



张家智,赵羽涵,杨晓贺,等.“双免”模式下不同播种密度对寒地水稻秧苗素质及酶活性的影响[J].黑龙江农业科学,2024(5):1-6.

“双免”模式下不同播种密度对寒地水稻秧苗素质及酶活性的影响

张家智¹,赵羽涵^{1,2},杨晓贺¹,姚亮亮¹,张茂明¹,邱磊¹,王自杰¹,丁俊杰¹

(1. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院 / 三江平原主要作物育种栽培重点实验室,黑龙江 佳木斯 154007;2. 黑龙江八一农垦大学 农学院 / 黑龙江省植物抗性研究中心,黑龙江 大庆 163319)

摘要:为有效缓解当前寒地水稻生产成本高、用工难、生产效率低等问题,促进节本增效和农业可持续发展,以垦粳8号为供试品种,采用单因素随机区组设计,播种量设4个水平处理(B_1 、 B_2 、 B_3 和 B_4 干种子量分别为100, 200, 250和300 g·盘⁻¹),常规处理(CK,100 g·盘⁻¹),研究“双免”技术下不同播种密度对水稻出苗率、秧苗素质、 α -淀粉酶活性及抗氧化酶活性的影响。结果表明,“双免”模式下,显著或极显著提高了水稻苗期出苗率、成苗率、胚乳残留量, B_3 处理较CK处理出苗率、成苗率和胚乳残留量2年平均增加10.77%、13.16%和46.19%;但随着播种量的增加,秧苗的茎基宽、根数、第一叶耳间距以及地上部干物质量均呈降低趋势。“双免”模式下水稻苗期 α -淀粉酶活性破胸期—立针期极显著高于常规对照,1.1叶期—2.1叶期极显著低于常规对照;随着播种密度的升高 α -淀粉酶活性(立针期—2.1叶期)呈先降低后升高趋势,且随着种子的萌发生长 α -淀粉酶活性呈逐渐降低趋势。水稻苗期叶片抗氧化酶活性“双免”模式均低于常规对照,超氧化物歧化酶、过氧化氢酶趋势一致,均随着播种密度的升高呈逐渐降低趋势。

关键词:水稻;“双免”模式;播种密度;秧苗素质;酶活性

世界水稻的种植面积占有所有作物的23%,是全球粮食的主要来源,水稻总产量占全部作物的27.5%^[1]。目前世界水稻种植面积约1.55亿hm²,我国水稻种植面积为0.31亿hm²,约占世界种植面积的20%^[2]。黑龙江省作为全国水稻种植面积、生产量和商品量大省,为国家粮食安全做出了巨大贡献。然而,近些年随着黑龙江省人口流失、插秧季节农时紧张、用工高度集中等问题,导致水稻生产成本逐年升高,降低了农户收益;且春季育秧时间过长、浸种液污染环境等问题不仅破坏农田生态,而且降低了土地利用效率。为此,节本高效育苗栽培迫在眉睫。针对以上问题,本研究将开展“双免”模式下不同播种密度对寒地水稻生长影响的相关研究。

所谓“双免”技术是指免去常规早育苗中的单独浸种和催芽两个环节,即免浸种、免催芽技术。方法是将包衣干种子直接播到浇透底水的硬盘育秧土或育秧基质中,覆盖后将秧盘垛叠20层左右,然后置于暗室中通过蒸汽加热至32℃左右出苗的一种新技术^[3]。该技术简化了生产流程、操作灵活、出苗条件标准一致、易于掌握,且能够缓

解农时紧张、解放生产力。免浸种省水、省力,且减少外排污水污染环境,暗室条件相同可控种子萌发快速、出苗整齐、出苗率高,因而,节约种子。可以说是一项高效、环保的新技术。

“秧好一半稻”,壮秧是高产的基础,要想获得高产必须培育出理想的壮秧。现种植水平,秧苗素质问题是制约水稻高产的瓶颈,而秧苗素质的好坏与播种密度也密切相关^[4-5]。水稻免催芽早育苗技术能提高秧苗素质,培育壮苗,在降低成本的同时实现增产增收。前人研究表明,播种量过高时,秧苗素质变弱,不利于水稻栽插后的返青活棵^[6];播种量过低时,单株秧苗素质较高,但是需要较大的土地面积,而且还容易滋生杂草^[7]。种子萌发所需要的物质和能量完全来源于贮存物质通过氧化分解而释放的能量,贮存物质的分解需要水解酶的参与,淀粉是水稻等禾谷类作物种子的主要储藏物质,相应的淀粉酶是水稻种子萌发过程中最重要的水解酶^[8-10]。植物在长期进化过程中,为保护自身免受伤害可通过一整套抗氧化保护系统来清除活性氧,以保持体内活性氧积累与清除的平衡,延缓植物衰老,维持植物正常的生

收稿日期:2024-02-11

基金项目:黑龙江省主要农作物有害生物监测预警与综合防控技术研究(GA22B014)。

第一作者:张家智(1995—),男,硕士,研究实习员,从事水稻栽培与植物病理相关研究。E-mail:781325632@qq.com。

通信作者:丁俊杰(1974—),男,博士,研究员,从事作物病虫害防治研究。E-mail:me999@126.com。

长和发育^[11-12]。POD、SOD 等是逆境条件下植物保持体内活性氧积累与清除系统平衡的保护物质,其活性与水稻秧苗素质密切相关,保护酶活性强的秧苗表现出较好的秧苗素质^[4]。

本研究主要是探究寒地水稻在“双免技术”下不同播种密度对水稻秧苗素质、 α -淀粉酶活性及抗氧化酶活性的变化,为寒地水稻高产优质节本栽培,发展绿色可持续农业提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年和 2022 年在大庆黑龙江八一农垦大学校区盆栽场进行,该地属北温带大陆性季风气候区,年太阳总辐射量 $491.1 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$,年降雨量约为 427 mm,年蒸发量 1 635 mm,年均日照时数达 2 726 h,无霜期为 166 d,年平均气温 $4.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,夏季平均气温 $23.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,农作物生长发育期气温日均 $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。

1.2 材料

1.2.1 供试水稻 垦粳 8 号,主茎 13 片叶,株高 94 cm 左右,穗长 187 cm 左右,千粒重 24 g 左右,生育期 142 d,需 $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温 2 650 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.2 供试种衣剂 精甲咯菌腈,总有效成分 $62.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,咯菌腈含量 $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,精甲霜灵含量 $37.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,剂型为悬浮种衣剂,先正达南通作物保护有限公司生产。

1.2.3 供试秧盘 水稻育秧硬盘和目前常规生产的毯式秧盘($580 \text{ mm} \times 280 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验采用单因素随机区组设计:播种量设 4 个水平处理(B_1 干种子量为 $100 \text{ g} \cdot \text{盘}^{-1}$, B_2 为 $200 \text{ g} \cdot \text{盘}^{-1}$, B_3 为 $250 \text{ g} \cdot \text{盘}^{-1}$, B_4 为 $300 \text{ g} \cdot \text{盘}^{-1}$),为研究“双免”技术与常规苗的差异,特别设置常规处理(CK 为 $100 \text{ g} \cdot \text{盘}^{-1}$)。按照常规生产进行播种及秧田管理至 2.0 叶左右,CK 处理按照常规生产进行浸种、催芽、播种及秧田管理至 3.1 叶左右。

种子包衣后阴干 48 h(每 10 kg 种子使用 $62.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 悬浮种衣剂 30~40 mL,加水稀释至 100~200 mL。然后将药浆与种子按比例充分搅拌,直到药液均匀分布到种子表面,而后晾干、播种),CK 处理进行包衣阴干后,恒温 $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 浸种 72 h,将种子用塑料膜包裹后再进行恒温 $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 催芽 24 h,于 2021 年、2022 年 4 月 25 日—26 日进

行播种;CK 较“双免”处理提前播种 7 d,以保证“双免”处理干种子和 CK 出苗时间一致。两类种子播种后放入恒温 $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 温室中培养至立针后,移至大棚内生长,期间的秧田管理同常规生产育苗,5 月 16 日—17 日进行移栽。

采用盆栽试验,盆高 30.5 cm,上直径 31 cm,下直径 26 cm,每盆装风干土 12 kg,每个处理 30 盆,施肥后搅浆(尿素 $0.48 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 、磷酸二铵 $0.79 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 、硫酸钾 $0.40 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$;施肥方式为拌土混施,将土用 40 目筛子过筛,与混合后的肥料按 1:1 拌匀,随后按每盆施用量进行施用)沉淀 2~3 d,然后插秧。插秧基本苗每盆 3 穴,每穴 6 苗,插秧后深水护苗返青,浅水增温促蘖。分蘖肥(尿素 $0.26 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$;按照 $5 \text{ mL} \cdot \text{盆}^{-1}$ 比例将肥料与清水混合,需充分搅拌,直至水中无肥料颗粒,混合后用注射器 $5 \text{ mL} \cdot \text{盆}^{-1}$ 精准施肥,下同)于第 4 叶后半叶施入,施肥时盆中要有浅水层;调节肥(尿素 $0.18 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$)于倒 4 叶后半叶施入;穗肥(尿素 $0.26 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$ 、硫酸钾 $0.40 \text{ g} \cdot \text{盆}^{-1}$) 在倒 2 叶长出一半时施入,幼穗发育期进行水层灌溉,保持浅水层。抽穗扬花期,水层保持在 3~5 cm,齐穗后进入浅湿干间歇灌溉。其他本田管理措施按照常规生产进行。

1.3.2 测定项目及方法 出苗率:将播种后的秧盘放入恒温 $32 \sim 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养箱内(立针达到 80%),取相同面积幼苗($10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$),数出立针苗数和所有种子数量,计算种子出苗率,3 次重复。

出苗率(%) = 出苗数/种子数 $\times 100$ ^[13]

成苗率:将播种后的秧盘放入恒温 $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 培养箱内 72 h 后,移至常规大棚中,80% 达到 2.0 叶左右时,取出相同面积($10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$)秧苗(苗高未达到平均苗高的 1/3 为非成苗),计算水稻成苗率,3 次重复。

成苗率(%) = 成苗数/种子数 $\times 100$ ^[14]

秧苗素质测定:移栽前每处理随机选取 30 株秧苗测定株高、叶龄、根数、茎基宽、第一叶耳间距、第二叶耳间距、根长;每处理随机选取 100 株秧苗测量地上鲜重、地下鲜重、地上干重、地下干重^[15],3 次重复。

胚乳残留量:移栽前,将秧苗种子部分取下,取出种子中残留的胚乳,并烘干称重,每组 10 粒^[16],3 次重复。

α -淀粉酶测定:选取破胸期、立针期、1.1 叶期、2.1 叶期种子^[14],用液氮固定后于 $-80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中保存,用于测定 α -淀粉酶活性,采用北

京索莱宝科技有限公司提供的生化试剂盒测定,3 次重复,其中样品测定前处理与具体操作步骤按试剂盒说明书进行。根据标准管的浓度($x, \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)和吸光度 $\Delta A_{\text{标准}}$ ($y, \Delta A_{\text{标准}}$),建立标准曲线。根据标准曲线将 $\Delta A_{\text{测定}}$ 代入方程得到 x 。计算公式见公式(1)。

$$\alpha\text{-淀粉酶活性}(\text{U} \cdot \text{g}^{-1}) = x \times v_{\text{样}} / (W \times V_{\text{样}} / V_{\text{样总}}) / T = 2 \times x / W$$

(1)

$$\text{SOD 抑制百分率}(\%) = (\Delta A_{\text{空白}} - \Delta A_{\text{测定}}) / \Delta A_{\text{空白}} \times 100$$

(2)

$$\begin{aligned} \text{SOD}(\text{U} \cdot \text{g}^{-1}) &= [\text{抑制百分率} / (1 - \text{抑制百分率}) \times V_{\text{反总}}] / (W \times V_{\text{样}} / V_{\text{样总}}) \times F \\ &= 11.4 \times \text{抑制百分率} / (1 - \text{抑制百分率}) / W \times F \end{aligned}$$

(3)

$$\text{POD}(\text{U} \cdot \text{g}^{-1}) = \Delta A \times V_{\text{反总}} / (W \times V_{\text{样}} / V_{\text{样总}}) / 0.01 / T = 7133 \times \Delta A / W$$

(4)

$$\text{CAT}(\text{U} \cdot \text{g}^{-1}) = [\Delta A \times V_{\text{反总}} / (\epsilon \times d) \times 10^6] / (W \times V_{\text{样}} / V_{\text{样总}}) / T = 678 \times \Delta A / W$$

(5)

$$\begin{aligned} \text{MDA}(\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}) &= (6.45 \times (\Delta A_{532} - \Delta A_{600}) - 1.29 \times \Delta A_{450}) \times V_{\text{总}} / (W \times V_{\text{样本}} / V_{\text{提取}}) \\ &= 5 \times (6.45 \times (\Delta A_{532} - \Delta A_{600}) - 1.29 \times \Delta A_{450}) \end{aligned}$$

(6)

式中, $V_{\text{反总}}$ 为反应总体积; $V_{\text{样}}$ 为加入反应体系中的样本体积; $V_{\text{样总}}$ 为加入提取液体积; W 为样本质量; T 为反应时间,1 min; N 为细胞或细菌总数; F 为样本稀释倍数; ϵ 为 H_2O_2 摩尔消光系数, $43.6 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$; d 为比色皿光径,1 cm; $V_{\text{提取}}$ 为加入提取液体积。

1.3.3 数据分析 采用 DPS 7.05 软件进行数据统计与分析,数据整理与图表制作采用 Excel 2003。

2 结果与分析

2.1 “双免”模式下不同播种量对水稻出苗情况的影响

由表 1 可知,2021 年和 2022 年试验中均以

抗氧化酶活性测定:将移栽前幼苗叶片,用液氮固定后于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱保存,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)采用北京索莱宝科技有限公司提供的生化试剂盒测定,3 次重复。计算公式见公式(2)~(6)。

B_3 处理的出苗率、成苗率、胚乳残留量最大。 B_3 处理出苗率、成苗率显著或极显著高于 B_4 及 CK 处理,2021 年 B_3 处理出苗率和成苗率较 B_4 增加 7.91%和 9.30%,较 CK 增加 10.46%和 12.64%,2022 年 B_3 处理出苗率和成苗率较 B_4 增加 7.36%和 9.86%,较 CK 增加 11.08%和 13.68%。2021 年和 2022 年 B_3 处理胚乳残留量较 CK 处理极显著增加 47.67%和 44.71%;且“双免”模式下不同播种密度处理各指标均显著或极显著高于 CK 处理,表明“双免”模式有效提高了水稻种苗率及胚乳残留量。

表 1 “双免”模式下不同播种量对水稻出苗率、成苗率及胚乳残留量的影响

年份	处理	出苗率/%	成苗率/%	胚乳残留量/($\text{mg} \cdot \text{粒}^{-1}$)
2021	B_1	$85.41 \pm 0.94 \text{ abA}$	$81.14 \pm 0.91 \text{ bB}$	$58.20 \pm 0.34 \text{ aA}$
	B_2	$85.11 \pm 0.76 \text{ abA}$	$80.75 \pm 1.17 \text{ bB}$	$61.80 \pm 0.66 \text{ aA}$
	B_3	$90.01 \pm 0.84 \text{ aA}$	$87.43 \pm 0.91 \text{ aA}$	$62.17 \pm 0.57 \text{ aA}$
	B_4	$83.41 \pm 0.95 \text{ bAB}$	$79.99 \pm 0.65 \text{ bB}$	$59.33 \pm 0.51 \text{ aA}$
	CK	$81.49 \pm 0.82 \text{ cB}$	$77.62 \pm 0.43 \text{ cC}$	$42.10 \pm 0.47 \text{ bB}$
2022	B_1	$88.34 \pm 1.00 \text{ abA}$	$81.32 \pm 0.97 \text{ bB}$	$58.33 \pm 0.65 \text{ aA}$
	B_2	$86.35 \pm 0.74 \text{ bAB}$	$80.64 \pm 0.74 \text{ bB}$	$57.67 \pm 0.54 \text{ aA}$
	B_3	$91.05 \pm 0.85 \text{ aA}$	$83.67 \pm 1.11 \text{ aA}$	$59.33 \pm 0.68 \text{ aA}$
	B_4	$84.81 \pm 0.94 \text{ cC}$	$76.16 \pm 0.93 \text{ bB}$	$57.00 \pm 0.43 \text{ aA}$
	CK	$81.97 \pm 0.64 \text{ dD}$	$73.60 \pm 0.57 \text{ cC}$	$41.00 \pm 0.31 \text{ bB}$

注:表中不同大小写字母表示处理间在 $P<0.01$ 或 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.2 “双免”模式下不同播种量对水稻秧苗素质的影响

由表 2 可知,“双免”模式 B_4 处理株高两年均极显著高于 CK 处理,分别增加 16.62%和 9.11%,表明高密度播种会增加水稻苗期株高;双免模式下,随着播种密度的升高,根数呈逐渐下降趋势,

CK 处理根数 2021 年高于“双免”模式,但 2022 年 CK 处理根数仅高于 B_4 处理,低于其他处理;根长中“双免”模式随着播种密度升高 2021 无明显规律,2022 年呈逐渐升高趋势,且均高于 CK 处理;茎基宽、第一叶耳间距指标中,“双免”模式下两年趋势一致,均随着播种密度的升高呈逐渐降

低趋势,表明高密度播种会降低水稻苗期茎基宽,CK 处理显著或极显著高于“双免”模式,主要原因 CK 处理移栽叶龄为 3.1 叶;地上、地下干重指标中,“双免”模式下地上干重呈 $B_1 > B_2 > B_3 >$

B_4 趋势,地下干重无明显趋势,CK 处理 2021 年极显著高于“双免”模式,而 2022 年则低于“双免”模式各处理,可能与苗期积温有关,有待后续研究。

表 2 “双免”模式下不同播种量对水稻秧苗素质的影响

年份	处理	株高/ cm	叶龄/ 叶	根数/ 个	根长/ cm	茎基宽/ mm	第一叶耳间距/ cm	百株地上干重/ g	百株地下干重/ g
2021	B ₁	15.70±0.21 aA	1.98±0.01 bB	7.23±0.10 aA	5.59±0.13 aA	1.50±0.01 abA	1.12±0.01 bB	2.03±0.01 bB	1.71±0.01 bB
	B ₂	15.35±0.22 aA	1.99±0.03 bB	6.80±0.06 aA	5.57±0.06 aA	1.49±0.01 abA	0.67±0.01 bcBC	1.81±0.03 cC	1.72±0.01 bB
	B ₃	15.02±0.21 aA	1.93±0.03 bB	6.63±0.25 aA	5.62±0.11 aA	1.43±0.01 abA	0.25±0.01 cBC	1.67±0.01 dD	1.37±0.01 cC
	B ₄	15.65±0.15 aA	1.91±0.01 bB	6.43±0.30 aA	5.51±0.20 aA	1.33±0.02 bA	0.12±0.01 cC	1.65±0.01 dD	1.65±0.02 bB
	CK	13.42±0.19 bB	3.18±0.01 aA	7.30±0.01 aA	5.54±0.01 aA	1.80±0.02 aA	2.04±0.01 aA	2.60±0.02 aA	2.03±0.01 aA
2022	B ₁	12.36±0.06 bAB	2.14±0.06 bB	9.65±0.05 aA	6.48±0.21 cBC	1.65±0.02 bB	0.61±0.01 bB	1.88±0.01 aA	1.39±0.01 aA
	B ₂	10.32±0.16 dD	2.01±0.03 dC	9.50±0.06 aA	6.73±0.01 bcBC	1.63±0.01 bB	0.54±0.01 bB	1.66±0.01 bB	1.38±0.01 aA
	B ₃	11.21±0.13 cC	2.06±0.01 cdC	8.20±0.05 bB	7.22±0.03 abAB	1.50±0.01 cBC	0.53±0.01 bB	1.47±0.01 cC	1.36±0.01 aA
	B ₄	13.06±0.09 aA	2.06±0.01 cC	7.47±0.08 cB	7.57±0.01 aA	1.45±0.01 cC	0.50±0.01 bB	1.43±0.01 cC	1.43±0.02 aA
	CK	11.97±0.26 bBC	3.10±0.06 aA	7.90±0.12 bcB	6.23±0.01 cC	2.00±0.03 aA	2.02±0.01 aA	1.18±0.02 dD	1.35±0.01 aA

2.3 “双免”模式下不同播种量对水稻苗期 α-淀粉酶活性的影响

由表 3 可知,“双免”模式下,破胸期水稻 α-淀粉酶活性随着播种密度升高呈先下降后上升趋势,B₃ 处理达到最低值,立针期—2.1 叶期处理间规律一致,在 B₂ 处理达到最低值,之后随着播

种密度的升高呈逐渐升高趋势,与 CK 处理相比,破胸期—立针期各处理均极显著高于 CK 处理,而 1.1 叶期—2.1 叶期 CK 处理均极显著高于“双免”模式;破胸期—2.1 叶期“双免”模式各处理 α-淀粉酶活性呈逐渐下降趋势,而 CK 处理呈逐渐升高趋势。

表 3 “双免”模式下不同播种量对水稻苗期 α-淀粉酶活性的影响

年份	处理	α-淀粉酶活性/(U·g ⁻¹)			
		破胸期	立针期	1.1 叶期	2.1 叶期
2022	B ₁	6.09±0.09 aA	5.29±0.03 aA	3.23±0.01 bB	2.89±0.01 bB
	B ₂	4.19±0.01 cC	2.80±0.02 dD	1.27±0.01 dD	1.07±0.02 eE
	B ₃	3.77±0.02 dD	3.07±0.01 cC	2.16±0.01 cC	1.96±0.01 dD
	B ₄	5.52±0.05 bB	4.09±0.01 bB	2.18±0.01 cC	2.74±0.01 cC
	CK	1.41±0.01 eE	1.66±0.01 eE	8.80±0.04 aA	9.94±0.05 aA

2.4 “双免”模式下不同播种量对水稻苗期抗氧化酶活性的影响

由表 4 可知,水稻苗期超氧化物歧化酶、过氧化氢酶趋势一致,均随着播种密度升高而降低,呈 $B_1 > B_2 > B_3 > B_4$ 的趋势,且 CK 处理均极显著高于“双免”模式;“双免”模式下过氧化物酶活性无

明显规律,B₃ 处理最大,B₂ 处理最低,CK 处理极显著高于“双免”模式;丙二醛随着播种密度的升高,呈先下降后上升趋势,B₃ 处理达到最低值,CK 处理极显著高于“双免”模式;苗期抗氧化酶活性 CK 处理均极显著高于“双免”模式,表明 CK 处理苗期抗逆性高于“双免”模式。

表 4 “双免”模式下不同处理对水稻苗期抗氧化酶活性的影响

年份	处理	超氧化物歧化酶/(U·g ⁻¹)	过氧化物酶/(U·g ⁻¹)	过氧化氢酶/(U·g ⁻¹)	丙二醛/(nmol·g ⁻¹)
2022	B ₁	91.13±0.13 bB	21591.55±152.11 cC	51.27±1.21 bB	25.93±0.52 bB
	B ₂	78.37±0.32 cC	16769.34±196.36 dD	47.77±0.98 cC	24.20±0.33 bB
	B ₃	69.90±0.52 dD	25424.62±194.62 bB	47.39±1.25 cC	18.96±0.25 cC
	B ₄	62.77±0.58 eE	21325.37±216.36 cC	42.21±0.69 dD	20.74±0.42 cC
	CK	97.93±0.96 aA	33652.26±269.48 aA	64.42±0.69 aA	33.46±0.13 aA

3 讨论

王志刚等^[17]研究表明,随着播种密度的增加,秧苗素质呈降低趋势,但出苗率不随播种量的增加而降低;本研究结果与之相同,“双免”模式下,水稻种子出苗率、成苗率、胚乳残留量均极显著高于 CK 处理,表明“双免”模式苗期可以使秧苗出苗速度快、出苗整齐;不同密度中 B₄ 处理出苗率、成苗率最低,表明过高密度播种会降低水稻出苗率、成苗率。李忠芹等^[18]研究表明,随着播种量的增加,秧苗的株高、秧龄、茎基宽、地上部干物质量、地下部干物质量以及根数均呈降低趋势;本研究结果与上述结果部分相符,其中根数、茎基宽、第一叶耳间距、地上干重指标均随着播种密度的升高呈逐渐下降的趋势;与 CK 相比,2022 年根长、根数、地上、地下干重指标均高于 CK 处理,而 2021 年部分指标低于 CK 处理,可能是苗期温度不同,对“双免”模式影响较大,具体原因有待后续研究。

淀粉酶是水稻种子萌发初期最重要的水解酶,水稻种子萌发过程中,胚乳中的碳水化合物在淀粉酶的作用下转化为糖,然后运往胚的生长部位,为胚提供形成新组织时所需的原料和发芽所需的能量^[19]。不同类型作物品种 α -淀粉酶的含量有较大差异^[20], α -淀粉酶活性还受环境条件的影响。干旱胁迫能使水稻体内 α -淀粉酶活性增高^[21-22]。无氧条件下,水稻糊粉层中 α -淀粉酶活性下降,而胚中 α -淀粉酶活性增高^[23]。由于同一栽培模式下水稻秧苗生理指标差距较小,故只对 2022 年不同“双免”模式下水稻生理指标进行分析。本研究表明,“双免”模式下,苗期 α -淀粉酶活性随着播种密度的升高呈先降低后升高的趋势,且随着水稻种子的萌发生长 α -淀粉酶活性呈逐渐降低趋势,破胸期—立针期极显著高于 CK 处理,1.1 叶期—2.1 叶期极显著低于 CK;表明高密度播种会降低水稻苗期 α -淀粉酶活性。潘胜刚等^[24]研究表明,水稻秧苗 POD 和 SOD 活性随着播种密度的增加而显著降低,且随着秧苗秧龄的增大,播种密度的增加对秧苗素质的不良影响更加显著。胡文河等^[25]研究表明,低密度播种能显著增加其抗氧化酶活性。本研究表明,水稻苗期超氧化物歧化酶、过氧化氢酶趋势一致均随着播种密度的升高呈逐渐降低趋势,丙二醛则呈先下降后上升趋势,过氧化物酶无明显趋势;与 CK 处理相

比,“双免”模式水稻苗期抗氧化酶活性均显著或极显著低于 CK 处理,表明“双免”模式降低了苗期抗逆性。

4 结论

“双免”模式显著或极显著地提高了水稻苗期出苗率、成苗率、胚乳残留量,B₃ 处理较 CK 处理出苗率、成苗率和胚乳残留量两年平均增加 10.77%、13.16% 和 46.19%。与常规对照相比“双免”模式增加了 2022 年根长、根数、地上、地下干重;但随着播种量的增加,秧苗的茎基宽、根数、第一叶耳间距以及地上部干物质量均呈降低趋势。“双免”模式下水稻苗期 α -淀粉酶活性破胸期—立针期极显著高于常规对照,1.1 叶期—2.1 叶期极显著低于常规对照;随着播种密度的升高 α -淀粉酶活性呈先降低后升高趋势(立针期—2.1 叶期),且随着种子的萌发生长 α -淀粉酶活性呈逐渐降低的趋势。水稻苗期叶片抗氧化酶活性“双免”模式均低于常规对照,超氧化物歧化酶、过氧化氢酶趋势一致均随着播种密度的升高呈逐渐降低的趋势。

参考文献:

- [1] 刘方华. 水稻高产高效测土配方施肥最佳 NPK 用量研究[D]. 重庆:西南大学,2014.
- [2] 徐正进,陈温福. 中国北方硬型超级稻研究进展[J]. 中国农业科学,2016,49(2):239-250.
- [3] 刘雪,谭秀凤,李金凤. 水稻免催芽播种试验[J]. 北方水稻,2020,50(5):26-28.
- [4] 官春云. 现代作物栽培学[M]. 北京:高等教育出版社,2011.
- [5] 凌启鸿. 作物群体质量栽培[M]. 上海:上海科技出版社,2001.
- [6] 姜心禄,池忠志,郑家国,等. 成都平原稻麦两熟区机插秧育秧技术研究[J]. 西南农业学报,2007,20(5):959-964.
- [7] 姚雄,杨文钰,任万军. 育秧方式与播种量对水稻机插长龄秧苗的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(6):152-157.
- [8] 赵玉锦,王台. 水稻种子萌发过程中 α -淀粉酶与萌发速率关系的分析[J]. 植物学通报,2001(2):226-230.
- [9] JIA Y, ZOU D T, WANG J G, et al. Effects of γ -aminobutyric acid, glutamic acid, and calcium chloride on rice (*Oryza sativa* L.) under cold stress during the early vegetative stage[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2017, 36(1): 240-253.
- [10] CARRERA-CASTAÑO G, CALLEJA-CABRERA J, PERNAS M, et al. An updated overview on the regulation of seed germination[J]. Plants, 2020,9(6):703.
- [11] PAN S G, RASUL F, LI W, et al. Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme activities in super hybrid rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Rice,

- 2013,6(1):9.
- [12] 徐青山,黄晶,孙爱军,等. 低温影响水稻发育机理及调控途径研究进展[J]. 中国水稻科学,2022,36(2):118-130.
- [13] 中华人民共和国国家标准. 农作物种子检验规程:GB/T 3543—1995[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [14] 李红宇. 水稻田间试验实用手册[M]. 2 版. 北京:中国农业出版社,2021.
- [15] 张卫星,朱德峰,林贤青,等. 不同播量及育秧基质对机插水稻秧苗素质的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2007,28(1):45-48.
- [16] 周宏伟. 水稻籽粒在萌发过程中胚乳消耗和淀粉体形态的变化[D]. 扬州:扬州大学,2006.
- [17] 王志刚,秦叶波,王亚梁,等. 播种量和育秧方式对籼梗杂交稻甬优 1540 秧苗素质的影响[J]. 中国稻米,2022,28(4):95-98.
- [18] 李忠芹,孙大武,司宏明,等. 南粳 9108 钵苗机插不同播种量对比试验研究[J]. 大麦与谷类科学,2017,34(1):33-35.
- [19] BROWN H T, MORRIS G H. Researches on the germination of some of the Gramineae[J]. Journal of the Chemistry Society, 1980, 57:458-528.
- [20] 赵玉锦,王台. 水稻种子萌发过程中 α -淀粉酶与萌发速率关系的分析[J]. 植物学通报,2001,18(2):226-230.
- [21] 李爱莉. 藜麦 α -淀粉酶抑制剂基因的克隆及对转基因水稻发芽特性的研究[D]. 成都:成都大学,2021.
- [22] 张绩,周上铃,何发,等. 水稻 α -淀粉酶基因的表达模式与颖花开放的关系[J]. 中国农业科学,2023,56(7):1275-1282.
- [23] 何俊瑜,任艳芳,朱诚,等. 镉胁迫对不同水稻品种种子萌发、幼苗生长和淀粉酶活性的影响[J]. 中国水稻科学, 2008,22(4):399-404.
- [24] 潘圣刚,闻祥成,田华,等. 播种密度和壮秧剂对水稻秧苗生理特性的影响[J]. 华南农业大学学报,2015,36(3):32-36.
- [25] 胡文河,王兴录,刘振库. 不同密度水稻抽穗后生理特性的研究[J]. 吉林农业大学学报,2006,28(6):594-596,605.

Effects of Different Seeding Densities on Seedling Quality and Enzyme Activity of Rice in Cold Region Under “Double Immunity” Mode

ZHANG Jiazhi¹, ZHAO Yuhan^{1,2}, YANG Xiaohe¹, YAO Liangliang¹, ZHANG Maoming¹, QIU Lei¹, WANG Zijie¹, DING Junjie¹

(1. Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Main Crop Breeding and Cultivation in Sanjiang Plain, Jiamusi 154007, China; 2. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University / Plant Resistance Research Center of Heilongjiang Province, Daqing 163319, China)

Abstract: In order to effectively alleviate the problems of high production cost, difficult labor and low production efficiency of rice in cold areas, promote cost saving, efficiency increase and sustainable agricultural development. The experiment took Kenjing 8 as the test variety, and a single factor randomized block design was adopted: sowing amount 4 level (B1, B2, B3 and B4 dry seed amount 100, 200, 250 and 300 g per plate, respectively), and conventional treatment (CK, 100 g per plate). The effects of different seeding densities on rice emergence rate, seedling quality, α -amylase activity and antioxidant enzyme activity were studied. The results showed that under the “double immunity” mode of no soaking seed and no spurting, the emergence rate, seedling formation rate and endosperm residue of rice seedling were significantly increased. Compared with CK treatment, B3 treatment increased by 10.77% (emergence rate), 13.16% (seedling formation rate) and 46.19% (endosperm residue) in 2 years. However, with the increase of seeding amount, the stem base width, root number, the distance between the first ear and the dry matter mass of the above ground decreased. The activity of α -amylase in seedling stage was significantly higher than that in conventional control at thoracolapril-injection stage, and significantly lower at 1.1 leaf stage — 2.1 leaf stage under double immunity mode. The α -amylase activity decreased first and then increased with the increase of seeding density, and decreased gradually with the germination and growth of seeds. The activity of antioxidant enzymes in rice leaves in the “double immunity” mode was lower than that in the conventional control, and the trends of superoxide dismutase and catalase showed a decreasing trend with the increase of seeding density.

Keywords: rice; “double immunity” mode; seeding density; seedling quality; enzyme activity