸-N输出强度的影响

2.5 酸性土壤改良对土壤化学性状的影响

表4结果显示,早、晚稻酸性土壤改良后收获期较未改良处理pH值大幅升高,有效磷含量增加了123.2%~178.3%,交换性酸含量降低了40.0%~50.6%,有效铁含量降低了30.5%~50.9%,交换性铝含量降低了43.3%~52.1%,差异均达显著水平,其中以早稻的改良效果最佳。这

可能是由于一方面早稻生育前期气温较低,水稻生长缓慢,分蘖受影响较大。另一方面,晚稻有效磷测定时温度较早稻低亦影响土壤结果值。改良处理的收获期土壤碱解氮、速效钾含量有所减少,其中早稻速效钾含量显著降低,这是由于改良处理的水稻生物量相对较高,植株养分吸收量更多,从而带走了更多的土壤养分。

表4 酸性土壤改良对土壤化学性质的影响

			pH 值	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (P mg/kg)	速效钾 (K mg/kg)	交换性酸 (cmol/kg)	有效铁 (Fe mg/kg)	交换性铝 (cmol/kg)
试验前耕层土			3.8±0.0b	280.6±7.5a	5.8±0.5d	177.7±10.0a	7.8±0.2a	300.5±12.5a	7.4±0.2a
试验 收获 期耕 层土	改良 土壤	早稻	4.6±0.1a	269.4±7.2a	25.6±4.3a	159.6±17.8b	3.8±0.4b	158.2±20.4c	3.5±0.4b
		晚稻	4.5±0.0a	262.0±16.0a	15.4±1.4b	167.6±15.1ab	4.5±0.2b	213.2±15.7b	4.2±0.2b
	未改良 土壤	早稻	3.8±0.1b	282.8±13.7a	9.2±2.7c	173.9±13.2a	7.7±0.7a	322.3±21.0a	7.3±0.7a
		晚稻	3.8±0.1b	274.0±16.1a	6.9±1.6d	186.4±18.1a	7.5±0.7a	306.7±19.7a	7.4±0.6a

注:表中同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平。

3 讨论

本研究试验前土壤分析结果显示,ASS酸性较强,有效磷含量极低,活性铁及交换性铝含量极高。有研究表明,酸性土壤条件下的低pH环境,使得 Al^{3+} 和 Fe^{2+} 以可溶性离子状态存在,导致水稻生长遭受铝毒和铁毒的危害,使根系遭受损伤,最终导致水稻产量下降^[17]。本试验中,不同品种水稻通过酸性土壤改良均获得了较佳增产效果,提高了其有效穗数及穗实粒数。试验收获期的土壤分析结果显示,通过中和土壤中 H^+ 离子,降低耕层土壤酸度,可减少土壤中的活性铁、铝含量,大幅提高土壤磷的有效性,从而改善水稻生长环境,这与前人的研究结果一致^[18-19]。根据全国第二次土壤普查的分级标准,本试验土壤改良前属强酸性级别土壤,改良后早、晚稻pH值提高了0.8及0.7个单位,属于酸性级别土壤。有研究结果表明,强酸

性土壤严重限制水稻生长,酸性级别土壤水稻平均产量显著高于前者,但其土壤质量亦未达到高产水稻要求^[20-21]。在实际生产中,由于长期大量施用碱性改良剂易累积盐分,从而造成土壤板结,并引起土壤中钙、镁、钾等元素的平衡失调而导致作物的减产^[22],因此需根据ASS障碍程度适量施用碱性改良剂,还可配施钙、镁、磷肥及有机肥等进行改良。钙、镁、磷肥通过直接补充土壤中磷素,为水稻生长提供稳定磷源,降低磷缺乏对水稻的胁迫^[23];施用有机肥能显著降低土壤中交换性铝的浓度,且在土壤中可形成一个相互转化的缓冲体系,调节和稳定了土壤pH值,从而减缓土壤酸度的急剧变化^[22,24]。

本研究中,随水稻生育时期推移,根系伤流强度呈下降趋势,各处理幼穗分化期伤流强度均较分蘖盛期有所降低。改良后处理氨基酸-N输出强度亦呈下降态势,但未改良处理氨基酸-N输出强度

则出现大幅上涨,说明酸胁迫抑制水稻前期生长,降低了根系对氮素的吸收、转化和运输能力^[25-26],使其生育期出现延后现象。此外,本研究中各时期土壤改良后植株干物质质量显著高于改良前,且随水稻生育时间推移,干物质累积量差距逐渐拉大,其中新宁丝苗、广盐1号及合美占的增幅较高。说明酸性土壤改良处理提高了光合产物在营养器官中的累积量,以及开花后向籽粒转运分配的比率,并直接影响其粒重和产量。相关研究^[27]亦表明,水稻开花前合成的同化物约3%~30%转运到籽粒,但不同作物类型、不同生长环境条件下同化物转运量有很大差异。

试验中土壤改良前后早稻产量普遍高于晚稻,说明气候因素对水稻耐酸性亦有一定影响,尤其是晚稻未改良土壤处理,各品种生长均受到严重抑制,较改良后处理减产62.6%~96.4%。其原因可能为:虽然晚稻栽植时气温较高,但幼穗分化期后气温逐渐降低,而酸胁迫又抑制水稻生长使其生育期延后,导致后期水稻成穗率、穗实粒数及结实率大幅下降。相较而言,早稻全生育期时间更长,虽然前期酸胁迫使其分蘖速度减慢,但后期气温升高,有利于其提高成穗率及穗实粒数。在未改良土壤处理中,早稻以玉香油占品种产量最高,粤晶丝苗2号、合丰占及台秀占亦表现出较强的抗性;晚稻则以华秀占、合丰占及台秀占的产量最高。

4 结论

试验表明,ASS对水稻产生明显胁迫,未改良土壤处理前期分蘖缓慢,生育期推迟,干物质累积量下降,有效穗数及穗实粒数减少,最终导致产量大幅降低,且晚稻表现比早稻更为严重。施用一定量碱性改良剂可有效改善水稻生长环境,提高水稻产量。

试验表明,玉香油占、台秀占、粤晶丝苗2号及合丰占属于耐酸性品种,在土壤未改良条件下生长情况相对更佳;黄软占、粤综占及粤华丝苗属于酸敏感性品种,土壤改良后产量相对较高。

参考文献:

- [1] Fanning D S, Rabenhorst M C, Balduff D M, et al. An acid sulfate perspective on landscape seascape soil mineralogy in the U. S. Mid - Atlantic region [J]. *Geoderma*, 2010, 154: 457 - 464.
- [2] Boman A, Frojdo S, Backlund K, et al. Impact of isostatic

- land uplift and artificial drainage on oxidation of brackish - water sediments rich in metastable iron sulfidomain [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2010, 74: 1268 - 1281.
- [3] Le T M H, Collins R N, Waite T D. Influence of metal ions and pH on the hydraulic properties of potential acid sulfate soils [J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 356: 261 - 270.
- [4] 章家恩, 骆世明, 王建武. 酸性硫酸盐土研究现状与发展趋向 [J]. *热带亚热带土壤科学*, 1998, 7 (4): 309 - 313.
- [5] 王建武. 酸性硫酸盐土的环境影响及其防治 [J]. *热带亚热带土壤科学*, 1998, 7 (4): 314 - 318.
- [6] 林初夏, 吴志峰. 酸性硫酸盐土的酸度类型及其测定方法 [J]. *生态环境*, 2003, 12 (4): 505 - 507.
- [7] 刘振乾, 王建武, 骆世明, 等. 几种利用方式下酸性硫酸盐土的环境风险及其连锁效应 [J]. *农业环境保护*, 2002, 21 (3): 211 - 214.
- [8] 臧小平, 张承林, 孙光明, 等. 酸性硫酸盐土壤上施用磷矿粉对水稻养分有效性的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9 (2): 203 - 207.
- [9] Ma J F, Shen R F, Zhao Z Q, et al. Response of rice to Al stress and identification of quantitative trait loci for Al tolerance [J]. *Plant Cell Physiol*, 2002, 43: 652 - 659.
- [10] Chen R F, Shen R F. Root phosphate exudation and pH shift in the rhizosphere are not responsible for a luminum resistance in rice [J]. *Acta Physiol Plant*, 2008, 30: 817 - 824.
- [11] Yang J L, Li Y Y, Zhang Y J, et al. Cell wall polysaccharides are specifically involved in the exclusion of aluminum from the rice root apex [J]. *Plant Physiol*, 2008, 146: 602 - 611.
- [12] 薛永, 江玲, 张文伟, 等. 利用重组自交系群体检测水稻耐铝毒数量性状基因座 [J]. *作物学报*, 2005, 31 (5): 560 - 564.
- [13] Mao C Z, Yang L, Zheng B S, et al. Comparative mapping of QTLs for Al tolerance in rice and identification of positional Al - induced genes [J]. *Journal of Zhejiang University Science*, 2004, 5 (6): 634 - 643.
- [14] Nguyen V T, Nguyen B D, Sarkarung S, et al. Mapping of genes controlling aluminum tolerance in rice: Comparison of different genetic backgrounds [J]. *Molecular Genetics and Genomics*, 2002, 267: 772 - 780.
- [15] Xue Y, Jiang L, Su N, et al. The genetic basic and fine - mapping of a stable quantitative - trait loci for aluminium tolerance in rice [J]. *Planta*, 2007, 227: 255 - 262.
- [16] Ma J F. Plant root responses to three abundant soil minerals: silicon, aluminum and iron [J]. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 2005, 24 (4): 267 - 281.
- [17] Abdelbagi M I, Sigrid H, Michael J T, et al. Genetic and genomic approaches to develop rice germplasm for problem soils [J]. *Plant Molecular Biology*, 2007, 65: 547 - 570.
- [18] 易杰祥, 吕亮雪, 刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究 [J]. *华南农业大学学报*, 2006, (1): 25 - 28.
- [19] 陈琼贤, 彭志平. 施用营养型土壤改良剂对水稻产量和土壤肥力的效应 [J]. *土壤与环境*, 2002, 11 (4): 373 - 375.

- [20] 解开治, 徐培智, 严超, 等. 不同土壤改良剂对南方酸性土壤的改良效果研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25 (20): 160–165.
- [21] 刘占军. 我国南方低产水稻土养分特征与质量评价 [D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [22] 曾招兵, 曾思坚, 刘一锋, 等. 1984 年以来广东水稻土 pH 变化趋势及影响因素 [J]. 土壤, 2014, 46 (4): 732–736.
- [23] 肖厚军, 王正银, 何佳芳, 等. 磷石膏改良强酸性黄壤的效应研究 [J]. 水土保持学报, 2008, 22 (6): 62–66.
- [24] Shen Q R, Shen Z G. Effects of pig manure and wheat straw on growth of mung bean seedlings grown in aluminum toxicity soil [J]. Bioresource Technology, 2001, 76: 235–240.
- [25] 王熹, 陶龙兴, 黄效林, 等. 灌溉稻田水稻旱作法研究——水稻的生育与生理特性 [J]. 中国农业科学, 2004, 37 (9): 1274–1281.
- [26] 丁玉川, 罗伟, 任小利, 等. 不同镁浓度对水稻根系生长及生理特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (3): 537–543.
- [27] 敖和军, 王淑红, 邹应斌, 等. 不同施肥水平下超级杂交稻对氮、磷、钾的吸收累积 [J]. 中国农业科学, 2008, 41 (10): 3123–3132.

Effects of acid sulphate soil improvement on growth characters of different varieties of rice

HUANG Xu, TANG Shuan-hu, YANG Shao-hai, HUANG Qiao-yi, LI Ping, FU Hong-ting, YI Qiong (Institute of Agricultural Resources and Environment, Guangdong Academy of Agricultural Science / Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer in South Region, Ministry of Agriculture/ Guangdong Key Laboratory of Nutrient Circling and Farmland Conservation, Guangzhou Guangdong 510640)

Abstract: 15 main conventional rice in the pearl river delta region were chosen as the rice seed material in pot experiment, double factors random blocks design was adopted to study the effects of acid sulphate soil (ASS) improvement on different varieties of rice seed's yield and its component, tillering dynamic, dry-matter production, root activity. The results showed that, the acid sulfate soil had obvious stress on rice. In non-improved soil treatments, tillering was slow, growth stages delayed, dry matter accumulation decreased, fertile panicle number and filled grain decreased, eventually leading to yield reduction. This was more serious on late rice than early rice. Certain amount of soil amendments effectively improved the rice growth environment, increased the yield of rice. The yield of early rice increased by 20.4% ~ 780.2% and late rice increased by 167.5% ~ 2 651.5%. Rice varieties of YXY, TXZ, YJ2 and HFZ belonged to the acid resistance varieties, their performances were better than the other varieties in unimproved soil conditions. HYZ, YZZ and YHS belonged to the acid sensitivity varieties, their yields were higher than the other varieties after soil improvement.

Key words: acid sulphate soil; rice; variety