

微/纳米气泡水对盐胁迫下水稻幼苗的影响

李丽芳, 许江环, 袁启东, 梁均业, 何梓峰, 谢平*, 周鸿凯 (广东海洋大学滨海农业学院, 广东湛江 524088)

摘要 为探究微/纳米气泡水增氧对盐胁迫下水稻幼苗生长的影响, 以 9311(模式种)和 JX99(较耐盐)为供试材料, 用 Yoshida 营养液+蒸馏水与 Yoshida 营养液+微/纳米气泡水培育水稻幼苗, 再进行 0.6% NaCl 盐胁迫与无盐胁迫处理, 测定水稻幼苗生长指标及生化指标。结果表明, 无盐胁迫下, 微/纳米气泡水增氧, 9311 水稻幼苗的根长、茎鲜重和茎基宽显著减小, 分别减少 24.87%、11.20%和 12.50%, JX99 的根长、叶片数显著增大, 分别增加 31.76%、21.88%, 2 个品种幼苗的丙二醛含量显著减小, 分别减少 41.19%、15.85%, 2 个品种的脯氨酸含量没有显著变化; 0.6% 盐胁迫下, 微/纳米气泡水增氧, 9311 水稻幼苗的根长、茎鲜重、根鲜重显著减小, 分别减少 45.16%、46.81%和 38.64%, JX99 的茎长、根长、茎鲜重、根鲜重显著减小, 分别减少 28.09%、35.67%、67.97%和 55.43%, 2 个品种幼苗的丙二醛显著增大, 分别增加 46.25%、36.11%, 2 个品种幼苗的脯氨酸含量显著增大, 分别增加 85.63%、131.64%。无盐胁迫时, 微/纳米气泡水减缓 2 个品种幼苗细胞膜质过氧化程度, 降低活性氧的伤害; 0.6% 盐胁迫下, 微/纳米气泡水加剧 2 个品种幼苗细胞膜质过氧化程度, 加剧活性氧的伤害, 渗透胁迫也加剧。

关键词 微/纳米气泡水; 增氧培育; 水稻幼苗; 盐胁迫

中图分类号 S511 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)20-0021-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.20.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Micro/nano Bubble Water on the Growth of Rice Seedlings under Salt Stress

LI Li-fang, XU Jiang-huan, YUAN Qi-dong et al (College of Coastal Agricultural Sciences, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088)

Abstract The research aimed to study the effects of micro/nano bubble water on the growth of rice seedlings under salt stress. With rice variety 9311 (model species) and JX99 (relatively salt-tolerant) as test materials, the rice seedlings liquid cultivation experiment was conducted with Yoshida nutrient solution + distilled water and Yoshida nutrient solution + micro / nano bubble water, then they were treated with 0.6% NaCl salt stress and no salt stress. The growth characters and physiological and biochemical indexes of rice seedlings were determined. Results showed that under salt free stress, the root length, stem fresh weight and stem base width of 9311 rice seedlings decreased significantly by 24.87%, 11.20% and 12.50%, the root length and leaf number of JX99 increased significantly by 31.76%, 21.88%, the malondialdehyde content of the two varieties decreased significantly by 41.19%, 15.85%, and the proline content of the two varieties did not change significantly; under 0.6% salt stress, the root length, stem fresh weight and root fresh weight of 9311 rice seedlings decreased significantly by 45.16%, 46.81% and 38.64%. The stem length, root length, stem fresh weight and root fresh weight of JX99 increased significantly by 28.09%, 35.67%, 67.97% and 55.43%, the malondialdehyde contents of the two varieties increased significantly by 46.25% and 36.11%, the proline content of the two varieties increased significantly by 85.63% and 131.64%. Under salt free stress, micro/nano bubble water slowed down the degree of membrane peroxidation and reduced the damage of reactive oxygen species; under 0.6% salt stress, micro/nano bubble water exacerbated the degree of membrane peroxidation and the damage of reactive oxygen species and osmotic stress.

Key words Micro-nano bubble water; Aerated culture; Rice seedling; Salt stress

目前, 土壤盐碱化越来越严重, 亚洲盐碱地面积约为 $2.9 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 中国盐渍土壤约有 3 333 万 hm^2 , 约占耕地面积的 10%^[1]。水稻是重要的粮食作物, 全世界近 1/2 的人口以稻米为主食, 中国以稻米为主粮的人约占总人口的 2/3, 水稻播种面积占粮食种植面积的 27% 左右^[2], 土壤盐碱化影响我国水稻种植, 也威胁粮食安全。盐胁迫会导致植物植株高度变矮、叶面积变小、分蘖减少, 从而降低光合效率^[1-2], 所以大多数植物不能生长在盐碱土壤上。水稻为不耐盐作物, 但科学家通过不懈努力, 培育出耐盐水稻品种。耐盐水稻可作为先锋作物, 修复与改良盐碱农田, 所以对耐盐水稻进行研究有重要意义^[3]。为了在盐碱土壤上种水稻, 前人在育种、土壤改良等方面做了多种研究, 结果表明添加某些试剂进行灌溉, 可以缓解盐胁迫下水稻的盐渍毒害作用^[4-6], 获得较好的收成。

微/纳米气泡水是近年日本开发的一项新技术, 通过特定装置使气体(根据需要可以是空气、 O_2 、 O_3 、 N_2 、 CO_2)以微米或纳米级直径的气泡溶解于水中, 形成的“溶液”为微/纳米气泡水。微米气泡的直径在 1~50 μm , 纳米气泡直径在 1 μm 以下, 两者统称为微/纳米气泡。微/纳米气泡粒径小、比表面积超大、气体溶解能力强, 能够提高气液之间的反应速度^[7], 微/纳米气泡水氧含量增加且气泡分布均匀, 保持时间较长, 可以增加水中生物体的活性。微/纳米气泡水的应用首先是在海水养殖上, 研究表明通过使用充氧微/纳米气泡水, 可以解决水体缺氧问题, 有效降低鱼类死亡率, 提高抵抗力^[7]。在作物栽培领域, 研究表明用微/纳米气泡水浸种可以提高发芽率, 进行灌溉可以提高农产品的产量与品质^[8-13]。

若给盐胁迫下水稻幼苗使用微/纳米气泡水增氧, 也可能提高水稻幼苗生理活性, 增加耐盐性。目前鲜见有关微/纳米气泡水增氧对盐胁迫下水稻幼苗生长影响的报道。鉴于此, 笔者选用 1 个模式水稻品种和 1 个耐盐水稻品种进行增氧和非增氧培育, 进行盐胁迫和非盐胁迫处理, 研究微/纳米气泡水增氧对水稻幼苗的影响, 探究缓解盐胁迫对水稻幼苗毒害的方法。

基金项目 广东省重点领域研发计划项目(2020B020219004); 广东省高等教育创新强校工程项目(GDOU2017052604); 广东海洋大学大学生创新创业训练计划项目(CXXL2019169)。

作者简介 李丽芳(1999—), 广东江门人, 女, 研究方向: 作物生态与环境。*通信作者, 副教授, 博士, 从事作物生态与环境研究。

收稿日期 2021-11-10; **修回日期** 2021-12-21

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试水稻品种为 9311 和 JX99,由广东海洋大学滨海农业学院提供。微/纳米气泡水使用禹创环境科技(济南)有限公司生产的纳米气泡发生装置(YC-MNB-Ⅲ-1)制作。

1.2 试验方法 试验共设 4 个处理:处理 1(T1)为 Yoshida 营养液+蒸馏水;处理 2(T2)为 Yoshida 营养液+微/纳米气泡水;处理 3(T3)为 0.6% NaCl+ Yoshida 营养液+蒸馏水;处理 4(T4):0.6% NaCl + Yoshida 营养液+微/纳米气泡水,每处理 3 次重复。

试验于 2020 年 9 月在广东海洋大学滨海农业学院 110 实验室进行。选取籽粒饱满、大小一致的种子,用 3%的过氧化氢溶液浸泡消毒 30 min,用蒸馏水反复冲洗后置于培育盆中催芽。种子露白,胚根大约长至 3 cm 时,播于水稻专用水培盆(每盆有 6 个小板,每一小板可种 96 株)中,萌发后用 Yoshida 营养液+蒸馏水或者 Yoshida 营养液+微/纳米气泡水培育,每 3 d 更换 1 次培育液,用 1.0 和 0.1 mol/L 的 H₂SO₄ 和 KOH 调节 pH 至 5.5~5.8,每盆使用 2 L 配置的混合液进行处理,在使用营养液培育 12 d 后,加 0.6% NaCl 处理 3 d 后取样、测定。

1.3 测定项目与方法 测定项目包括幼苗生长性状指标与生化指标,幼苗生长性状指标包括茎长、根长、茎鲜重、根鲜重、叶片数、茎基宽,生化指标有脯氨酸含量、丙二醛(MDA)

含量。每处理取 10 株幼苗测量幼苗生长性状指标,每处理取 6 张幼苗叶片,测量幼苗生化指标。茎长、根长用直尺测定;鲜重用天平称重;茎基宽采用数显卡尺(美耐特公司制造)测量;脯氨酸含量采用磺基水杨酸法测定;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定。

1.4 数据处理方法 采用 Excel 2010 进行数据统计与绘画;采用 SPSS 22.0 软件进行显著性分析;采用最小显著极差法(LSD)进行差异显著性检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 微/纳气泡水对盐胁迫下水稻幼苗性状的影响
2.1.1 对水稻品种 9311 幼苗性状的影响。从表 1 可以看出,T2 处理的根长、茎鲜重、茎基宽显著小于 T1 处理,分别减少 24.87%、12.20%和 12.50%。T1 和 T2 处理间的茎长、根鲜重、叶片数没有显著差异,说明在无盐胁迫下,微/纳米气泡水增氧显著抑制 9311 幼苗根的伸长和茎的生长。

从表 1 可以看出,T3 处理的根长、茎鲜重、茎基宽显著小于 T1 处理,分别减少 18.56%、42.68%和 17.65%。T1 和 T3 处理间茎长、根鲜重、叶片数没有显著差异。这说明盐胁迫下,9311 幼苗的根长、茎鲜重和茎基宽显著减小。

T4 处理的根长、茎鲜重、根鲜重显著小于 T3 处理,分别减少 45.16%、46.81%和 38.64%。T3 和 T4 处理间的茎长、叶片数、茎基宽没有显著差异。这说明盐胁迫下,微/纳米气泡水增氧使 9311 幼苗的根长、茎鲜重和根鲜重显著减小。

表 1 不同处理对 9311 幼苗的性状指标的影响
Table 1 Effects of different treatments on character indexes of 9311 seedlings

处理编号 Treatment code	茎长 Stem length cm	根长 Root length cm	茎鲜重 Stem fresh weight//g	根鲜重 Root fresh weight//g	叶片数 Leaf number 片	茎基宽 Stem base width//mm
T1	21.37±1.19 a	11.42±0.92 a	0.082±0.008 a	0.041±0.005 a	3.50±0.71 a	1.36±0.08 a
T2	21.53±2.17 a	8.58±0.67 b	0.072±0.005 b	0.038±0.007 a	3.20±0.42 a	1.19±0.10 b
T3	19.20±1.31 ab	9.30±0.54 b	0.047±0.002 c	0.044±0.006 a	3.40±0.51 a	1.12±0.06 b
T4	16.73±1.66 b	5.10±0.58 c	0.025±0.003 d	0.027±0.002 b	3.60±0.70 a	1.05±0.08 b

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著
Note:Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

2.1.2 对水稻品种 JX99 幼苗性状的影响。从表 2 可以看出,T2 处理的根长、叶片数显著大于 T1 处理,分别增加 31.76%、21.88%。T1 和 T2 处理间茎长、根鲜重、茎鲜重、茎基宽间没有显著差异,说明无盐胁迫下,微/纳米气泡水增氧使 JX99 幼苗(幼苗)的根长、叶片数显著增大。

T3 处理的根长显著小于 T1 处理,减小 10.94%。T1 和 T3 处理间茎鲜重、根鲜重、叶片数、茎基宽没有显著差异,说

明盐胁迫下,JX99 幼苗的根长显著减小。

T4 处理的茎长、根长、茎鲜重、根鲜重显著小于 T3 处理,分别减少 28.09%、35.67%、67.97%和 55.43%。T4 和 T3 处理间叶片数、茎基宽没有显著差异,说明盐胁迫下,微/纳米气泡水增氧使 JX99 幼苗的根长、茎长、茎鲜重和根鲜重显著减小。

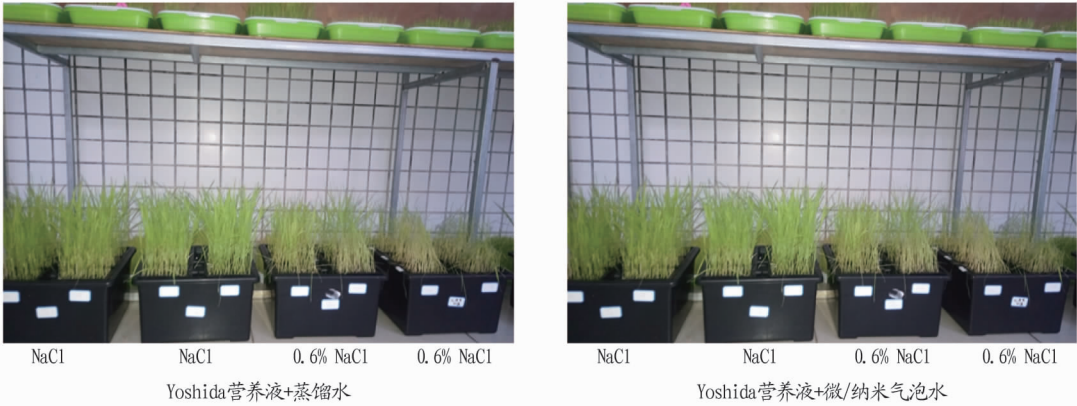
表 2 不同处理对 JX99 幼苗的性状指标的影响
Table 2 Effects of different treatments on character indexes of JX99 seedlings

处理编号 Treatment code	茎长 Stem length cm	根长 Root length cm	茎鲜重 Stem fresh weight//g	根鲜重 Root fresh weight//g	叶片数 Leaf number 片	茎基宽 Stem base width//mm
T1	21.23±0.55 b	8.50±0.28 b	0.073 8±0.001 9 a	0.035 8±0.000 6 a	3.2±0.42 b	1.34±0.09 a
T2	21.13±0.64 b	11.20±0.79 a	0.074 4±0.001 9 a	0.036 0±0.004 2 a	3.9±0.31 a	1.26±0.10 ab
T3	23.50±0.56 a	7.57±0.06 c	0.074 0±0.000 4 a	0.035 0±0.001 4 a	3.2±0.42 b	1.25±0.04 ab
T4	16.90±0.75 c	4.87±0.67 d	0.023 7±0.000 8 b	0.015 6±0.000 6 b	3.1±0.32 b	1.18±0.03 b

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著
Note:Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0.05 level

品种 9311 与 JX99 幼苗的性状在各种处理中表现有相同之处也有不同之处。相同之处是在盐胁迫下使用微/纳米气泡水增氧,2 个品种幼苗的生长指标(根长、茎鲜重、根鲜重)显著变小;不同之处是在无盐胁迫下,微/纳米气泡水增

氧使 JX99 幼苗有些生长指标(根长、叶片数)显著增大,而 9311 幼苗有些生长指标(根长、茎鲜重和茎基宽)显著变小,说明在无盐胁迫下,微/纳米气泡水增氧对不同品种水稻幼苗生长指标的影响不同。

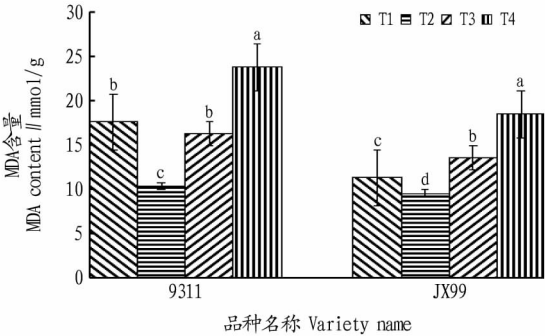


注:每盆左边 1 列为 9311,右边 1 列为 JX99
Note:The left row of pot was variety 9311,and the right row of pot was JX99

图 1 微/纳气泡水与盐胁迫下水稻幼苗生长状况比较

Fig.1 Comparison of the growth status of rice seedlings under micro/nano bubble water and salt stress

2.2 微/纳气泡水与盐胁迫对水稻幼苗丙二醛(MDA)含量的影响 一般植物在逆境条件下会产生膜质过氧化,细胞膜受伤害,丙二醛(MDA)含量表示细胞膜受伤害程度^[14]。由图 2 可知,品种 9311 与 JX99 在各处理中,MDA 含量有相同的变化也有不同的变化。与 T1 处理相比,T2 处理 2 个品种的 MDA 含量都显著降低,分别减少 41.19%、15.85%。与 T1 处理相比,T3 处理 2 品种的 MDA 含量变化不同,9311 减少 7.61%,但差异不显著;JX99 增加 20.19%,两者差异显著。与 T3 处理相比,T4 处理 2 个品种的 MDA 含量都显著增加,分别增加 46.25%、36.11%。这说明在盐胁迫下,用微/纳米气泡水增氧,2 个品种幼苗的细胞膜质过氧化程度增高,活性氧的伤害增大。



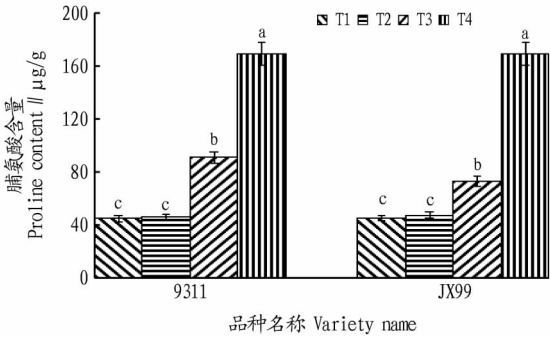
注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著
Note:Different lowercases indicated significant differences at 0.05 level

图 2 不同处理对水稻幼苗 MDA 含量的影响

Fig.2 Effects of different treatments on MDA content of rice seedlings

2.3 微/纳气泡水与盐胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响 在干旱、盐渍等胁迫条件下,许多植物体内脯氨酸大量积累^[15]。由图 3 可知,品种 9311 与 JX99 在各处理中,幼

苗脯氨酸含量的变化相近,都是 T4 处理最大,T3 处理次之,两者间差异显著;T1 与 T2 处理较小,两者间无显著差异。与 T1 处理相比,T3 处理 2 个品种的脯氨酸含量显著增加,分别增加 102.75%、60.72%。与 T3 处理相比,T4 处理 2 个品种的脯氨酸含量都显著增加,分别增加 85.63%、131.64%,说明在盐胁迫下,用微/纳米气泡水增氧,水稻幼苗所处的胁迫环境加剧,对幼苗的伤害也加大。



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著
Note:Different lowercases indicated significant correlation at 0.05 level

图 3 不同处理对水稻幼苗的脯氨酸含量的影响

Fig.3 Effects of different treatments on proline content of rice seedlings

2.4 微/纳气泡水与盐胁迫下水稻幼苗指标的相关性

2.4.1 水稻品种 9311 幼苗指标的相关性。由表 3 可知,9311 幼苗的性状指标中,茎长、根长、茎基宽、根鲜重、茎鲜重间都呈正相关,其中根长与茎长、茎基宽、根鲜重、茎鲜重间都呈极显著正相关,茎鲜重与茎长、茎基宽呈极显著正相关。

MDA 和脯氨酸含量与幼苗的生长性状指标间都呈负相关,说明水稻幼苗体内的 MDA 和脯氨酸含量增加,茎长、根长、茎基宽、根鲜重、茎鲜重等生长性状指标减小。脯氨酸含

量与茎长、茎基宽间呈显著负相关,与根长、茎鲜重间呈极显著负相关;MDA 含量与茎长、茎鲜重间呈显著负相关。MDA 含量与脯氨酸含量间呈极显著正相关。

表 3 微/纳气泡水与盐胁迫下 9311 幼苗指标的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of 9311 seedlings under micro/nano bubble water and salt stress

性状 Characters	茎长 Stem length	根长 Root length	茎基宽 Stem base width	根鲜重 Root fresh weight	茎鲜重 Stem fresh weight	MDA 含量 MDA content	脯氨酸含量 Proline content
茎长 Stem length	1						
根长 Root length	0.737**	1					
茎基宽 Stem base width	0.555	0.776**	1				
根鲜重 Root fresh weight	0.491	0.768**	0.508	1			
茎鲜重 Stem fresh weight	0.768**	0.880**	0.819**	0.509	1		
MDA 含量 MDA content	-0.583*	-0.575	-0.317	-0.427	-0.655*	1	
脯氨酸含量 Proline content	-0.689*	-0.877**	-0.641*	-0.551	-0.903**	0.800**	1

注: * 表示在 0.05 水平显著相关; ** 表示在 0.01 水平极显著相关
Note: * indicated significant correlation at 0.05 levels, ** indicated extremely significant correlation at 0.01 level

2.4.2 水稻品种 JX99 幼苗指标的相关性。由表 4 可知, JX99 幼苗的性状指标中,茎长、根长、茎基宽、根鲜重、茎鲜重间都呈正相关,其中根鲜重、茎鲜重与根长、茎长呈极显著正相关,根鲜重与茎鲜重间呈极显著正相关。

MDA 和脯氨酸含量与幼苗的性状指标都呈负相关,说

表 4 微/纳气泡水与盐胁迫下 JX99 幼苗指标的相关系数

Table 4 Correlation coefficients of JX99 seedlings under micro/nano bubble water and salt stress

性状 Characters	茎长 Stem length	根长 Root length	茎基宽 Stem base width	根鲜重 Root fresh weight	茎鲜重 Stem fresh weight	MDA 含量 MDA content	脯氨酸含量 Proline content
茎长 Stem length	1						
根长 Root length	0.538	1					
茎基宽 Stem base width	0.356	0.375	1				
根鲜重 Root fresh weight	0.857**	0.832**	0.498	1			
茎鲜重 Stem fresh weight	0.890**	0.806**	0.563	0.982**	1		
MDA 含量 MDA content	-0.653*	-0.944**	-0.533	-0.927**	-0.906**	1	
脯氨酸含量 Proline content	-0.815**	-0.824**	-0.530	-0.949**	-0.947**	0.937**	1

注: * 表示在 0.05 水平显著相关; ** 表示在 0.01 水平极显著相关
Note: * indicated significant correlation at 0.05 levels, ** indicated extremely significant correlation at 0.01 level

3 结论与讨论

正常情况下,植物的根进行有氧呼吸,若在富氧环境下对改善植物根的功能、促进微生物活动以及矿物质的转化、提高对营养物质的吸收都有重要意义^[8]。水稻的根进行有氧呼吸,主要是吸收溶解在水中的氧,增氧灌溉提高水稻产量^[13]。该研究用微/纳米气泡水与营养液对水稻幼苗进培育,使 JX99 幼苗根长、叶片数显著增大,部分生长性状指标更优,与其他研究一致,但使 9311 水稻幼苗的根长、茎鲜重和茎基宽显著减小,部分性状变差,说明微/纳米气泡水增氧时,不同的水稻品种幼苗表现不同,也可能是不同的水稻品种幼苗对微/纳米气泡水增氧浓度有不同的反应,因此需进一步研究。

在盐胁迫时,植物体内会产生大量的活性氧,促进植物膜脂过氧化作用,增加 MDA 含量^[14]。在盐胁迫下产生渗透胁迫,植物为了维持较高的细胞质渗透压以便吸水,积累一定数量的可溶性有机物,如脯氨酸。因此在盐分胁迫下脯氨酸含量增加^[15]。该研究中在 0.6% 盐胁迫下,9311 的 MDA 含量没有显著变化,但 JX99 显著增加,说明不同品种有不同的反应。2 个品种的脯氨酸含量显著增加,与其他研究一致。

该研究试图通过微/纳米气泡水增加水稻幼苗根际的氧含量,提高根活力来提高幼苗的耐盐性。但研究结果显示,在盐胁迫下,微/纳米气泡增氧使 9311 水稻幼苗根长、茎鲜重、根鲜重显著减小,使 JX99 水稻幼苗的根长、茎长、茎鲜重、根鲜重显著减小,2 个品种水稻幼苗生长指标均变差。2 个品种水稻幼苗 MDA 含量都显著增大,水稻幼苗的脯氨酸含量都显著增大。生化指标也反映微/纳米气泡增氧使细胞膜质过氧化程度加大,加剧渗透胁迫。盐胁迫下,用微/纳米气泡水增氧培育加剧水稻幼苗伤害的原因,需今后进一步研究。

参考文献

[1] 胡涛,张鸽香,郑福超,等.植物盐胁迫响应的研究进展[J].分子植物育种,2018,16(9):3006-3015.
[2] 李小兵,黎华寿,张泽民,等.水稻盐胁迫研究进展[J].广东农业科学,2014,41(12):6-11.

使其成为市场中的“鲜”见产品,进一步增加经济效益。

4 结论

该研究结果表明,在沿江地区采取设施大棚与地膜覆盖相结合的育苗移栽方式,2月20日至3月22日期间移栽鲜食玉米,其移栽至成熟生育期为80~94 d,吐丝至成熟期有效积温为372.10~389.90℃,玉米穗长、穗粗、穗粒数和鲜穗产量差异不显著。2月20日移栽的鲜食玉米鲜穗可在5月25日成熟采收,比其他处理提早6~16 d;经济效益达58 880.00元/hm²,比其他处理提高14.57%~31.60%。

参考文献

- [1] 徐丽,赵久然,卢柏山,等.我国鲜食玉米种业现状及发展趋势[J].中国种业,2020(10):14-18.
- [2] 赵久然,卢柏山,史亚兴,等.我国糯玉米育种及产业发展动态[J].玉米科学,2016,24(4):67-71.
- [3] 郑洪建,王义发,沈雪芳,等.甜玉米糯玉米的营养价值及综合利用[J].上海蔬菜,2003(4):50-51.
- [4] 徐丽,卢柏山,史亚兴,等.不同密度对超甜玉米产量、商品性及可溶性固形物含量的影响[J].玉米科学,2018,26(3):102-107.
- [5] 唐经祥,徐经年,孙敬权,等.安徽省鲜食玉米生育期研究[J].安徽农业科学,2018,46(4):32-33,36.
- [6] 唐江华,苏丽丽,李玲,等.播期对北疆鲜食玉米生长发育、果穗特性及经济效益的影响[J].中国农学通报,2020,36(17):21-25.
- [7] 刘明,陶洪斌,王璞,等.播期对春玉米生长发育与产量形成的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(1):18-23.
- [8] 李向岭,李从锋,侯玉虹,等.不同播期夏玉米产量性能动态指标及其生态效应[J].中国农业科学,2012,45(6):1074-1083.
- [9] 钟昌松,张玉,吕巨智,等.不同播期对广西春玉米生长特性及产量的影响[J].西南农业学报,2016,29(3):511-515.
- [10] 李少昆,赵久然,董树亭,等.中国玉米栽培研究进展与展望[J].中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.
- [11] 王华,金方明,王海林,等.播种期对3个糯玉米品种生育进程及产量

的影响[J].作物研究,2019,33(3):183-187.

- [12] 潘彬荣,许立奎,岳高红,等.不同播种期对金玉甜1号农艺性状和品质的影响[J].浙江农业科学,2017,58(1):24-26.
- [13] 王或超,李洪,王瑞军,等.不同移栽期对晋北地区鲜食玉米生长及产量的影响[J].山西农业科学,2019,47(9):1554-1557.
- [14] 武文明,陈洪俊,张林,等.淮北平原宜子粒机收夏玉米品种的播期与收获期分析[J].玉米科学,2020,28(5):124-130.
- [15] 郑根莲.丽水地区发展春玉米生产的适应性分析[J].浙江气象科技,1993,14(4):45-46,57.
- [16] 李亚芳,郭树庆,李斌,等.江苏沿海地区鲜食糯玉米一年两熟节本栽培技术[J].现代农业科技,2019(23):27-28.
- [17] 苏彩霞,秦春荣,马小凤,等.不同播期对鲜食甜糯玉米苏玉糯6号生长发育的影响[J].江西农业学报,2010,22(7):36-37,40.
- [18] WARRINGTON I J, KANEMASU E T. Corn growth response to temperature and photoperiod II. Leaf-initiation and leaf-appearance rates[J]. Agronomy journal, 1983, 75(5): 755-761.
- [19] 梁秀兰,张振宏.玉米不同播种期对生长发育和产量性状的影响[J].华南农业大学学报,1991,12(1):55-61.
- [20] 陈国品,黄开健,谭华,等.播期对糯玉米品种玉美头601主要农艺性状影响试验[J].广西农业科学,2008,39(5):578-582.
- [21] 李文科,薛庆禹,王靖,等.播期对吉林春玉米生长发育及产量形成的影响[J].玉米科学,2013,21(5):81-86.
- [22] 张海艳.低温对鲜食玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J].植物生理学报,2013,49(4):347-350.
- [23] TIAN B J, ZHU J C, NIE Y S, et al. Mitigating heat and chilling stress by adjusting the sowing date of maize in the North China Plain[J]. Journal of agronomy and crop science, 2019, 205(1): 77-87.
- [24] 寇伟锋,宋寿贵,王雯雯,等.播期对超甜玉米合美玉产量和经济效益的影响[J].作物研究,2020,34(3):227-230,242.
- [25] 穆秀明,闫贵龙,曹春梅,等.饲喂糯玉米秸秆对奶牛产奶量和乳品质的影响[J].饲料研究,2012(10):46-48.
- [26] 龚振德,吴月琴,顾英杰,等.甜糯型鲜食玉米新品种“彩甜糯100”的选育及其栽培技术[J].上海农业科技,2020(4):68-69.
- [27] 白彩云,李少昆,柏军华,等.我国东北地区不同生态条件下玉米品种积温需求及利用特征[J].应用生态学报,2011,22(9):2337-2342.

(上接第20页)

- [68] 王艳廷,冀晓昊,吴玉森,等.我国果园生草的研究进展[J].应用生态学报,2015,26(6):1892-1900.
- [69] 吴少华,严良文,俞兴宁.果树的忌地现象及控制措施[J].福建农业科技,1998(2):31-32.
- [70] 耿书宝,陈汉杰,张金勇,等.二斑叶螨对几种植物的选择性观察[J].果树学报,2014,31(5):917-921.
- [71] 常栋,顾建国,贾方方,等.烟草黑胫病不同植物源生防菌的筛选及防效测定[J].中国烟草学报,2020,26(3):84-90.
- [72] 王强,冯岩,何小静,等.植物源杀菌剂的筛选[J].福建农业学报,2012,27(11):1246-1249.
- [73] 江山,郭雪柳,韩熹莱.一些抗植物病毒剂对烟草花叶病毒外壳蛋白体外聚合过程的影响[J].中国病毒学,1996,11(1):77-80.
- [74] 王芳,鄢波,王玲仙,等.云南烟草花叶病毒外壳蛋白基因的分离克隆及序列分析[J].西南农业学报,1999,12(2):7-11.

(上接第24页)

- [3] 刘贵富,陈明江,李明,等.水稻育种行业创新进展[J].植物遗传资源学报,2018,19(3):416-429.
- [4] 王旭明,赵夏夏,陈景阳,等.盐胁迫下水稻孕穗期SS和SPS活性与糖积累的响应及其相关性分析[J].江苏农业学报,2018,34(3):481-486.
- [5] 王旭明,赵夏夏,周鸿凯,等.NaCl胁迫对不同耐盐性水稻某些生理特性和光合特性的影响[J].热带作物学报,2019,40(5):882-890.
- [6] 谢平凡,邱冬冬,陈珍.外源硫化氢缓解水稻盐胁迫的作用机理[J].贵州农业科学,2017,45(3):8-13.
- [7] 潘习习,徐建平.微纳米气泡基本特性及溶解氧的研究[J].安徽工程大学学报,2015,30(2):12-16.
- [8] MIRZAEI M, MOIENI A, GHANATI F. Effects of drought stress on the lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars[J]. Journal of agricultural science and technology, 2013, 15(3): 593-602.

- [75] 陈启建.抗烟草花叶病毒植物源活性物质的筛选及其作用机制[D].福州:福建农林大学,2003.
- [76] VAN LOON L C, REP M, PIETERSE C M J. Significance of inducible defense-related proteins in infected plants[J]. Annu Rev Phytopathol, 2006, 44: 135-162.
- [77] 车海彦,吴云锋,杨英,等.植物源病毒抑制剂 WCT-II 控制烟草花叶病毒(TMV)的作用机理初探[J].西北农业学报,2004,13(4):45-49.
- [78] 孔凡明,彭怀俊,吴廷全,等.烟草花叶病药剂防治效果及其机理研究[J].中国烟草学报,2001,7(1):26-31.
- [79] 成巨龙.藜科植物中对烟草花叶病毒病(TMV)抑制物特性的研究[C]//中国烟草学会第三届理事扩大会议文件汇编暨中国科协第三届青年学术年会烟草卫星会议论文集.北京:中国烟草学会,1998:206-218.
- [80] 章力建,朱立志.“中医农业”发展战略及前景[J].农业展望,2018,14(11):72-76.

- [9] LIU Y X, ZHOU Y P, WANG T Z, et al. Micro-nano bubble water oxygenation Synergistically improving irrigation water use efficiency, crop yield and quality[J]. Journal of cleaner production, 2019, 222: 835-843.
- [10] 杨生龙,王兴盛,强爱玲,等.不同灌溉方式对水稻产量及产量构成因子的影响[J].中国稻米,2010,16(1):49-51.
- [11] 饶晓娟,付彦博,孟阿静,等.不同浓度溶解氧水浸润棉花种子对萌发的影响[J].新疆农业科学,2016,53(3):518-522.
- [12] 王逍遥,王天泽,周云鹏,等.微纳米气泡水滴灌对设施甜瓜产量、品质及灌溉水利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2021,40(1):38-46.
- [13] 李康勇,李桂元,徐义军,等.自压吸气增氧灌溉对水稻生长及产量的影响[J].安徽农业科学,2021,49(1):207-209.
- [14] 王旭明,赵夏夏,陈景阳,等.盐胁迫下水稻抗逆生理响应分析[J].中国生态农业学报,2019,27(5):747-756.
- [15] 全先庆,张渝洁,单雷,等.高等植物脯氨酸代谢研究进展[J].生物技术通报,2007(1):14-18.