

浸种剂和灌溉对幼苗期人工低温下 直播稻幼苗质量的影响

李 武¹, 罗锡文², 黎国喜¹, 王在满², 田 华¹, 唐湘如¹

(1 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642 2 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要: 解决苗期低温危害是在长江流域早季推广水稻机械化直播技术的关键技术问题。本试验以湘早籼 24号(常规稻)和株两优 2号(杂交稻)为材料,研究了浸种剂和灌溉对直播稻一叶一心期低温抗性的影响。结果表明:浸种剂处理后,湘早籼 24号和株两优 2号的成苗率分别比对照提高了 36.61%和 33.57%,显著降低了水稻幼苗的株高,增大了叶龄和单位苗高干质量,降低了水稻叶片的质膜透性和 MDA含量;湿润灌溉较淹水灌溉处理能显著提高两水稻品种的成苗率,分别高出 51.24%, 19.63%。“齐苗快”浸种结合湿润灌溉有利于构建高成苗率高素质的直播水稻幼苗群体、有效防御苗期低温危害。

关键词: 水稻; 直播; 低温; 浸种剂; 灌溉; 成苗率; 幼苗质量

中图分类号: S11.048 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2010)02-0224-05

The Effect of Seed Soaking and Flooding on Seedling Quality of Direct seeding Rice at the Bud Stage under Artificial Low Temperature

LIWU, LUOXIWEN, LIGUOXI, WANG ZAIMAN, TIAN HUA, TANG XIANGRU

(1. College of Agronomy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Low temperature hazard is a key problem for direct seeding rice in the middle and lower reaches of Changjiang River region. In this paper, the possible role of seed soaking and flooding in ameliorating rice plants resistance to low temperature in a bud with a leaf stage was evaluated in an artificial climate room using Xiangzaoxian24 (V₁) and Zhuliangyou2 (V₂). Seed treatments included A₁ (drug soaked), A₂ (drug dressed), A₃ (water soaked) and flooding treatments B₁ (moist non flooded), and B₂ (flooded). The test results showed that under low temperature conditions, the seedling rate increased significantly compared with A₃ maintained as a control, 36.61% and 33.57% for V₁ and V₂ respectively. All seed soaking treatments resulted in better seedling quality, lower membrane permeability and lower MDA concentration. Considering flooding treatments, a significant increase of seedling rate was found with B₁, 51.2% and 19.6% for V₁ and V₂ respectively compared to B₂. Of all the treatments, A₁ B₁ combination was found to be building a population with high available seedling rate, good seedling quality and fast growth vigor, and to protect seedlings from low temperature damages during the seedling stage.

Key words: Rice (*Oryza sativa* L.); Direct seeding; Low temperature; Seed soaking; Flooding; Available seedling rate; Seedling quality

随着农村经济的发展、高效除草剂技术的成熟及早熟高产新品种的育成,水稻直播日益成为全面实现水稻生产精量化、标准化、轻简化的重要途径。华南农业大学结合先进农艺,研制成功水稻精量穴

直播机,采用开沟起垄式水稻精量穴直播技术^[1],水稻长势好,产量较高,节水、省工、省种、省成本,可节省生产成本 750元 / hm² 以上^[2,3]。

“倒春寒”在长江中下游及珠江三角洲一带早

收稿日期: 2009-02-11

基金项目: “863”计划项目(2006AA10A307); 广东省农业攻关项目(2004B20101007)

作者简介: 李 武(1982-)男,重庆开县人,博士,主要从事作物栽培和生理研究。黎国喜为同等贡献作者。

通讯作者: 唐湘如(1964-)男,湖南宁乡人,教授,博士,博士生导师,主要从事作物栽培和生理研究。

稻生产中经常发生,对直播水稻成苗率、生长发育、产量及品质产生不良影响。为了增强直播水稻幼苗抵抗低温的能力,华南农业大学研制成功“齐苗快”浸种剂、拌种剂(含多效唑^[4-6]、 $ZnSO_4$ ^[7,8]、 CaH_2CO_3 ^[9]、低毒驱鸟剂等多种成分),与机械化精量穴直播技术配套,初步试验表明可有效提高幼苗素质、提高直播芽种和幼苗抵抗低温的能力。本试验旨在研究“齐苗快”浸种剂与灌溉对一叶一心期短时低温下精量穴直播水稻成苗率、地上部幼苗素质、根系形态及叶片生理特性的影响,为直播条件下水稻抗苗期短时低温技术研究提供理论指导和技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验品种

常规稻湘早籼 24号和杂交稻株两优 2号,皆为长江中下游地区大面积推广应用的水稻品种。

1.2 试验设备

华南农业大学测试中心的 CONVRON人工气候室。

1.3 试验方法

试验处理包括“齐苗快”浸种剂浸种(A_1)、“齐苗快”浸种剂拌种(A_2 ,即在清水浸种催芽至 2 mm左右后用“齐苗快”浸种剂拌种,3 h后播种)和清水浸种(A_3)3个处理;灌溉处理包括湿润灌溉(B_1)和淹水灌溉(B_2 ,保持水层 3 cm)2个处理,共有 6个处理组合;每个处理组合设 3次重复,试验按完全随机区组设计。

据长江中下游早春季节倒春寒与温度变化特点,在人工气候室的温度控制器上按图 1、2所示时间温度变化设定。其中,在幼苗长至一叶一心后第 2天,调整人工气候的最低温度至 8℃保持 3 d然后升温至正常温度后培养至水稻的两叶一心期,测试每个处理组合的成苗率和幼苗质量。人工气候室中的光照、湿度和风速根据长江中下游早春季节的气候特点调节设定。两种试验品种均用统一温度控制曲线。

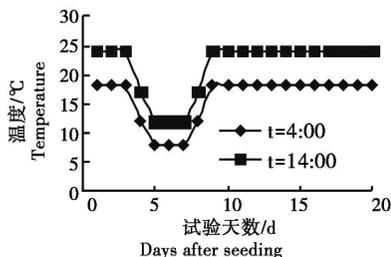


图 1 一叶一心期低温下最高温度和最低温度

Fig 1 The highest and the lowest temperature under artificial low temperature in a bud with a leaf stage

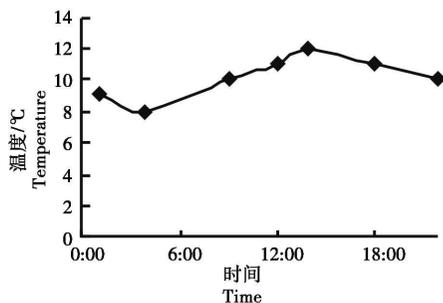


图 2 一叶一心期低温下温度变化曲线

Fig 2 The temperature change curve under artificial low temperature in a bud with a leaf stage

试验于 2009年 2月至 3月进行,采用长 65 cm宽 40 cm高 10 cm塑料箱,箱中铺 12 cm厚的水田土壤,取自华南农业大学实验农场中水稻田中泥块,破碎过筛加水后放入塑料箱中。采用常规方法浸种催芽至 2 mm左右后用人工播种,为了准确定位,播种时在土壤上放长 60.5 cm宽 33.5 cm的钵体苗育秧穴盘,每盘 561穴,将芽种放入穴盘的穴孔中,每穴 1粒,播后将穴盘取出。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 成苗率、秧苗素质及根系形态性状调查 成苗率(%)=实际成活苗数/播种量×100%。

秧苗素质调查,于每箱内取幼苗 30株,测定其平均株高、叶龄、绿叶数、茎基宽、地上部鲜质量、地上部干质量,计算单位苗高干质量;剩余根部使用根分析系统扫描样品根系性状(与文献[10]所用仪器同)。

1.4.2 生理指标测定 总含水量(%)=(鲜质量-干质量)/鲜质量×100%。叶绿素含量,按每箱取 10株幼苗,并分别使用 502型 SPAD仪测定完全展开顶 1叶 SPAD值,最后计算其平均值。幼苗质膜透性,参照《现代植物生理学实验指南》^[11]的方法,测定幼苗地上部组织渗液的电导率变化,外渗电导率的增大可反映质膜受损的程度。SOD活性与 MDA含量参照《植物生理学实验指导》^[12]的方法测定。

2 结果与分析

2.1 “齐苗快”和灌溉对一叶一心期低温下直播水稻成苗率的影响

成苗率是直播水稻幼苗对低温的整体反应,是客观鉴定抗寒能力强弱的一个重要指标。在一叶一心期人工低温下(表 1),与 A_3 相比, A_1 显著提高了湘早籼 24号和株两优 2号的成苗率,分别高 36.61%, 33.57%。与 B_2 相比, B_1 也显著提高了两种水稻品种的成苗率,分别高 51.24%, 19.63%。与 A_3B_1 、 A_3B_2 相比, A_1B_1 显著提高了两种水稻品种的成苗率,其中对湘早籼 24号增幅分别达

41.66%, 116.26%, 对株两优 2 号增幅分别达 32.05%, 63.37%。

2.2 “齐苗快”和灌溉对一叶一心期低温下直播水稻地上部幼苗素质的影响

从表 1 还可以看出: A₁ 有利于提高两种水稻品种地上部幼苗素质。其中, 与 A₃ 相比, A₁ 显著降低了两种水稻品种的株高, 增大了其叶龄和苗高干质量 (对株两优 2 号达显著水平)。可见, “齐苗快”

浸种条件下两种水稻品种幼苗皆表现为矮壮与长势快。与 B₂ 相比, B₁ 显著减少了湘早籼 24 号的绿叶数, 即表明该常规稻幼苗在淹水厌氧条件下单株光照截获面积较大。与 A₃B₁、A₃B₂ 相比, A₁B₁ 降低了两种水稻品种的株高 (对株两优 2 号达显著水平), 显著增大了株两优 2 号的叶龄和苗高干质量; 此外, A₁B₂ 亦有类似结果。

表 1 “齐苗快”和灌溉对一叶一心期低温下直播稻成苗率和地上部幼苗质量的影响

Tab 1 Effect of seed soaking and flooding on available seedling rate and seedling quality of direct seeding rice under low temperature in a bud with a leaf stage

品种 Variety	处理 Treatment	成苗率/% Available seedlings rate	株高/cm Plant height	叶龄 Leaf age	绿叶数/片 Green leaf quantity	茎基宽/mm Stalk width	地上部干质量/mg Dry up side weight	苗高干质量/(mg/cm) Dry weight per height
湘早籼 24号 Xiangzaoxian 24	A ₁	65.38 ^a	9.89 ^b	2.75 ^b	1.85 ^b	1.70 ^{ab}	6.38 ^a	0.65 ^b
	A ₂	39.08 ^c	5.08 ^c	3.36 ^a	2.40 ^a	1.80 ^a	4.65 ^b	0.93 ^a
	A ₃	47.86 ^b	11.28 ^a	2.65 ^b	1.73 ^b	1.62 ^b	6.71 ^a	0.60 ^b
	B ₁	61.13 ^a	9.02 ^a	2.89 ^a	1.71 ^b	1.67 ^a	5.67 ^a	0.79 ^a
	B ₂	40.42 ^b	8.48 ^a	2.95 ^a	2.28 ^a	1.74 ^a	6.15 ^a	0.66 ^a
	A ₁ B ₁	81.92 ^a	9.56 ^b	2.64 ^b	1.63 ^b	1.68 ^b	6.08 ^a	0.64 ^b
	A ₁ B ₂	48.83 ^{bc}	10.21 ^b	2.85 ^b	2.07 ^b	1.72 ^{ab}	6.67 ^a	0.66 ^b
	A ₂ B ₁	43.63 ^{cd}	5.13 ^c	3.34 ^a	2.00 ^b	1.70 ^b	4.06 ^b	0.79 ^b
	A ₂ B ₂	34.53 ^d	5.03 ^c	3.38 ^a	2.80 ^a	1.90 ^a	5.24 ^{ab}	1.07 ^a
	A ₃ B ₁	57.83 ^b	10.19 ^b	2.60 ^b	1.91 ^b	1.60 ^b	6.86 ^a	0.56 ^b
株两优 2号 Zhujiangyou 2	A ₁	66.25 ^a	8.60 ^b	2.49 ^a	1.50 ^a	1.55 ^a	9.08 ^b	1.06 ^a
	A ₂	45.59 ^b	6.10 ^c	2.49 ^a	1.50 ^a	1.62 ^a	7.10 ^c	1.17 ^a
	A ₃	49.60 ^b	12.97 ^a	2.02 ^b	1.53 ^a	1.56 ^a	10.50 ^a	0.81 ^b
	B ₁	58.62 ^a	9.16 ^a	2.35 ^a	1.52 ^a	1.58 ^a	8.86 ^a	1.02 ^a
	B ₂	49.00 ^b	9.29 ^a	2.32 ^a	1.49 ^a	1.57 ^a	8.93 ^a	1.01 ^a
	A ₁ B ₁	72.44 ^a	8.20 ^b	2.50 ^a	1.37 ^a	1.60 ^a	8.73 ^b	1.07 ^a
	A ₁ B ₂	60.05 ^b	9.01 ^b	2.48 ^a	1.63 ^a	1.50 ^a	9.43 ^b	1.06 ^a
	A ₂ B ₁	48.56 ^{cd}	6.08 ^c	2.47 ^a	1.60 ^a	1.57 ^a	7.24 ^c	1.19 ^a
	A ₂ B ₂	42.61 ^d	6.13 ^c	2.51 ^a	1.40 ^a	1.67 ^a	6.96 ^c	1.14 ^a
	A ₃ B ₁	54.86 ^{bc}	13.20 ^a	1.98 ^b	1.60 ^a	1.57 ^a	10.61 ^a	0.54 ^b
A ₃ B ₂	44.34 ^d	12.73 ^a	2.05 ^b	1.45 ^a	1.55 ^a	10.39 ^a	0.80 ^b	

注: A₁ “齐苗快”浸种; A₂ “齐苗快”拌种; A₃ 清水浸种; B₁ 湿润灌溉; B₂ 淹水灌溉; A₁B₁ “齐苗快”浸种+湿润灌溉; A₁B₂ “齐苗快”浸种+淹水灌溉; A₂B₁ “齐苗快”拌种+湿润灌溉; A₂B₂ “齐苗快”拌种+淹水灌溉; A₃B₁ 清水浸种+湿润灌溉; A₃B₂ 清水浸种+淹水灌溉。同一列不同小写字母表示差异达 5% 显著水平, 具有相同字母的差异不显著, 下同。

Note: A₁ Seed-soaking drug; A₂ Seed-dressing drug; A₃ Seed soaking water; B₁ Non-flooding; B₂ Flooding; A₁B₁ Drug soaking+ non-flooding; A₁B₂ Drug soaking+ flooding; A₂B₁ Drug dressing+ non-flooding; A₂B₂ Drug dressing+ flooding; A₃B₁ Water soaking+ non-flooding; A₃B₂ Water soaking+ flooding. Means in a row followed by the same letters are not significant at 0.05 level, the same as below.

2.3 “齐苗快”和灌溉对一叶一心期低温下直播水稻幼苗根系形态的影响

幼苗根系构型决定植株获得水分和养分的能力, 总根长、总根面积、总根体积、平均根直径、总根尖数等反映了根系构型。从表 2 可以看出: 湘早籼 24 号 A₁ 的总根数、白根数多于 A₃ 株两优 2 号 A₁ 的总根长、总根表面积、平均根直径、总根体积及总根尖数皆显著大于 A₃。可见, 幼苗期低温下“齐苗快”浸种对湘早籼 24 号有一定增根效果, 而对株两优 2 号增根壮根效果表现较突出。灌溉处理间, 与 B₂ 相比, B₁ 显著减小了湘早籼 24 号的平均根直

径, 却显著增大了株两优 2 号的平均根直径, 说明常规稻湘早籼 24 号苗期根系对淹水厌氧条件的适应力较强。与 A₃B₁、A₃B₂ 相比, A₁B₁ 增加了湘早籼 24 号幼苗的白根数, 减小了总根体积, 但却显著增加了株两优 2 号幼苗的总根长、总根表面积、平均根直径及总根尖数。此外, A₁B₂ 亦有类似效果。

2.4 “齐苗快”和灌溉对一叶一心期低温下直播水稻幼苗生理特性的影响

水稻苗期功能叶 SPAD 值高, 有利于幼苗光合生产和分蘖原基分化。从表 3 可以看出: 与 A₃ 相比, A₁ 有利于提高两种水稻品种顶 1 叶 SPAD 值,

说明浸种剂能增强水稻低温胁迫后光合功能的恢复能力。各处理组合间, A₂B₁ 有利于提高两种水稻品种幼苗顶 1 叶 SPAD 值。

从表 3 还可以看出: 与 A₃ 相比, A₁ 显著降低了两种水稻品种叶片质膜透性和 MDA 含量 (以鲜质量计), 提高了叶片 SOD 活性 (以鲜质量计) (其中对湘早籼 24 号达显著水平); 与 B₂ 相比, B₁ 显著降低了两种水稻品种的叶片质膜透性, 显著降低了株

两优 2 号的 MDA 含量, 也显著提高了其 SOD 活性, 与 A₃B₁ 相比, A₁B₁ 降低了两种水稻品种叶片的质膜透性和 MDA 含量, 显著提高了其 SOD 活性; 与 A₃B₂ 相比, A₁B₁ 显著降低了两种水稻品种叶片的质膜透性, 降低了两种水稻品种叶片 MDA 含量 (其中对株两优 2 号达显著水平), 显著提高了湘早籼 24 号叶片 SOD 活性。

表 2 “齐苗快”和灌溉对一叶一心期低温下直播稻幼苗根系性状的影响

Tab 2 Effect of seed soaking and flooding on the root properties of direct seeding rice seedling under low temperature in a bud with a leaf stage

品种 Variety	处理 Treatment	总根数/条 Total root quantity	白根数/条 White root quantity	总根长/cm Length Per plant	总根表面积/cm ² Surface area	平均根直径/μm Average diameter	总根体积/mm ³ Root volume	总根尖数/条 Tips
湘早籼 24号 Xiangzaoxian 24	A ₁	4.4 ^a	3.0 ^a	7.73 ^a	1.04 ^a	14.25 ^a	11.17 ^a	38.83 ^a
	A ₂	3.8 ^a	3.3 ^a	8.54 ^a	1.19 ^a	14.73 ^a	13.26 ^a	52.83 ^a
	A ₃	4.1 ^a	2.6 ^a	8.50 ^a	1.16 ^a	15.50 ^a	13.12 ^a	49.45 ^a
	B ₁	4.3 ^a	3.1 ^a	8.91 ^a	1.18 ^a	14.08 ^b	12.54 ^a	52.16 ^a
	B ₂	3.9 ^a	2.8 ^a	7.60 ^a	1.08 ^a	15.57 ^a	12.49 ^a	41.91 ^a
	A ₁ B ₁	4.57 ^a	3.2 ^a	7.01 ^b	0.88 ^b	13.33 ^{cd}	8.90 ^c	38.40 ^a
	A ₁ B ₂	4.17 ^a	2.7 ^a	8.44 ^{ab}	1.19 ^{ab}	15.17 ^{bc}	13.47 ^{ab}	39.27 ^a
	A ₂ B ₁	4.30 ^a	3.7 ^a	8.72 ^{ab}	1.35 ^a	16.37 ^{ab}	16.53 ^a	56.14 ^a
	A ₂ B ₂	3.33 ^a	2.9 ^a	8.35 ^{ab}	1.03 ^{ab}	13.10 ^{cd}	9.97 ^{bc}	49.51 ^a
	A ₃ B ₁	4.13 ^a	2.8 ^a	10.99 ^a	1.30 ^{ab}	12.53 ^d	12.17 ^{bc}	61.93 ^a
株两优 2号 Zhu liangyou 2	A ₁	4.2 ^a	3.6 ^a	9.65 ^a	1.08 ^a	11.67 ^b	8.97 ^a	54.04 ^a
	A ₂	4.3 ^a	3.8 ^a	6.32 ^b	0.85 ^b	14.33 ^a	9.07 ^a	28.44 ^c
	A ₃	4.5 ^a	3.5 ^a	6.25 ^b	0.66 ^c	11.04 ^c	6.75 ^b	34.22 ^b
	B ₁	4.3 ^a	3.5 ^a	7.45 ^a	0.88 ^a	12.57 ^a	8.29 ^a	39.40 ^a
	B ₂	4.4 ^a	3.7 ^a	7.35 ^a	0.85 ^a	12.12 ^b	8.25 ^a	38.40 ^a
	A ₁ B ₁	4.37 ^a	3.5 ^a	9.78 ^a	1.07 ^a	11.70 ^c	9.17 ^a	59.51 ^a
	A ₁ B ₂	4.10 ^a	3.6 ^a	9.52 ^a	1.08 ^a	11.63 ^{cd}	8.77 ^a	48.57 ^b
	A ₂ B ₁	4.23 ^a	3.8 ^a	6.10 ^b	0.86 ^b	14.87 ^a	8.97 ^a	28.49 ^d
	A ₂ B ₂	4.30 ^a	3.8 ^a	6.53 ^b	0.83 ^{bc}	13.80 ^b	9.17 ^a	28.39 ^d
	A ₃ B ₁	4.27 ^a	3.3 ^a	6.48 ^b	0.70 ^{cd}	11.17 ^{de}	6.70 ^a	30.19 ^d
A ₃ B ₂	4.75 ^a	3.7 ^a	6.00 ^b	0.63 ^d	10.93 ^e	6.80 ^a	38.24 ^c	

表 3 “齐苗快”和灌溉对一叶一心期低温下直播稻生理特性的影响

Tab 3 Effect of seed soaking and flooding on direct seeding rice physiological character under low temperature in a bud with a leaf stage

品种 Variety	处理 Treatment	总含水量/% Total water content	SPAD	质膜透性/% Membrane permeability	超氧化物歧化酶/(U/g) SOD	丙二醛/(μmol/g) MDA
湘早籼 24号 Xiangzaoxian 24	A ₁	87.50 ^a	16.69 ^b	28.15 ^b	70.83 ^a	9.88 ^b
	A ₂	85.73 ^a	21.26 ^a	21.14 ^c	55.32 ^c	8.35 ^b
	A ₃	86.63 ^a	16.24 ^b	35.39 ^a	63.46 ^b	11.84 ^a
	B ₁	87.07 ^a	18.86 ^a	26.32 ^b	62.56 ^a	10.41 ^a
	B ₂	86.16 ^a	17.27 ^a	30.13 ^a	63.86 ^a	9.64 ^a
	A ₁ B ₁	87.42 ^a	16.23 ^b	25.13 ^{bcd}	72.25 ^a	9.72 ^b
	A ₁ B ₂	87.57 ^a	17.16 ^b	31.17 ^b	69.42 ^a	10.05 ^b
	A ₂ B ₁	86.63 ^a	23.90 ^a	23.68 ^{cd}	52.19 ^c	10.54 ^{ab}
	A ₂ B ₂	84.82 ^a	18.63 ^b	18.60 ^d	58.46 ^b	6.16 ^c
	A ₃ B ₁	87.17 ^a	14.93 ^b	30.16 ^{bc}	63.22 ^b	10.98 ^{ab}
株两优 2号 Zhu liangyou 2	A ₁	83.82 ^a	22.09 ^a	31.67 ^b	59.64 ^{ab}	9.87 ^b
	A ₂	83.42 ^a	19.71 ^a	38.11 ^a	61.62 ^a	12.05 ^a
	A ₃	83.39 ^a	20.48 ^a	39.92 ^a	57.43 ^b	12.33 ^a

附表 3

品种 Variety	处理 Treatment	总含水量 / % Total water content	SPAD	质膜透性 / % Membrane permeability	超氧化物 歧化酶 / (U/g) SOD	丙二醛 / (μmol/g) MDA
	B1	83.75 ^a	19.80 ^a	34.23 ^b	57.20 ^b	10.47 ^b
	B2	83.33 ^a	21.72 ^a	38.92 ^a	61.93 ^a	12.36 ^a
	A1B1	83.96 ^a	19.00 ^b	27.86 ^c	59.01 ^b	9.48 ^c
	A1B2	83.67 ^a	25.18 ^a	35.49 ^b	60.27 ^{ab}	10.25 ^c
	A2B1	83.47 ^a	19.19 ^b	43.52 ^a	59.31 ^{ab}	10.36 ^c
	A2B2	83.37 ^a	20.24 ^b	32.70 ^{bc}	63.92 ^a	13.73 ^a
	A3B1	82.92 ^a	21.20 ^b	31.31 ^{bc}	53.28 ^c	11.57 ^b
	A3B2	83.81 ^a	19.75 ^b	48.57 ^a	61.59 ^{ab}	13.09 ^a

3 结论与讨论

3.1 结论

“齐苗快”浸种有利于提高一叶一心期低温下直播水稻的成苗率和幼苗质量；湿润灌溉也有利于提高成苗率；“齐苗快”浸种结合湿润灌溉能显著提高水稻幼苗期低温下的成苗率，矮化壮苗效果显著，并能降低叶片质膜透性和MDA含量，对直播水稻栽培综合表现出良好的抗寒效果。

3.2 讨论

相对于清水浸种，“齐苗快”浸种条件下水稻成苗率和幼苗质量差异一致，其中“齐苗快”浸种对株两优2号的壮根效果要好于对湘早籼24号；从生理角度来看，“齐苗快”浸种处理顶1叶叶绿素含量较高、质膜透性和MDA含量低、SOD活性高，说明“齐苗快”浸种剂可能是以保持较好的光合生产能力和增强膜结构的稳定性来提高水稻幼苗自身的抗寒能力。淹水灌溉能显著提高湘早籼24号幼苗期人工低温下绿叶数、平均根直径；与之相比，株两优2号却恰相反。这在一定程度上说明常规稻湘早籼24号在淹水厌氧条件下幼苗能保持较强的光合生产能力和营养吸收能力。然而，无论是湘早籼24号，还是株两优2号，淹水灌溉显著降低了其幼苗期低温下的成苗率，这可能与低温胁迫下淹水灌溉处理膜透性显著增加有关。

致谢：本科生陈立凯、徐世千、伍楚莹、林宛云、栾伟，研究生吴洪宏、郑天翔、舒时富、贾兴娜、赵正琨参加了部分试验观测工作，特此致谢！

参考文献：

- [1] 罗锡文, 蒋恩臣, 王在满, 等. 开沟起垄式水稻精量穴直播机的研制[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 52-56
- [2] 罗锡文, 谢方平, 区颖刚, 等. 水稻生产不同栽植方式的比较试验[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 136-139
- [3] 罗锡文, 刘云. 水稻精量穴直播机与水田激光平地机[J]. 中国科技奖励, 2008(9): 21
- [4] 曾繁晶. 多效唑 (PP₃₃₃)对早稻抗低温能力与秧苗素质的影响[J]. 江西农业大学学报, 1988, 10(2): 113-118
- [5] 陈善坤, 曾晓春, 潘晓云, 等. 多效唑增强早稻秧苗抗寒力的研究[J]. 江西农业学报, 1989, 1(1): 23-28
- [6] 刘传飞. 多效唑对早稻秧苗矮化、促蘖及抗低温效应的研究[J]. 江西农业大学学报, 1989, 11(4): 6-12
- [7] 王人民, 杨肖娥, 杨玉爱. 不同Zn²⁺活度对水稻根和叶生长生理特性的影响[J]. 作物学报, 1999, 25(4): 466-473
- [8] 王人民, 陈光财, 张永鑫, 等. 锌离子活度对水稻膜透性的影响及基因型差异[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1114-1118
- [9] 梁颖, 王三根. Ca²⁺对低温下水稻幼苗膜的保护作用[J]. 作物学报, 2004, 27(1): 59-64
- [10] 万惠燕, 刘嘉杰, 王金祥, 等. 磷空间有效性对拟南芥根形态构型的影响[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(3): 425-429
- [11] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 302-303
- [12] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导论[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 119-123