



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.

播种密度和壮秧剂对水稻秧苗生理特性的影响

潘圣刚^{1,2}, 闻祥成¹, 田 华^{1,2}, 陈益培¹, 莫钊文¹, 段美洋^{1,2}, 唐湘如^{1,2}

(1 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2 农业部华南地区作物栽培科学观测实验站, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】研究不同播种密度和壮秧剂对水稻秧苗生理特性的影响。【方法】以香稻农香 18 为材料, 采用常规旱育秧的方式, 设计了 30、60、90、120 g · 盘⁻¹的播种密度及是否施用壮秧剂处理。【结果和结论】在播种密度介于 30 ~ 120 g · 盘⁻¹时, 增加播种密度显著降低了秧苗的叶面积、单位苗高干质量、茎基宽、叶片干质量、茎鞘干质量、地上部总干质量及根系干质量。不论是否施用壮秧剂, D1 处理秧苗的叶面积、单位苗高干质量、秧苗茎基宽、总根长、根系表面积以及根系总体积均显著高于其他处理。与不施壮秧剂相比, 施用壮秧剂显著增加了秧苗 SPAD 值、秧苗叶面积、单位苗高干质量、茎基宽、叶片干质量、茎鞘干质量、地上部总干质量、根系干质量以及叶片比叶质量, 每百株秧苗的根系表面积、平均直径、根系总体积以及秧苗 POD 和 SOD 活性也显著增加, 显著降低了秧苗株高和 MDA 含量。主成分分析结果表明, 在进行秧苗素质的评价时, 应将茎鞘较粗壮(茎鞘干质量较大、茎基部较宽以及单位苗高干质量较大)、根冠比和叶片干质量较大等作为选择指标, 能够比较准确地反映其秧苗素质。

关键词: 播种密度; 壮秧剂; 生理特性; 香稻

中图分类号: S511

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2015)03-0032-05

Effects of broadcasting density and seedling strengthen agent on physiological characteristics of rice seedling

PAN Shenggang^{1,2}, WEN Xiangcheng¹, TIAN Hua^{1,2}, CHEN Yipei¹,
MO Zhaowen^{1,2}, DUAN Meiyang^{1,2}, TANG Xiangru^{1,2}

(1 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 Scientific Observing and Experimental Station of Crop Cultivation in South China, Ministry of Agriculture, P. R. China, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】Effects of broadcasting density and seedling strengthen agent on physiological characteristics of rice seedling were studied. 【Method】By conventional dry nursery using an aromatic rice cultivar Nongxiang18 as material, four broadcasting densities, which were 30, 60, 90, 120 g · plate⁻¹, respectively, were designed, and whether seedling strengthen agent was applied or not. 【Result and conclusion】The results showed that leaf area and rice seedling dry mass (leaf dry mass, stem dry mass, root dry mass and dry mass per height) significantly decreased with the increase of broadcasting density when broadcasting density was in the range of 30 – 120 g · plate⁻¹. The values of leaf area and rice seedling dry mass (leaf dry mass, stem dry mass, root dry mass and dry mass per height) were higher in the broadcasting density of 30 g · plate⁻¹ than those of other treatments whether seedling strengthen agent was applied or not. Compared with the treatment of no seedling strengthen agent, the seedling strengthen agent could increase SPAD value, leaf area, rice seedling dry mass (leaf dry mass, stem dry mass, root dry mass and dry mass per height) and specific leaf mass. And superficial area, average diameter and volume of roots remarkably increased. Furthermore, the activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) of rice seedling significantly increased, too. However, the plant height and malondialdehyde (MDA) concentration of rice seedling remarkably decreased. Principal component analysis showed

收稿日期: 2014-02-16 优先出版时间: 2015-04-14

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20150414.0926.003.html>

作者简介: 潘圣刚 (1976—), 男, 副教授, 博士, E-mail: panshenggang@scau.edu.cn; 通信作者: 唐湘如 (1964—), 男, 教授, 博士, E-mail: tangxr@scau.edu.cn

基金项目: 教育部博士点基金 (20124404120009); 广东省科技计划项目 (2004B20101007)

that stronger stem (heavier stem dry mass, bigger width of stem and dry mass per height) and bigger value of root to shoot and heavier leaf dry mass may be considered as better rice seedling qualities rapidly and accurately at the growth stage of rice seedling.

Key words: broadcasting density; seedling strengthen agent; physiological characteristic; aromatic rice

水稻 *Oryza sativa* L. 是中国种植面积最大、总产量最多的粮食作物,中国约 60% 的人口以稻米为主食,水稻的稳产增产是确保中国粮食安全的重大课题^[1]. 而培育壮秧又是水稻稳产高产栽培的关键措施之一. 俗话说“秧好半年禾”足以说明良好的秧苗素质是决定水稻产量的重要因素^[2]. 秧苗素质的好坏不仅与育秧方式^[3]、育秧基质^[4]、肥料水平^[5]及秧龄大小^[6]等密切相关,播种量和增施壮秧剂也会对秧苗素质产生重要影响^[7-8]. 已有研究表明,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^[9];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^[10]. 施用壮秧剂可以提高水稻秧苗的硝酸还原酶活性,增加可溶性糖和可溶性蛋白质的含量,从而起到提高秧苗素质的作用^[11]. 作为培育水稻壮秧的生长调节剂,多效唑在水稻育秧上有促进秧苗矮壮、增加分蘖、促进根系生长、提高秧苗抗逆性的作用,在水稻育秧上应用广泛^[12-13]. 针对华南地区的酸性土壤和水稻育秧实际状况,将多效唑与肥料、杀菌剂、杀虫剂等复配研制形成水稻育秧壮秧剂用来培育壮秧,不仅可以简化操作,还可以实现技术物化^[14],更加方便快捷地促进水稻壮秧技术推广. 然而,作为一种新型的物化产品,在不同播种密度影响下的壮秧效果如何,目前还不清楚. 本研究设计了不同播种密度条件下施用水稻专用壮秧剂的育秧试验,研究不同播种密度和壮秧剂对秧苗生长特性的影响,以期为水稻壮秧培育提供理论基础.

1 材料与方法

1.1 材料

水稻品种为农香 18,由华南农业大学农学院提供;壮秧剂为华南农业大学自主研制产品,内含大量和中微量元素、生长调节剂、杀菌剂和抗逆活性物质等(专利号:ZL 201010517434.0).

1.2 试验设计

试验于 2013 年 9 月在华南农业大学农学院教学试验农场网室进行. 土壤为壤质水稻土,前茬作物为早稻. 土壤的理化性质如下: pH 5.99,有机质质量分数 1.62%,全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾质量分数分别为 87.04、95.90、20.17、108.29、79.74、95.19 mg · kg⁻¹.

常规方法浸种催芽,采用早育秧方法塑料硬盘培育秧苗^[2]. 分别设计 4 个不同的播种密度(30、60、

90 和 120 g · 盘⁻¹)及壮秧剂处理. 每个播种密度分别播种 10 盘,其中 5 盘施用壮秧剂,壮秧剂用量根据黎国喜等^[14]的研究结果确定,每盘施用 15 g,将壮秧剂与床土充分混匀后播种;另外 5 盘不施壮秧剂,用作对照. 育秧过程中不施任何外源肥料,秧苗期的水分管理等农艺措施完全一致.

1.3 测定指标及方法

秧龄达到 20 d 时测定以下项目.

株高、叶面积、干质量:每个重复随机选取水稻幼苗 50 株,测定其平均株高、叶面积、叶片干质量、茎鞘干质量、根系干质量及总干质量. 用直尺直接测量苗高,用叶面积扫描仪(CI-202)扫描所有叶片;待叶片扫描结束后,把所有的叶片和茎鞘放入鼓风干燥箱,105 ℃杀青 1 h,80 ℃烘干至恒质量,然后用分析天平称干质量,并计算单位苗高干质量和比叶质量.

叶绿素含量:用 SPAD-502 型叶绿素仪测定秧苗最上部一片全展叶的 SPAD 值,每个重复测量 50 株秧苗计算平均值;

根系形态指标:每个重复随机选取水稻幼苗 50 株,用体积为 2 L 的手压式喷雾器缓慢冲洗幼苗根系的泥土,待根系冲洗干净后,用根系分析系统(LA-S)扫描根系的形态指标,包括根长、根表面积、根平均直径及根体积,然后把测量后的根系烘干称质量,计算根冠比.

保护性酶活性:参照李合生^[15]主编的《植物生理生化实验原理和技术》测定秧苗体内抗逆性酶活性:采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性和硫代巴比妥酸测定丙二醛(MDA)含量.

1.4 数据分析

采用 Excel 和 SAS 软件^[16]进行数据处理及统计分析.

2 结果与分析

2.1 不同处理对秧苗形态指标的影响

播种密度和施用壮秧剂对水稻秧苗形态指标产生显著影响(表 1). 增加播种密度显著降低了每百株秧苗的叶面积、单位苗高干质量以及秧苗的茎基宽. 不论是否施用壮秧剂,30 g · 盘⁻¹处理的百株秧苗的叶面积、单位苗高干质量以及秧苗的茎基宽均显著高于其他处理,且 90 与 120 g · 盘⁻¹处理间差异不显著. 在不施壮秧剂的情况下,播种密度对秧苗的

株高和比叶质量的影响不显著;但在施用壮秧剂的情况下,90 与 120 g · 盘⁻¹处理的秧苗株高和叶片比叶质量显著高于 30 g · 盘⁻¹处理.

与对照相比,增施壮秧剂极显著地降低了秧苗的株高,极显著地增加了秧苗叶色 SPAD 值、百株秧苗叶面积、单位苗高干质量以及秧苗茎基宽,显著地增加了秧苗叶片比叶质量,说明在育秧时施用适量的壮秧剂可以显著地增强秧苗素质.

表 1 不同处理对秧苗形态指标的影响¹⁾

Tab.1 Effects of different treatments on morphological traits of rice seedling

处理	播种密度/ (g · 盘 ⁻¹)	株高/cm	SPAD	百株叶 面积/cm ²	苗高干质量/ (mg · cm ⁻¹)	百株茎 基宽/cm	比叶质量/ (mg · cm ⁻²)
对照	30	24.27a	25.78b	865.37a	122.37a	23.67a	1.70a
	60	24.04a	25.14b	647.50b	87.61b	17.00b	1.94a
	90	23.93a	28.08a	530.57b	60.50b	15.00b	1.45a
	120	24.71a	29.25a	491.27b	70.02b	17.33b	1.73a
	平均值	24.24A	27.06B	633.68B	85.13B	18.25B	1.71b
壮秧剂	30	12.97b	34.22a	1 233.13a	257.78a	29.67a	1.77b
	60	11.83b	35.51a	920.18b	259.97a	23.33b	2.13a
	90	20.58a	35.42a	705.30 c	140.67b	19.67b	2.89a
	120	18.41a	36.73a	735.25 c	142.34b	21.00b	2.62a
	平均值	15.95B	35.47A	898.47A	200.19A	23.42A	2.35a

1) 同列数据后,相同处理不同播种密度之间或不同处理平均值之间,凡是有一个相同大、小写字母者,分别表示在 0.01、0.05 水平差异不显著(Duncan's 法).

2.2 不同处理对秧苗干物质质量的影响

从表 2 可以看出,增加播种密度显著降低了秧苗叶片、茎鞘、地上部、根系的干质量. 无论是否施用壮秧剂,均是 30 g · 盘⁻¹处理的秧苗叶片、茎鞘、地上部、根系干质量最大,其百株干质量分别为 1.02、0.88、1.09、0.44、1.86、1.08、2.94、0.64 g,播种密度为 120 g · 盘⁻¹的秧苗茎鞘、地上部干质量以及根冠比最小;在增施壮秧剂的情况下,增加播种密度显著降低了秧苗的根冠比. 与不施壮秧剂(对照)相比,增施壮秧剂还显著增加了秧苗叶片、茎鞘、地上部及根系干质量,但对秧苗根冠比的影响不显著.

表 2 不同处理对秧苗干物质质量的影响¹⁾

Tab.2 Effects of different treatments on dry material mass of rice seedling

处理	播种密度/ (g · 盘 ⁻¹)	<i>m</i> _干 /g				根冠比/%
		叶片	茎鞘	地上部	根系	
对照	30	1.48a	1.49a	2.97a	0.72a	24.33a
	60	1.20a	0.87b	2.06a	0.45ab	22.32a
	90	0.79b	0.66b	1.45b	0.32b	22.70a
	120	0.62b	0.51b	1.13b	0.25b	22.12a
	平均值	1.02b	0.88b	1.90b	0.44b	22.87a
壮秧剂	30	2.16a	1.19a	3.35a	0.76a	22.82a
	60	1.86b	1.17a	3.03a	0.88a	29.27a
	90	1.70b	1.05a	2.75b	0.52b	18.91b
	120	1.73b	0.89b	2.62b	0.41b	16.41b
	平均值	1.86a	1.08a	2.94a	0.64a	21.85a

1) 表中干物质质量均按 100 株计;同列数据后,相同处理不同播种密度之间或不同处理平均值之间,凡是有一个相同小写字母者,表示在 0.05 水平差异不显著(Duncan's 法).

2.3 不同处理对秧苗根系特征的影响

播种密度和施用壮秧剂对水稻秧苗根系特征产生显著影响(表 3). 除 90 g · 盘⁻¹处理外,无论是否施用壮秧剂,随着播种密度增加,每百株秧苗的总根长、根系表面积以及根系总体积均降低. 播种密度为 30 g · 盘⁻¹的百株秧苗总根长、根系表面积、平均直径以及根系总体积均最大,其中,对照分别为 4 387.79 cm、605.28 cm²、0.438 cm、6.70 cm³;施用壮秧剂的分别为 3 325.94 cm、645.84 cm²、0.619 cm、10.07 cm³,均显著高于其他处理. 播种密度为 120 g · 盘⁻¹时,百株秧苗的总根长、根系表面积以及根系总体积均最小. 与对照相比,施用壮秧剂显著增加了秧苗的根系表面积、平均直径和根系总体积,然而却显著降低了秧苗根系的总根长.

表3 不同处理对秧苗根系特征的影响¹⁾

Tab.3 Effects of different treatments on root traits of rice seedling

处理	播种密度/ (g·盘 ⁻¹)	总根长/ cm	根系表 面积/cm ²	平均直径/ cm	总体积/ cm ³
对照	30	4 387.79a	605.28a	0.438a	6.70a
	60	3 638.70b	342.46b	0.299b	2.57b
	90	3 304.24b	398.01b	0.384b	3.91b
	120	2 197.03c	217.12c	0.317b	1.72c
	平均值	3 381.94a	390.72b	0.359B	3.73b
壮秧剂	30	3 325.94a	645.84a	0.619a	10.07a
	60	2 126.23b	328.95b	0.497b	4.16b
	90	2 933.39b	493.16b	0.497b	5.65b
	120	1 353.30c	245.06c	0.580b	3.55c
	平均值	2 434.72b	428.25a	0.548A	5.86a

1)表中数据均按100株计;同列数据后,相同处理不同播种密度之间或不同处理平均值之间,凡是有有一个相同大、小写字母者,分别表示在0.01、0.05水平差异不显著(Duncan's法)。

2.4 不同处理对秧苗保护性酶活性的影响

播种密度和施用壮秧剂对水稻秧苗保护性酶活性产生显著影响(表4)。无论是否施用壮秧剂,播种密度为30 g·盘⁻¹的水稻秧苗过氧化物酶(POD)活性均显著高于其他处理;120 g·盘⁻¹处理的秧苗POD活性最低,分别为67.11和81.42 U·g⁻¹。在不施用壮秧剂的情况下,30、60 g·盘⁻¹处理的秧苗SOD活性显著高于90、120 g·盘⁻¹处理,且30与60 g·盘⁻¹处理间差异不显著。无论是否施用壮秧剂,120 g·盘⁻¹处理的水稻秧苗MDA含量显著高于其他处理,分别为7.13和4.52 μmol·g⁻¹。

表5 外部形态指标的主成分分析

Tab.5 Principal component analysis of outer morphology parameters

主成分	特征值	特征向量								累计 贡献率/%
		株高	叶面积	叶片干质量	茎鞘干质量	根系干质量	根冠比	单位苗高干质量	茎基宽	
茎鞘因子(C1)	4.805	-0.340	0.387	0.309	0.406	0.369	0.063	0.425	0.391	60.060
根冠比因子(C2)	1.380	0.093	-0.087	-0.233	-0.133	0.404	0.838	-0.160	0.146	77.310
叶干质量因子(C3)	0.805	0.076	-0.387	0.721	-0.182	0.337	0.055	0.130	-0.398	87.370

60.060%,对应的特征向量以茎鞘干质量、单位苗高干质量及茎基宽3个性状分量的影响较大,因此,把第1主成分称为茎鞘因子;第2主成分特征值为1.380,贡献率为17.250%,对应的特征向量以根冠比性状的影响最大,因此,把第2主成分称为根冠比因子;第3主成分特征值为0.805,贡献率为10.060%,对应的特征向量以叶片干质量的影响最大,故称第3主成分因子为叶干质量因子。

综上所述,在进行秧苗素质好坏的判断时,以茎鞘比较粗壮(茎鞘干质量大、茎基部较宽以及单位苗高干质量较大)及根冠比较大等作为选择指标,能够比较准确地反映其秧苗素质。

表4 不同处理对秧苗保护性酶活性的影响¹⁾

Tab.4 Effects of different treatments on protective enzyme activities of rice seedling

处理	播种密度/ (g·盘 ⁻¹)	POD/ (U·g ⁻¹)	SOD/ (U·g ⁻¹)	MDA/ (μmol·g ⁻¹)
对照	30	93.24a	376.39a	5.93b
	60	72.31b	383.78a	5.36b
	90	69.60b	260.79b	5.68b
	120	67.11b	211.72b	7.13a
	平均值	75.57b	308.17b	6.03a
壮秧剂	30	131.13a	399.92a	3.85b
	60	103.42b	391.51a	3.79b
	90	103.16b	380.09a	4.82a
	120	81.42c	373.70a	4.52a
	平均值	104.78a	386.31a	4.25b

1)同列数据后,相同处理不同播种密度之间或不同处理平均值之间,凡是有有一个相同小写字母者,表示在0.05水平差异不显著(Duncan's法)。

与对照相比,施用壮秧剂显著增加了秧苗POD和SOD活性,然而,却显著降低了秧苗MDA含量,说明施用壮秧剂可以显著提高水稻秧苗抗逆能力。

2.5 不同处理秧苗形态特征指标的主成分分析

在播种密度和壮秧剂的影响下,水稻秧苗外部形态的多个指标均会发生变化,且这些指标之间存在一定的关联性。用主成分分析法将这些容易获得的秧苗外部形态指标进行主成分分析,能够快捷地对秧苗的素质好坏做出准确判断。根据累计贡献率≥85.00%的标准^[17],本试验中有3个主成分入选,其累积贡献率为87.370%,已包含了大部分信息(表5)。第1主成分特征值为4.805,贡献率为

3 讨论

培育适龄壮秧并适时栽插是水稻高产稳产的重要措施^[2,18]。华南地区早稻通常在3月中下旬播种,经常会遭遇低温冷害而降低秧苗素质;晚稻通常在7月中下旬播种,经常会面临高温天气而受到影响^[19]。而秧苗素质的好坏与播种密度也密切相关。因此,培育壮秧的方式就显得尤其重要。已有研究表明,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^[12,20]。较好的秧苗素质不仅群体生物量大、根系发达,而且秧苗还应该具有较强的生理酶活性^[2]。本研究结果表明,在播种

密度为 $30 \sim 120 \text{ g} \cdot \text{盘}^{-1}$ 的范围内,增加播种密度,水稻秧苗的叶面积、叶片干质量、茎鞘干质量、地上部总干质量、根系干质量、单位苗高干质量、茎基宽以及根冠比显著降低,秧苗的总根长、根系表面积、根系平均直径以及根系总体积也显著降低.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,维持植物正常的生长和发育^[21]. 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^[2]. 本试验结果表明,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(相关试验数据待发表).

壮秧剂是集营养剂、消毒剂、调酸剂和化学调控剂于一体的新型育秧制剂,壮秧剂的使用不仅可以降低劳动强度和节约生产成本,而且还可以明显提高秧苗素质^[8,11]. 施用壮秧剂可以促进秧苗生长,提高秧苗耐冷耐高温能力^[3]. 本研究结果表明,与不施壮秧剂相比,施壮秧剂显著降低了秧苗的株高和根系总根长,显著增加了秧苗叶片 SPAD 值、秧苗叶面积、单位苗高干质量、秧苗茎基宽、秧苗叶片干质量以及地上部总干质量;显著增加了秧苗根系的平均直径、根系表面积和总体积,增加了秧苗根系的吸收能力;显著增加了秧苗 POD 和 SOD 活性,显著降低了秧苗 MDA 含量.说明施用壮秧剂可以显著提高水稻秧苗抗逆能力.

水稻秧苗素质的评价指标包括形态指标,也包括生理指标.某一个指标的好坏并不能够全面衡量秧苗的整体素质.因此,探寻准确而又简便可行的评价指标就显得尤其重要.对秧苗形态指标进行主成分分析的结果表明,水稻秧苗的茎鞘因子、根冠比因子以及叶干质量因子所占的累计贡献率达到 87.370%,包含了绝大多数关键信息.因此,在进行秧苗素质的评价时,选择茎鞘比较粗壮(茎鞘干质量大、茎基部较宽以及单位苗高干质量较大)、根冠比以及叶片干质量较大等指标能够比较准确快捷地反映其秧苗素质.

致谢:衷心感谢华南农业大学农学院 2011 级农学 1 班学生参与了本论文的部分工作!

参考文献:

- [1] 龚金龙,张洪程,李杰,等.水稻超高产栽培模式及系统理论的研究进展[J].中国水稻科学,2010,24(4):417-424.
- [2] 官春云.现代作物栽培学[M].北京:高等教育出版社,2011.
- [3] 韦剑锋,李生,罗艺,等.不同育秧方式对水稻秧苗生长及耐逆性的影响[J].贵州农业科学,2012,40(7):94-98.
- [4] 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.
- [5] 沈建辉,邵文娟,张祖建,等.苗床落谷密度、施肥量和秧龄对机插秧苗质及大田产量的影响[J].作物学报,2006,32(3):402-409.
- [6] 潘圣刚,黄胜奇,江洋,等.秧龄和栽插密度对水稻生物学特性的影响[J].华北农学报,2011,26(3):134-138.
- [7] 李刚华,李德安,宁加朝,等.秧苗密度和施氮量对超高产杂交籼秧苗素质的影响[J].中国水稻科学,2008,22(6):610-616.
- [8] 钱银飞,张洪程,郭振华,等.壮秧剂不同用量对机插水稻秧苗素质及产量的影响[J].江苏农业科学,2008(4):82-87.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 张彦丽,谷思玉,曾祥书,等.接菌壮秧剂对低磷土壤水稻秧苗生理生化特性的影响[J].西北植物学报,2007,27(10):2059-2064.
- [12] 姚雄,任万军,蓝平,等.氮肥与多效唑配合对稻麦两熟区机插水稻秧苗生长的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(6):1364-1371.
- [13] 宋云生,张洪程,戴其根,等.水稻钵苗机插秧苗素质的调控[J].农业工程学报,2013,29(22):11-22.
- [14] 黎国喜,袁红梅,钟克友,等.双季超级稻强源活库优米栽培技术研究: I: 超级稻专用壮秧剂对超级杂交稻成秧特性的影响[J].杂交水稻,2008,23(6):36-39.
- [15] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] SAS Institute. SAS Version 9.1.2, 2002 - 2003[M]. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2003.
- [17] 宋广树,孙忠富,孙蕾,等.东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较[J].生态学报,2011,31(13):3788-3795.
- [18] 凌启鸿.作物群体质量栽培[M].上海:上海科技出版社,2001.
- [19] 李武,罗锡文,黎国喜,等.浸种剂和灌溉对芽期人工低温下直播水稻幼苗质量的影响[M].华南农业大学学报,2010,31(1):87-90.
- [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[J].作物学报,2004,30(9):906-912.
- [21] PAN Shenggang, RASUL F, LI Wu, et al. Roles of plant growth regulators on yield, grain qualities and antioxidant enzyme's activities in super hybrid rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Rice, 2013,6(1):9.

【责任编辑 周志红】