

“双免密苗”技术对寒地水稻秧苗素质及酶活性的影响

张家智^{1,2} 赵羽涵² 丁俊杰¹ 姚亮亮¹ 邱磊¹ 张茂明¹

王自杰¹ 高雪冬¹ 黄成亮¹ 崔士泽³ 杨晓贺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, 154007, 黑龙江佳木斯; ² 黑龙江八一农垦大学农学院/黑龙江省教育厅寒地作物种质改良与栽培重点实验室, 163319, 黑龙江大庆; ³ 黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所, 150028, 黑龙江哈尔滨)

摘要 “双免密苗”可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。明确“双免密苗”技术对水稻秧苗素质及苗期酶活性的影响, 可为节本增效和农业可持续发展提供理论依据和技术支撑。试验以垦粳8号为供试品种, 设2个种子类型(G: 干种子, Y: 芽种)和3个播种量(B₁: 200 g/盘, B₂: 250 g/盘, B₃: 300 g/盘), 共6个处理, 研究“双免密苗”对水稻出苗率、秧苗素质、 α -淀粉酶及抗氧化酶活性等的影响。结果表明, “双免”G模式提高了水稻苗期的出苗率、成苗率和胚乳残留量; 在播种量因素中, 2年的出苗率和成苗率B₂处理均高于B₁处理; 胚乳残留量随着播种量的升高呈逐渐降低的趋势。根数B₁处理2年均高于B₂和B₃处理; 2年茎基宽均呈B₁>B₂>B₃趋势。种子破胸期、立针期随着播种量的升高 α -淀粉酶活性均呈逐渐升高趋势, 2.1叶期随着播种量的升高呈下降趋势。其中B₂、B₃处理 α -淀粉酶活性随着幼苗生长呈逐渐降低趋势。叶片抗氧化酶活性均随着播种量的升高呈逐渐下降趋势。

关键词 水稻; 双免; 密苗; 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1.60亿hm²(23.97亿亩), 我国水稻种植面积为0.3亿hm²(4.5亿亩), 约占世界种植面积的18.77%^[2]。被誉为“中华大粮仓”的黑龙江省, 截至2021年水稻种植面积达到388万hm²(5814万亩), 已成为全国水稻种植面积、生产量和商品量大省, 在我国稻米市场上具有至关重要的地位^[3-4]。黑龙江省水稻种植自从推广了水稻旱育苗栽培技术后, 已经取得巨大的成就, 水稻机械化插秧的比例达85%以上, 育苗插秧栽培对水稻丰产稳产贡献颇大。然而, 水稻旱育苗栽培技术存在诸多问题, 包括浸种液污染环境、育秧时间长、秧田面积大和成本高等, 此外, 还存在插秧季节农时紧张、用工高度集中、劳动强度大、工费高及易延误农时^[5]等问题, 可见, 节本高效育苗栽培迫在眉睫。

“双免技术”是指免去常规旱育苗中的单独浸种和催芽2个环节, 即免浸种、免催芽技术, 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^[6]。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。免浸种省水、省力, 又可减少外排污水污染环境, 同时暗室条件相同可控使种子萌发快速, 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。“密苗技术”是近年由日本提出的高效节本技术, 其播种量由常规的100~150 g/盘增加2~3倍, 育秧期在14~21 d, 在苗高10~15 cm、叶龄2.0~2.3时移栽, 与常规中苗相比秧田面积减少2/3左右、播种及运秧时间减少2/3左右, 秧盘、盘土及大棚材料费可节约1/2左右, 其他管理与常规育苗相同, 是省力节本的低成本稻作技术。

水稻育出壮苗是决定产量的重要因素之一, 播种量直接影响秧苗素质^[7-8]。胡剑锋等^[9]研究表明, 播种密度对除百株苗干质量和根冠比之外的秧苗素质各指标有极显著影响, 其中秧苗充实度、成苗率、发根力、百株苗干质量、地上部氮素积累量以及分蘖发生率均有随播种密度增加而降低的趋势。李玉祥等^[10]研究表明, 随着水稻播种量的增加, 秧苗发根力变差, 苗基宽、地上部和根系干质量降

作者简介: 张家智, 研究方向为水稻高产与优质栽培, E-mail: 781325632@qq.com

杨晓贺为通信作者, 研究方向为作物病害防治, E-mail: yangxiaohu_2000@163.com

基金项目: 农作物病害绿色高效防控技术集成与示范推广(CX23GG13); 黑土地保护与利用科技创新工程专项资助(XDA28100000); 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)

收稿日期: 2023-07-06; 修回日期: 2023-08-28; 网络出版日期: 2024-05-21

低，秧苗素质变差。淀粉酶是淀粉类种子萌发过程中最主要的水解酶类。淀粉酶在种子的萌发初期有着至关重要的作用，其活性的高低直接影响着包括水稻在内的禾谷类种子的萌发^[11]。较高的保护酶活性可有效防止叶片产生活性氧等氧化物质对细胞结构的破坏^[12]。前人^[13]研究表明，随着播种量的增加，超氧化物歧化酶（SOD）和过氧化物酶（POD）活性增加；而刘岩^[14]研究表明，高密度播种会降低苗期 SOD 和 POD 活性。

本研究主要探究寒地水稻在“双免密苗”高效育苗技术下出苗率、秧苗素质、 α -淀粉酶及抗氧化酶活性的变化，为寒地水稻高产优质节本栽培提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验材料

试验于 2021–2022 年在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，年总辐射量 491.1 kJ/cm²，年降水量约 427 mm，年蒸发量 1635 mm，年均日照时数达 2726 h，无霜期 166 d，年均气温 4.2 °C，夏季平均气温 23.2 °C，农作物生长发育期日均气温 10 °C 以上。

供试水稻品种为“垦粳 8 号”。供试种衣剂为精甲咯菌腈（总有效成分 62.5 g/L，咯菌腈含量 25 g/L，精甲霜灵含量 37.5 g/L，悬浮种衣剂，由先正达南通作物保护有限公司生产）。供试秧盘为水稻育秧硬盘和目前常规生产的毯式秧盘。

1.2 试验设计

试验采用二因素完全随机设计。设 2 个种子类型（G：干种子，Y：芽种）和 3 个播种量水平（B₁：200 g/盘，B₂：250 g/盘，B₃：300 g/盘），共 6 个处理组合，每个处理 4 盘。各处理组合如表 1。

表 1 处理组合方式
Table 1 Processing combinations

种子类型 Type of seeding	播种量 Seeding rate	处理 Treatment	移栽叶龄 Transplanting leaf age
G	B ₁	GB ₁	2.0 叶左右
	B ₂	GB ₂	
	B ₃	GB ₃	
Y	B ₁	YB ₁	2.0 叶左右
	B ₂	YB ₂	
	B ₃	YB ₃	

种子包衣后阴干 48 h（每 10 kg 种子使用

62.5 g/L 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，然后晾干、播种），Y 处理进行包衣阴干后，30 °C 恒温浸种 72 h，将种子用塑料膜包裹后再进行恒温 30 °C 催芽 24 h，分别于 2021、2022 年 4 月 25–26 日进行播种；G 较 Y 提前播种 24 h，以保证 G（干种子）和 Y（芽种）出苗时间一致。2 类种子播种后放入恒温 30 °C 温室中培养至立针后，移至大棚内生长至 2.0~2.3 叶，期间的秧田管理同常规生产育苗。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 出苗率 将播种后的秧盘放入 30 °C 恒温培养箱内（立针达到 80%），取相同面积幼苗，数出立针苗数和所有种子数量，计算种子出苗率，共 3 次重复。出苗率（%）=出苗数/种子数×100^[15]。

1.3.2 成苗率 将播种后的秧盘放入 30 °C 恒温培养箱内 72 h 后，移至常规大棚中进行生长，80% 达到 2.0 叶左右时，取出相同面积秧苗（苗高未达到平均苗高的 1/3 为非成苗），计算水稻成苗率，共 3 次重复。成苗率（%）=成苗数/种子数×100^[16]。

1.3.3 秧苗素质 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、第二叶耳间距和根长；每个处理随机选取 100 株秧苗测量地上鲜重、地下鲜重、地上干重和地下干重^[17]，3 次重复。

1.3.4 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^[18]，3 次重复。

1.3.5 α -淀粉酶活性 于 2022 年选取破胸期、立针期、1.1 叶期、2.1 叶期种子，用液氮固定后于 -80 °C 超低温冰箱保存，采用北京索莱宝科技有限公司提供的生化试剂盒测定 α -淀粉酶活性，3 次重复，按试剂盒说明书进行样品测定前处理与具体操作步骤。

1.3.6 抗氧化酶活性 于 2022 年选取移栽前幼苗叶片，用液氮固定后于 -80 °C 超低温冰箱保存，采用北京索莱宝科技有限公司提供的生化试剂盒测定 SOD、POD、过氧化氢酶（CAT）活性和丙二醛（MDA）含量，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。

1.4 数据处理

采用 DPS 7.05 软件进行数据统计与分析，采用 Microsoft Excel 2003 整理数据与制作图表。

2 结果与分析

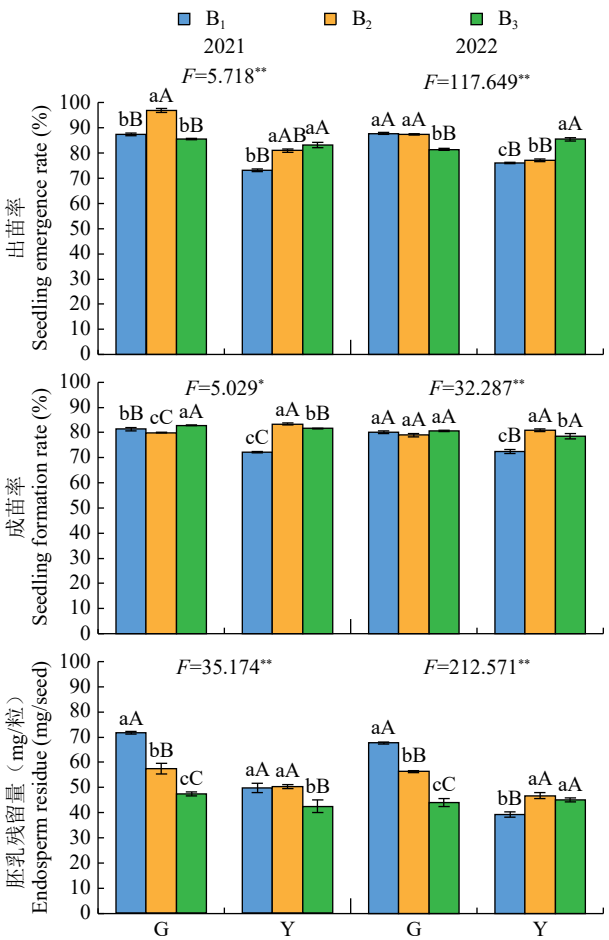
2.1 “双免密苗”对水稻出苗率、成苗率及胚乳残留量的影响

由图 1 可知，水稻出苗率、成苗率和胚乳残留量 2 年趋势一致，G 模式均显著或极显著高于 Y 模式。2021 年 G 模式较 Y 模式分别增长 13.78%、2.86%、23.87%，2022 年分别增长 7.56%、3.31%、28.23%。在播种量因素中，2 年的出苗率、成苗率 B₂ 处理均高于 B₁ 处理；胚乳残留量随着播种量的升高，2 年均呈现 B₁>B₂>B₃ 的趋势，处理间差异达到显著或极显著水平。二因素互作均达显著或极显著水平。

由表 2 可知，在 2 年各指标相关性分析中，播种量与胚乳残留量呈负相关（ $r=-0.69$ 、 -0.39 ），但相关性不显著；2022 年出苗率与胚乳残留量呈显著正相关（ $r=0.76^*$ ）；成苗率与其他指标均呈正相关，相关性不显著；胚乳残留量与除播种量外的其他指标均呈正相关。

2.2 “双免密苗”对水稻秧苗素质的影响

由表 3 可知，G 模式株高显著或极显著高于 Y 模式，2 年分别增加 7.95%和 14.61%；根数指标中，2 种模式间差异不显著；根长指标中，2021 年 2 种模式间差异不显著，2022 年 G 模式显著高于 Y 模式，增加 4.96%；G 模式茎基宽 2 年均高于 Y 模式，2022 年差异达到极显著水平；G 模式第一叶耳间距极显著低于 Y 模式，百株干重除 2022 年 G 模式地下干重与 Y 模式相近外，地上、地下百株干重 Y 模式均极显著高于 G 模式，且二因素互作达极显著。播种量间，株高随着播种量的增加，2 年分别



不同小写字母表示处理间差异达显著水平（ $P<0.05$ ）。不同大写字母表示处理间差异达极显著水平（ $P<0.01$ ）。 “*”和“**”分别表示两因素间互作达显著或极显著差异。
Different lowercase letters indicate a significant difference among treatments ($P < 0.05$). Different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P < 0.01$). “*” and “**” indicate significant or extremely significant differences between the two factors, respectively.

图 1 播种处理和播种量对水稻苗率及胚乳残留量的二因素互作效应
Fig.1 Interaction effects of seeding treatment and seeding amount on seedling rate and endosperm residue of rice

表 2 水稻播种量、苗率及胚乳残留量的相关性分析
Table 2 Correlation analysis of rice seeding rate, seedling rate and endosperm residue

年份 Year	相关系数 Coefficient of correlation	播种量 Seeding rate	出苗率 Rate of emergence	成苗率 Rate of seedling formation	胚乳残留量 Endosperm residue
2021	播种量	1.00			
	出苗率	0.23	1.00		
	成苗率	0.59	0.50	1.00	
	胚乳残留量	-0.69	0.41	0.04	1.00
2022	播种量	1.00			
	出苗率	0.13	1.00		
	成苗率	0.47	0.42	1.00	
	胚乳残留量	-0.39	0.76*	0.45	1.00

“*”表示 5%显著水平。下同。
“*” means significant level of 5%. The same below.

呈先升高后降低趋势和逐渐升高趋势；根数中 B₁ 处理 2 年均高于 B₂ 和 B₃ 处理；根长各播种量处理

间 2 年差异均不显著；茎基宽随着播种量的升高，2 年均呈 $B_1>B_2>B_3$ 趋势，2022 年处理间差异达到显著或极显著水平；第一叶耳间距播种量处理间无明显趋势；2021 年地上干重呈 $B_3>B_2>B_1$ 趋势；2022 年地下干重随着播种量的升高呈逐渐降低趋势。2021 年百株地上、地下干重二因素互作达极显著水平，2022 年秧苗素质各指标二因素互作均达极显著水平。

表 3 不同播种处理和播种量水稻秧苗素质的影响
Table 3 Effects of different seeding treatments and seeding rate on seedling quality of rice

年份 Year	处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	叶龄 Leaf age	根数 Number of roots	根长 Root length (cm)	茎基宽 Stem base width (mm)	第一叶耳间距 First lug spacing (cm)	百株地上干重 Above-ground 100 plant dry weight (g)	百株地下干重 Underground 100 plant dry weight (g)
2021	G	15.34aA	1.94bB	6.62aA	5.57aA	1.42aA	0.35bB	1.73bB	1.58bB
	Y	14.21bA	2.16aA	7.22aA	5.93aA	1.38aA	1.75aA	2.66aA	1.80aA
	F_A	8.276**	23.937**	2.940	1.520	0.240	60.736**	2028.255**	84.021**
	B_1	14.68aA	2.18aA	7.07aA	5.89aA	1.52aA	1.46aA	2.17bA	1.66bB
	B_2	15.10aA	1.98bB	6.80aA	5.79aA	1.40aA	0.89bA	2.18bA	1.50cC
	B_3	14.54aA	1.99bB	6.90aA	5.57aA	1.28aA	0.81bA	2.24aA	1.90aA
	F_B	0.740	8.636**	0.200	0.420	2.160	5.161*	4.745*	97.522**
	$F_{A\times B}$	3.110	3.980	0.250	0.280	0.190	0.240	25.141**	57.578**
2022	G	11.53aA	2.04aA	7.17aA	8.46aA	0.71aA	0.54bB	1.36bB	1.39aA
	Y	10.06bB	2.02bB	6.89aA	8.06bA	0.54bB	0.71aA	1.39aA	1.38aA
	F_A	1.900	1.530	2.270	5.780**	19.850**	19.850**	0.082	0.010
	B_1	10.34bB	2.02bB	9.70aA	7.07aA	1.62aA	0.57bB	1.57aA	1.48aA
	B_2	10.75bAB	2.04aA	8.15bB	7.14aA	1.53bA	0.74aA	1.22cC	1.39bB
	B_3	11.29aA	2.03aAB	6.92cC	6.88aA	1.38cB	0.56bB	1.34bB	1.28cC
	F_B	0.267	0.415	0.702	93.781**	8.525**	8.525**	3.257	0.589
	$F_{A\times B}$	36.153**	10.382**	10.304**	4.460**	4.797**	4.797**	163.057**	79.436**

“**” 表示 1%显著水平。同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5%显著水平；不同大写字母表示处理间差异达 1%显著水平。下同。
“*” indicates significant level of 1%. Different lowercase letters in the same column of data indicate a significant difference of 5% among treatments; Different capital letters indicate a significant difference of 1% among treatments. The same below.

2.3 “双免密苗”对水稻苗期酶活性的影响

由表 4 可知，G 模式苗期 α -淀粉酶活性在破胸期、1.1 叶期、2.1 叶期均极显著高于 Y 模式，分别增加 84.42%、9.35%、16.66%，立针期则 Y 模式显著高于 G 模式，且水稻种子立针后随着叶片的展开，2 种模式下 α -淀粉酶活性均呈逐渐下降趋势。不同播种量下种子破胸期、立针期随着播种量的升高 α -淀粉酶活性均呈逐渐升高趋势，叶片

展开后，2.1 叶期随着播种量的升高呈下降趋势。其中 B_2 、 B_3 处理 α -淀粉酶活性随着苗期萌发生长呈逐渐降低趋势，而 B_1 处理呈先升高后降低趋势。除立针期外，其余各时期二因素互作均达极显著水平。

由表 5 可知，水稻苗期叶片抗氧化酶活性 G 模式均极显著高于 Y 模式，分别增加 25.13%、4.30%、3.15%，且不同播种量间，叶片抗氧化酶活性均随

表 4 不同播种处理和播种量对水稻苗期 α -淀粉酶活性的影响
Table 4 Effects of different seeding treatments and seeding rate on α -amylase activity in rice seedling stage U/g

处理 Treatment	破胸期 Thoracotomy period	立针期 Standing injection period	1.1 叶期 1.1 leaf stage	2.1 叶期 2.1 leaf stage
G	4.50aA	3.32bA	1.87aA	1.55aA
Y	2.44bB	3.55aA	1.71bB	1.22bB
F_A	1426.340**	5.730*	30.796**	816.458**
B_1	2.66cC	2.90cB	1.78aA	1.46aA
B_2	3.27bB	3.19bB	1.82aA	1.39bB
B_3	4.47aA	4.22aA	1.75aA	1.30cC
F_B	382.900**	68.190**	1.829	64.859**
$F_{A\times B}$	120.640**	0.044	432.260**	1070.168**

表 5 不同播种处理和播种量对水稻苗期叶片抗氧化酶活性的影响
Table 5 Effects of different seeding treatments and seeding rate on antioxidant oxidase activities in rice leaves at seedling stage U/g

处理 Treatment	SOD	POD	CAT
G	70.34aA	22 027.10aA	45.79aA
Y	56.21bB	21 173.11bB	44.39bB
F_A	4622.110**	23.610**	11.160**
B_1	69.45aA	24 064.06aA	47.02aA
B_2	63.63bB	21 028.39bB	46.82aA
B_3	56.75cC	19 707.87cC	41.42bB
F_B	1246.970**	215.370**	76.910**
$F_{A\times B}$	79.670**	216.420**	0.110

着播种量的升高呈逐渐下降趋势,表明高播种量会降低水稻苗期对逆境的抵抗力。其中 SOD 与 POD 二因素互作达极显著水平。

3 讨论

3.1 “双免密苗”技术的优势

近年来,针对秧田播种量研究不断增多,普遍认为播种量与秧苗素质优劣密切相关,高播种量秧苗素质呈下降趋势,低播种量秧苗素质虽好,但成毯性差,增加了运输成本以及降低了土地利用率。已有研究^[19-20]表明,水稻秧苗的单位苗高、干质量、地上部干质量和苗基粗等指标均随播种密度的增大而减少,较好的秧苗素质群体生物量大,根系发达。姜心禄等^[21]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分蘖。李忠芹等^[22]研究表明,随着播种量的增加,秧苗的株高、秧龄、茎基宽、地上部干物质质量、地下部干物质质量以及根数均呈降低趋势。本研究表明“双免”G 模式下水稻的出苗率、成苗率和胚乳残留量均高于 Y 模式,为插秧后返青分蘖奠定了良好的基础。主要秧苗素质指标茎基宽均以 G 模式高于 Y 模式,2022 年差异达到极显著水平;但根长和根数在年际间规律相反,且 G 模式与 Y 模式差异多不显著;Y 模式地上干重和第一叶耳间距均极显著高于 G 模式,关于上述主要秧苗素质指标在 2 种模式年际间的差异有待于进一步研究验证。当播种量过高时,降低了水稻秧苗素质,这与前人^[19-20]的研究结果相同。胚乳残留量和茎基宽随着播种量的升高呈逐渐下降趋势,但 B₁ 与 B₂ 间的差异小于 B₂ 与 B₃ 间的,综合考察本品种密苗播种量以 200~250 g/盘为宜,还应进一步用更多的品种加以验证。总之,“双免密苗”G 模式出苗率、成苗率、胚乳残留量均高于 Y 模式,具有节省秧田面积、省工省力、省农资等大大降低生产成本的优势,同时可减少浸种污水排放,十分利于实现绿色水稻产业的可持续发展。

3.2 “双免密苗”模式对水稻 α -淀粉酶及叶片抗氧化酶的影响

在种子萌发过程中,种子内淀粉酶催化贮藏淀粉水解,为作物幼苗的形态建成和生长发育提供主要的物质和能量来源^[23],李爱莉^[24]研究表明,随着发芽时间的推移, α -淀粉酶活性呈持续降低趋势。而水稻播种密度对 α -淀粉酶活性影响相关研究较少,本研究与前人^[24]研究大致相符,“双免”G 模

式苗期 α -淀粉酶活性在破胸期、1.1 叶期、2.1 叶期均极显著高于 Y 模式,立针期则 Y 模式显著高于 G 模式,且水稻种子立针后随着叶片的展开,2 种模式下 α -淀粉酶活性均呈逐渐下降趋势。不同播种量下种子破胸期、立针期随着播种量的升高 α -淀粉酶活性均呈逐渐升高趋势,叶片展开后,2.1 叶期随着播种量的升高呈下降趋势。其中 B₂ 和 B₃ 处理苗期 α -淀粉酶活性随着苗期萌发生长呈逐渐降低趋势,而 B₁ 处理呈先升高后降低趋势。

逆境胁迫下植物体内活性氧所造成的氧化伤害是一种普遍现象^[25]。植物体内活性氧的清除由酶促和非酶促两大系统完成。抗氧化酶作为活性氧的有效清除剂,能够在逆境胁迫和衰老过程中清除植物体内的活性氧,维持活性氧的代谢平衡,从而使植物免遭伤害^[26]。本研究表明水稻苗期叶片抗氧化酶活性 G 模式均高于 Y 模式,且叶片抗氧化酶活性均随着播种量的升高呈逐渐下降趋势,表明与芽种密苗相比,“双免密苗”会增强水稻苗期对逆境抵抗力,从而减少外界因素对水稻苗期生长发育的影响。

4 结论

“双免”G 模式提高了水稻苗期的出苗率、成苗率和胚乳残留量,降低了水稻苗期第一叶耳间距、地上干重;苗期 α -淀粉酶(破胸期、1.1 叶期、2.1 叶期)和抗氧化酶活性均极显著高于 Y 模式。在播种量因素中,2 年的出苗率、成苗率 B₂ 处理均高于 B₁ 处理;胚乳残留量呈逐渐降低的趋势。根数、茎基宽中 B₁ 处理 2 年均高于 B₂、B₃ 处理;种子破胸期、立针期 α -淀粉酶活性均呈逐渐升高趋势;叶片抗氧化酶活性均随着播种量的升高呈逐渐下降趋势。

综上所述,本品种“双免密苗”整体最优组合 GB₂ 处理在苗期出苗率优于其他处理,但 GB₁ 处理秧苗素质及抗逆境能力优于其他处理。

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. 重庆: 西南大学, 2014.
- [2] 国家统计局. 国际统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [3] 张欣悦, 汪春, 李连豪, 等. 水稻植质钵育秧盘制备工艺及参数优化. 农业工程学报, 2013, 29(5): 153-162.
- [4] 彭亚琼, 郑华斌, 扈婷, 等. 垄作梯式栽培对水稻根系生长的影响. 作物研究, 2012, 26(7): 14-17.
- [5] 吴亦鹏. 水稻育插密播稀植秧技术值得尝试. 农机科技推广, 2019(3): 15-16.
- [6] 刘雪, 谭秀凤, 李金凤. 水稻免催芽播种试验. 北方水稻, 2020,

- 50(5): 26-28.
- [7] 刘义. 秧龄、移栽密度和播种密度对双季稻生长特性的影响. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [8] 郑晓微, 吴树业, 刘姗, 等. 育秧方式与机插密度对早稻机插栽培的产量影响. 中国农学通报, 2014, 30(33): 41-45.
- [9] 胡剑锋, 杨波, 周伟, 等. 播种方式和播种密度对杂交籼稻机插秧节本增效的研究. 中国水稻科学, 2017, 31(1): 81-90.
- [10] 李玉祥, 何知舟, 丁艳锋, 等. 播种量对机插水卷秧苗素质及产量形成的影响. 中国水稻科学, 2018, 32(3): 247-256.
- [11] 刘晶. H₂S 调节萌发水稻种子中淀粉酶响应干旱胁迫的生理效应. 海口: 海南大学, 2017.
- [12] 闻祥成, 田华, 潘圣刚, 等. 叶面喷施植物生长调节剂对水稻产量及叶片保护酶活性的影响. 西南农业学报, 2015, 28(2): 550-555.
- [13] 牛春芸. 播种量和秧田水分管理对寒地水稻秧苗素质及产量品质的影响. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2022.
- [14] 刘岩. 播种密度对水稻秧苗素质及对本田产量和品质的影响. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [15] 中华人民共和国国家标准. 农作物种子检验规程: GB/T 3543.1-3543.7. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [16] 李红宇. 水稻田间试验实用手册. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [17] 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. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2007, 28(1): 45-48.
- [18] 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. 扬州: 扬州大学, 2006.
- [19] 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. 农业工程学报, 2009, 25(6): 152-157.
- [20] 沈建辉, 邵文娟, 张祖建, 等. 水稻机插中苗双膜育秧落谷密度对苗质和产量影响的研究. 作物学报, 2004, 30(9): 906-911.
- [21] 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. 西南农业学报, 2007, 20(5): 959-964.
- [22] 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. 大麦与谷类科学, 2017, 34(1): 33-35.
- [23] 葛才林, 杨小勇, 孙锦荷, 等. 重金属胁迫对水稻萌发种子淀粉酶活性的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(3): 47-52.
- [24] 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. 成都: 成都大学, 2021.
- [25] 肖用森, 王正直, 郭绍川. 低温胁迫对杂交稻及其亲本幼苗内源活性氧清除剂的影响. 杂交水稻, 1990(5): 39-42.
- [26] 刘家忠, 龚明. 植物抗氧化系统研究进展. 云南师范大学学报(自然科学版), 1999, 19(6): 1-11.

Effects of “Double-Exemption Dense Seedling” Technique on Seedling Quality and Enzyme Activity of Rice in Cold Region

Zhang Jiazhi^{1,2}, Zhao Yuhang², Ding Junjie¹, Yao Liangliang¹, Qiu Lei¹, Zhang Maoming¹, Wang Zijie¹, Gao Xuedong¹, Huang Chengliang¹, Cui Shize³, Yang Xiaohu¹

(¹Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Main Crop Breeding and Cultivation in Sanjiang Plain, Jiamusi 154007, Heilongjiang, China; ²College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University / Key Laboratory of Crop Germplasm Improvement and Cultivation in Cold Region, Heilongjiang Education Department, Daqing 163319, Heilongjiang, China; ³Institute of Crop Tillage and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028, Heilongjiang, China)

Abstract “Double-exemption dense seedling” can effectively alleviate the problems of high production cost, difficult in hiring labor and low production efficiency in rice production in cold areas. To clarify the effect of “double-exemption dense seedling” technology on seedling quality and seedling enzyme activity can provide theoretical basis and technical support for cost-saving, efficiency increase and agricultural sustainable development. In the experiment, Kenjing 8 was selected as the test variety, and six treatments were set up: two seed types (G: dry seed, Y: bud seed) and three seeding rates (B₁: 200 g/plate, B₂: 250 g/plate, B₃: 300 g/plate). The effects of “double-exemption dense seedling” on rice emergence rate, seedling quality, α -amylase activity and antioxidant enzyme activity were studied. The results showed that the “double-exemption” G mode improved the emergence rate, seedling formation rate and endosperm residue of rice seedling. The emergence rate and seedling formation rate of B₂ treatment were higher than those of B₁ treatment. The endosperm residue decreased gradually with the increase of seeding rate. The number of roots treated with B₁ was higher than that treated with B₂ and B₃. With the increase of seeding rate, the stem base width showed a trend of B₁ > B₂ > B₃ in two years, and the activity of α -amylase in seed thorax breaking stage and needle standing stage gradually increased with the increase of seeding rate. The activity of α -amylase in 2.1 leaf stage showed a trend of decrease with the increase of seeding rate. The α -amylase activities of B₂ and B₃ treatments showed a decreasing trend with the growth of seedlings. The activity of antioxidant enzymes in leaves decreased gradually with the increase of seeding rate.

Key words Rice; Double-exemption; Dense seedling; Seedling quality; Enzyme activity