

# 芸薹素内酯对稻草基质育秧水稻秧苗生理特性及栽后生长的影响

廖莎<sup>1,2</sup> 谭雪明<sup>1</sup> 李木英<sup>1,\*</sup> 胡凯<sup>1</sup> 潘晓华<sup>1</sup> 石庆华<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室/江西农业大学 双季稻现代化生产协同创新中心, 南昌 330045; <sup>2</sup> 宜春市袁州区农业农村局, 江西 宜春 336000; \*通信联系人, E-mail: 15907097622@163.com)

## Effects of Brassinolide on Physiological Characteristics and Growth of Straw Substrate-cultured Rice Seedlings After Transplanting

LIAO Sha<sup>1,2</sup>, TAN Xueming<sup>1</sup>, LI Muying<sup>1,\*</sup>, HU Kai<sup>1</sup>, PAN Xiaohua<sup>1</sup>, SHI Qinghua<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education / Jiangxi Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding/Collaborative Innovation Center for the Modernization Production of Double Cropping Rice, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; <sup>2</sup> Agricultural and Rural Bureau of Yuanzhou District in Yichun City, Yichun 336000, China; \*Corresponding Author, E-mail: 15907097622@163.com)

**Abstract: 【Objective】** Our goal is to find the suitable application method and optimum dosage of brassinolide (BR) for straw substrate-cultured rice seedlings. **【Method】** The effects of three application patterns of BR (seed soaking, spraying, basal application at different concentrations) on physiological characteristics and growth in mechanized-transplanted early rice seedlings were estimated, with straw substrate-cultured Zhongzao 39 seedlings as test material. **【Result】** BR application could enhance antioxidant protective enzyme activities of seedlings, reduce MDA contents, increase soluble protein content, total sugar contents and C/N, increase root activity of seedlings by 13.24%-48.31%, which were conducive to the formation of robust seedlings with strong resistance. Spraying method had the best effect on increasing SOD, POD and CAT activities of seedlings, while basal application of BR had the best effect on reducing MDA content of seedlings. The right amount of brassinolide could also promote the growth of new leaves; new root and recovery after transplanting, spraying method had the best effect. The tillering ability per plant was enhanced by seeds soaking and spraying at 20-30 d after mechanized-transplanting. **【Conclusion】** BR application before sowing and after seedling emergence had favorable effects on cultivation of strong rice seedlings, turning green and tillering after transplanting. The concentration of 0.15 mg/L of brassinolide for seed soaking before sowing and 0.10 mg/L for spraying at 1.5 leaf age were better.

**Key words:** straw substrate; brassinolide; early rice; biological characteristics

**摘 要: 【目的】** 筛选出机插水稻基质育秧芸薹素内酯(BR)适宜的施用方法及最佳用量。 **【方法】** 以中早 39 为供试材料, 采用稻草基质早育秧方式, 探究 BR 不同处理方式和浓度对机插早稻秧苗生理特性及栽后生长的影响。 **【结果】** 施用 BR 可以提高秧苗的抗氧化保护酶活性, 降低丙二醛含量, 增加可溶性蛋白含量、总糖含量及 C/N, 秧苗根系活力提高了 13.24%~48.31%, 利于形成抗性强的健壮秧苗; 喷施方式对提高秧苗超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶活性效果最佳, 基施方式对降低秧苗丙二醛含量效果最好。施用适量 BR 也可促进秧苗机插后长出新叶、新根及返青, 喷施方式效果最好; 浸种、喷施方式还能增强秧苗机插后 20~30 d 的单株分蘖力。 **【结论】** 播种前和出苗后进行两次适量的 BR 处理, 有利形成壮苗和栽后活棵返青及分蘖, 以播前 0.15 mg/L 浸种和秧苗 1 叶 1 心期 0.10 mg/L 喷施效果为好。

**关键词:** 稻草基质; 芸薹素内酯; 早稻; 生理特性

中图分类号: S511.51

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2020)02-0181-10

收稿日期: 2019-08-06; 修改稿收到日期: 2019-09-23。

基金项目: 江西省科技支撑计划资助项目(20141BBF6007); 江西省水稻产业技术体系专项(JXARS-02-03)。

在水稻生产中,秧苗是基础,秧苗素质直接影响移栽后的生长发育,因此培育壮秧是水稻高产栽培的重要环节。水稻机插秧对秧苗素质有较严格的要求,尤其是秧苗高度和生理素质。目前生产中主要通过采用肥沃的育秧土<sup>[1-3]</sup>、早育秧方式<sup>[4, 5]</sup>、合理的播种量<sup>[6, 7]</sup>、科学的水肥管理、病虫害防治<sup>[8, 9]</sup>及适龄移栽<sup>[10, 11]</sup>等育秧配套技术来提高秧苗素质。近年来,又通过使用植物生长调节剂来控制秧苗高度,延长秧龄弹性<sup>[12, 13]</sup>,使其更适应水稻机械化生产。芸薹素内酯(brassinolide, BR)作为一种植物生长调节剂,不仅能调节作物的生长发育,合理利用还可以增强作物抗逆性、提高产量、改善品质等<sup>[14, 15]</sup>。笔者所在课题组研究表明,稻草可作为水稻育秧基质的主要原料<sup>[16]</sup>,对水<sup>[17]</sup>、肥<sup>[18, 19]</sup>管理也进行了研究。前人对BR应用在水稻育秧上的研究表明,施用BR可以提高水稻种子发芽率、秧苗素质及产量<sup>[20, 21]</sup>。笔者研究表明在稻草基质育秧条件下施用BR也能提高水稻秧苗素质<sup>[22]</sup>,但目前BR对秧苗生理素质及大田生长发育特性的研究甚少,在基质育秧条件下的研究更是鲜有报道。因此,本研究在采用自制稻草基质培育水稻秧苗的条件下,探讨芸薹素内酯对早稻秧苗生理特性及栽后生长的影响,旨在筛选基质育秧适宜的施用方法及最佳用量,为培育水稻机插壮秧提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2014年在江西农业大学科技园进行。供试水稻品种为中早39。塑盘(58 cm×28 cm×2.5 cm)育秧,自行发酵制备的稻草育秧基质,每100L基质中加300 g复合肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O含量各为15%)。芸薹素内酯(BR)有效成分含量为0.15%(浙江省义乌市皇嘉生化有限公司生产)。

### 1.2 试验设计

试验处理为芸薹素内酯浸种、播种出苗后喷施、基质拌施3种方式,每种处理方式设4种处理浓度(表1)。浸种处理(J),每1 kg干谷用药液1.5 L浸种48 h;喷施处理(P),于秧苗一叶一心期喷施,

表1 芸薹素内酯试验处理

Table 1. Brassinolide experiment design.

处理方式 Treatment	浓度 Concentration/(mg L <sup>-1</sup> )			
浸种 Seed soaking(J)	0	0.10	0.15	0.20
喷施 Spraying(P)	0	0.10	0.15	0.20
基施 Basal application(B)	0	0.20	0.40	0.60

每1 m<sup>2</sup>秧盘药液用量75 mL;基施处理(B),于播种前3 d与基质混合均匀,每盘基质药液量150 mL。各处理3次重复。

### 1.3 育秧管理与大田管理

3月25日播种,播前用敌克松兑水1000倍液对育秧基质进行消毒,播种量为100 g/盘。水稻芽谷播种后,浇水至育秧基质呈饱和状态,以利出苗。稻谷出苗竖针后,保持基质湿润,移栽前3 d少浇水,保持盘土表面不发白即可。

4月18日机插移栽于大田,机插规格为30 cm×12 cm;每处理栽插8行,长度为50 m。大田氮肥(尿素,折合成纯氮)、磷肥(钙镁磷肥,折合成P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)和钾肥(氯化钾,折合成K<sub>2</sub>O)用量分别为60 kg/hm<sup>2</sup>、30 kg/hm<sup>2</sup>和60 kg/hm<sup>2</sup>,氮肥按 $m_{\text{基肥}}:m_{\text{分蘖肥}}:m_{\text{穗肥}}=5:2:3$ 施用,磷肥全部作基肥,钾肥按 $m_{\text{基肥}}:m_{\text{穗肥}}=7:3$ 施用。大田水分管理及病虫害防治按常规管理进行。

### 1.4 测定内容与方法

移栽前和机插后4 d、8 d,每处理选取大小一致、长势相同的秧苗20株考查其叶龄、根数并测定叶片SPAD值。

机插后4 d随机调查连续100穴的漏插数、漂秧数、伤秧数及死苗数,计算漏插率、漂秧率、伤秧率和死苗率;每小区标记20穴,计数每穴株数,分蘖期每5 d调查一次茎蘖数,直至田间茎蘖数开始下降为止。

秧苗根系活力的测定采用 $\alpha$ -萘胺氧化法<sup>[23]</sup>。超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑法<sup>[24]</sup>;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法<sup>[25]</sup>;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外分光光度法测定<sup>[26]</sup>;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法<sup>[27]</sup>;叶片可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝(G-250)法<sup>[24]</sup>。可溶性糖含量及淀粉含量的测定采用蒽酮比色法<sup>[28]</sup>;植株全氮含量采用FOSS全自动凯氏定氮仪测定,秧苗叶片碳氮比=叶片总糖含量/叶片全氮含量。

### 1.5 数据处理方法

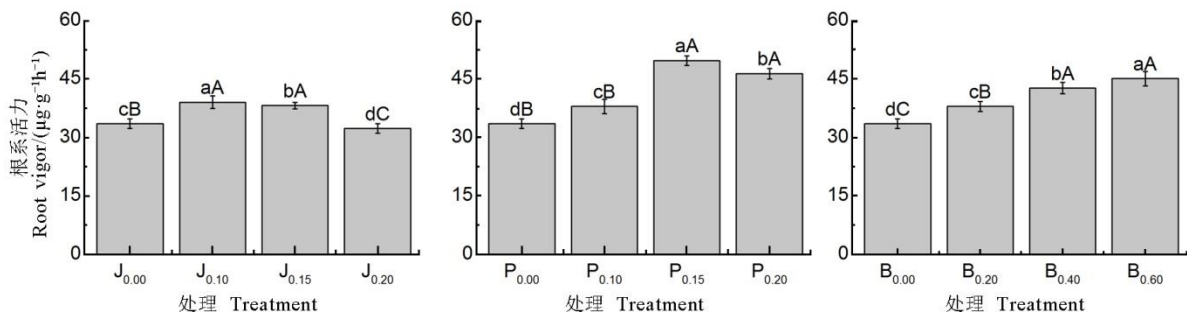
利用Excel 2003软件进行研究数据处理,利用OriginPro 8.5.1软件进行图片处理,利用DPS 7.05软件的Duncan新复极差法进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 芸薹素内酯对秧苗生理生化特性的影响

#### 2.1.1 对秧苗根系活力的影响

图1表明,本研究条件下,仅浓度0.20 mg/L



图中横坐标字母 J、P、B 分别表示浸种、喷施、基施处理，字母下标数字表示相应处理浓度(mg/L)。不同小、大写字母表示相同处理方式不同浓度间差异分别达邓肯氏新复极差测验 5%、1% 显著水平（下同）。

In the figure, J, P and B below the horizontal coordinates represent seed soaking, spraying and basal application of BR, respectively, and the subscript numbers represent the corresponding treatment concentration(mg/L). Common lowercase and uppercase letters indicate that the difference between different concentrations is not significant at the 0.05 and 0.01 levels by Duncan's test (the same below).

图 1 不同芸薹素内酯处理对秧苗根系活力的影响

Fig. 1. Effect of diverse brassinollide (BR) treatments on root vigor of rice seedlings.

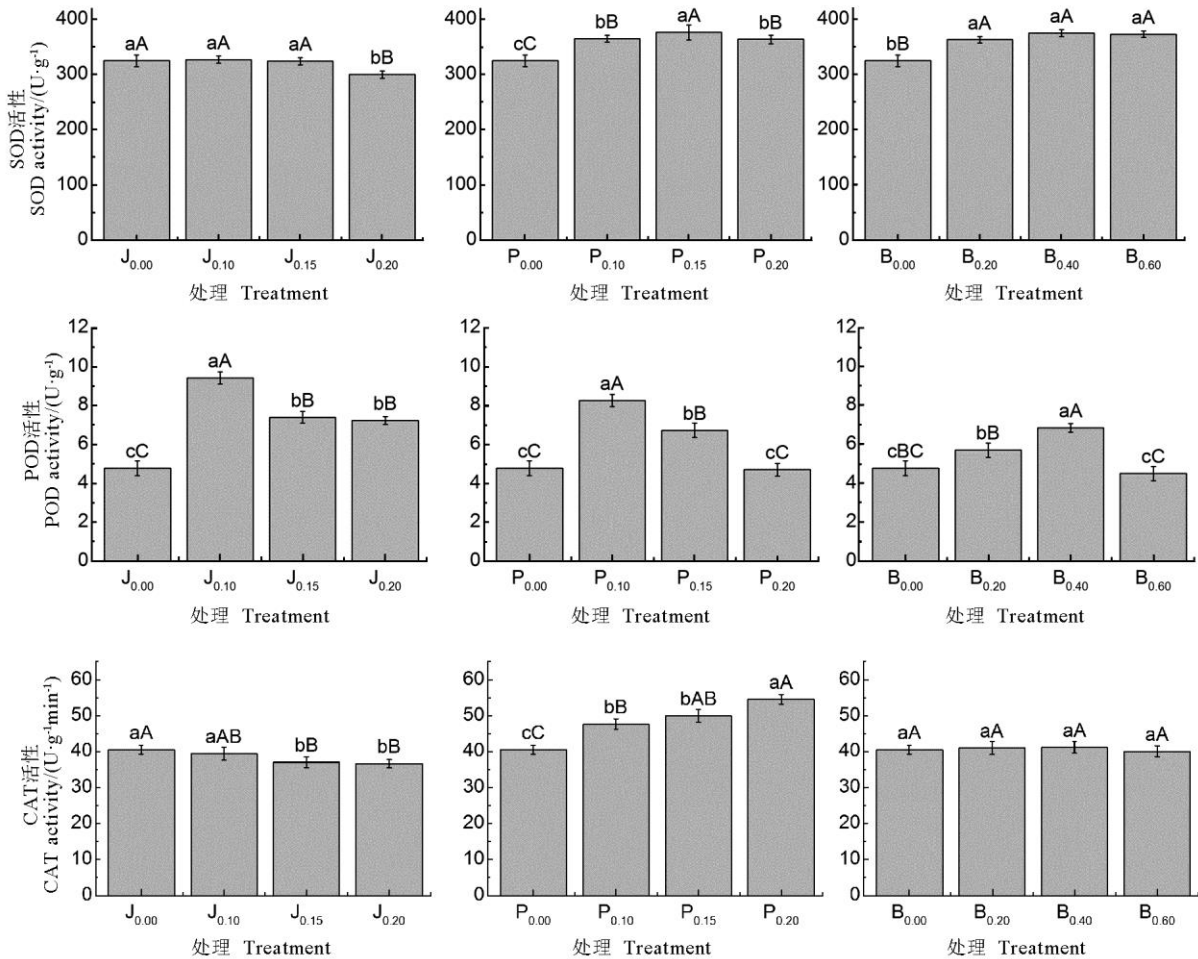


图 2 不同芸薹素内酯处理对秧苗叶片抗氧化保护酶活性的影响

Fig. 2. Effect of diverse brassinollide treatments on antioxidant enzyme activities of rice seedling leaves.

浸种处理的根系活力极显著低于对照，其余处理显著和极显著高于对照，以浓度 0.10 mg/L 浸种、0.15 mg/L 喷施、0.60 mg/L 基施处理的根系活力最高。试验表明，除 0.20 mg/L 浓度浸种之外，三种方式

BR 处理秧苗根系活力增强了 13.24% ~ 48.31%。

#### 2.1.2 对秧苗叶片抗氧化保护酶活性的影响

秧苗叶片的 SOD、POD 和 CAT 酶活性见图 2。图 2 表明，BR 浸种方式中，0.20 mg/L 浓度处理下，

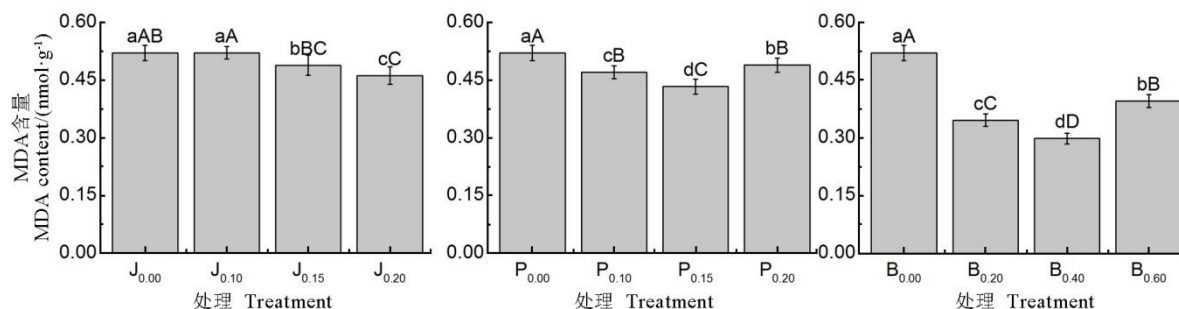


图3 不同芸薹素内酯处理对秧苗叶片丙二醛含量的影响

Fig. 3. Effect of diverse brassinollide treatments on MDA content of seedling leaves.

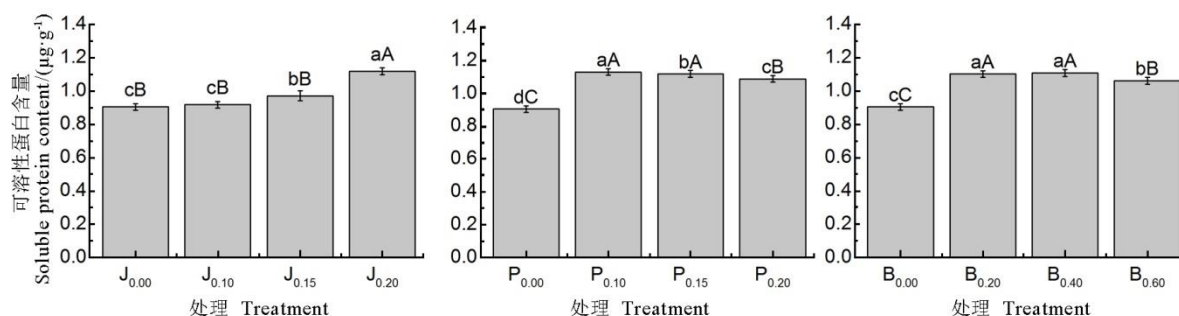


图4 不同芸薹素内酯处理对秧苗叶片可溶性蛋白含量的影响

Fig. 4. Effect of diverse brassinollide treatments on soluble protein contents of seedling leaves.

SOD、CAT 活性和 0.15 mg/L 浓度处理的 CAT 活性均极显著低于对照, 其他处理下, SOD 和 CAT 活性与对照差异不显著; 三种浓度处理下, POD 活性均极显著高于对照, 以 J<sub>0.10</sub> 处理增幅最明显, 达 96.86%。在喷施方式中, 除 P<sub>0.20</sub> 处理下, POD 活性与对照无明显差异外, 其他浓度处理下, SOD、POD、CAT 活性均极显著高于对照。基施处理 SOD 活性均极显著高于对照, 而 CAT 活性与对照差异不显著, B<sub>0.20</sub>、B<sub>0.40</sub> 处理的 POD 活性显著或极显著高于对照, 并极显著高于 B<sub>0.60</sub>。表明 BR 处理可以增强秧苗抗氧化保护酶活性, 以喷施处理效果最佳, 其次是基施、浸种处理。

#### 2.1.3 对秧苗叶片丙二醛含量的影响

丙二醛(MDA)是细胞膜脂过氧化的最终产物, 其含量是反映膜脂过氧化程度的重要指标, 也是衡量植物衰老和抗衰老的重要指标。从图 3 可知, BR 喷施、基施处理及浸种处理 J<sub>0.15</sub>、J<sub>0.20</sub> 的 MDA 含量显著或极显著低于对照。在三种处理方式中, 以 0.20 mg/L 浸种、0.15 mg/L 喷施、0.40 mg/L 基施处理最低, 分别比对照降低了 11.21%、16.71%、42.56%。

#### 2.1.4 对秧苗叶片可溶性蛋白含量的影响

由图 4 可知, BR 浸种、喷施、基施方式不同浓度处理的可溶性蛋白质含量均高于对照, 除 J<sub>0.10</sub> 处理外, 均与对照达显著或极显著差异。说明 0.20

mg/L 浸种、0.10~0.15 mg/L 喷施、0.20~0.40 mg/L 基施处理能够使秧苗群体内含有更多直接利用的有效氮素, 利于壮苗的形成, 移栽后秧苗的生长发育优势会更明显。

#### 2.1.5 对秧苗 C、N 含量的影响

BR 处理对秧苗的 C、N 含量有明显的影。由表 2 可知, BR 浸种方式的全氮含量极显著低于对照, 而总糖含量、C/N 均极显著高于对照, 且均以 J<sub>0.10</sub> 最高, 比对照分别高 17.14%、61.50%。喷施方式下, 全氮含量也均极显著低于对照, 以 P<sub>0.10</sub> 的总糖含量、C/N 最高, 且均与对照达极显著差异。基施方式的可溶性糖含量、淀粉含量、总糖含量、C/N 及 B<sub>0.40</sub> 的全氮含量均极显著地高于对照。结果说明, BR 处理能提高秧苗的总糖含量及 C/N, 以浓度 0.15 mg/L 浸种、0.10 mg/L 喷施、0.40 mg/L 基施处理的秧苗碳氮含量较高, C/N 适中。

#### 2.2 芸薹素内酯对秧苗机插质量的影响

由表 3 可知, BR 浸种方式下漏插率、漂秧率均低于对照, 均以浓度 0.20 mg/L 处理最低, 且与对照达显著差异, 其他处理与对照差异不明显; J<sub>0.15</sub> 的伤秧率最低且无死苗, 其死苗率与对照差异显著。结果表明, BR 浓度 0.15~0.20 mg/L 的机插质量较佳。

喷施方式的漏插率、漂秧率、伤秧率、死苗率



表 2 不同芸薹素内酯处理对秧苗碳氮含量的影响

Table 2. Effect of diverse brassinollide treatments on carbon and nitrogen contents of seedlings.

处理 Treatment	全氮含量 Total nitrogen content /(mg g <sup>-1</sup> )	可溶性糖含量 Soluble sugar content /(mg g <sup>-1</sup> )	淀粉含量 Starch content /(mg g <sup>-1</sup> )	总糖含量 Total sugar content /(mg g <sup>-1</sup> )	C/N
J <sub>0.00</sub>	41.77±0.00 aA	12.70±0.44 bB	27.97±0.21 cC	40.67±0.23 dD	0.97±0.01 cC
J <sub>0.10</sub>	30.30±0.14 dD	14.83±0.53 aA	32.81±0.07 bB	47.64±0.59 aA	1.57±0.02 aA
J <sub>0.15</sub>	36.47±0.23 bB	12.44±0.06 bB	33.53±0.17 aA	45.97±0.11 bB	1.26±0.01 bB
J <sub>0.20</sub>	35.17±0.57 cC	10.97±0.06 cC	33.82±0.03 aA	44.79±0.03 cC	1.27±0.02 bB
P <sub>0.00</sub>	41.77±0.00 aA	12.70±0.44 cC	27.97±0.21 bB	40.67±0.23 cB	0.97±0.01 cB
P <sub>0.10</sub>	39.68±0.44 bB	14.69±0.06 aA	29.33±0.66 aA	42.02±0.59 aA	1.11±0.02 aA
P <sub>0.15</sub>	38.61±0.54 cC	13.54±0.23 bB	28.19±0.12 bB	41.73±0.35 bB	1.08±0.02 bA
P <sub>0.20</sub>	39.47±0.40 bB	13.69±0.20 bB	24.07±0.04 cC	37.76±0.24 dC	0.96±0.01 cB
B <sub>0.00</sub>	41.77±0.00 bB	12.70±0.44 dD	27.97±0.21 dD	40.67±0.23 dD	0.97±0.01 cC
B <sub>0.20</sub>	38.55±0.03 cC	14.60±0.37 cC	39.58±0.44 aA	54.18±0.57 aA	1.41±0.02 aA
B <sub>0.40</sub>	44.56±0.28 aA	15.70±0.44 bB	36.49±0.47 bB	52.19±0.03 bB	1.17±0.01 bB
B <sub>0.60</sub>	41.97±0.44 bB	17.87±0.39 aA	31.10±0.37 cC	48.97±0.28 cC	1.17±0.02 bB

相同处理方式后跟相同小、大写字母，表示差异达邓肯新复极差测验 5%、1%显著水平(下同)。

Common lowercase and uppercase letters within the same column for the same treatments indicate insignificant difference at the 0.05 and 0.01 levels by Duncan's test (the same below).

表 3 不同芸薹素内酯处理对秧苗机插质量的影响

Table 3. Effect of diverse brassinollide treatments on the quality of machine-transplanted seedlings.

处理 Treatment	漏插率 Turnover seedling rate/%	漂秧率 Floating seedling rate/%	伤秧率 Damaged seedling rate/%	死苗率 Dead seedling rate/%
J <sub>0.00</sub>	5.0±0.8 aA	4.3±0.9 aA	3.3±0.5 aA	0.7±0.5 aA
J <sub>0.10</sub>	4.7±0.5 aAB	3.0±0.8 abA	2.7±0.5 aA	0.7±0.5 aA
J <sub>0.15</sub>	4.3±0.5 aAB	3.3±0.5 abA	2.3±0.5 aA	0.0±0.0 bA
J <sub>0.20</sub>	2.3±0.5 bB	2.0±0.8 bA	3.3±0.5 aA	1.0±0.0 aA
P <sub>0.00</sub>	5.0±0.8 aA	4.3±0.9 aA	3.3±0.5 aA	0.7±0.5 aA
P <sub>0.10</sub>	3.3±0.5 aA	1.7±0.9 bB	1.0±0.0 bB	0.3±0.5 aA
P <sub>0.15</sub>	4.0±0.8 aA	2.3±0.5 bAB	2.7±0.5 aAB	0.3±0.5 aA
P <sub>0.20</sub>	4.0±0.8 aA	1.3±0.5 bB	2.3±0.4 abAB	0.0±0.0 aA
B <sub>0.00</sub>	5.0±0.8 aA	4.3±0.9 aA	3.3±0.5 aA	0.7±0.5 aA
B <sub>0.20</sub>	4.3±0.5 abA	1.3±0.5 bB	0.3±0.5 cB	0.0±0.0 bA
B <sub>0.40</sub>	2.7±0.8 bA	2.3±0.5 bAB	2.3±0.5 bA	0.0±0.0 bA
B <sub>0.60</sub>	4.7±0.5 aA	1.7±0.5 bB	2.7±0.5 abA	0.0±0.0 bA

均低于对照，其漂秧率及 P<sub>0.10</sub> 的伤秧率与对照达显著差异。结果表明，P<sub>0.10</sub> 的机插质量较佳，漏插率、漂秧率、伤秧率均最低，死苗率也低于对照。

基施方式下漏插率、漂秧率、伤秧率、死苗率也均低于对照，其漂秧率、死苗率均与对照达显著差异；B<sub>0.20</sub> 的伤秧率及 B<sub>0.40</sub> 的漏插率、伤秧率与对照达显著差异。综合来看，B<sub>0.20</sub> 的漂秧率、伤秧率、死苗率均最低，B<sub>0.40</sub> 的漏插率最低，所以 BR 浓度 0.20~0.40 mg/L 的机插质量较佳。

结果表明，BR 处理能提高秧苗的机插质量，尤其能降低漏插率、漂秧率，基施处理对降低死苗率效果最佳。

2.3 芸薹素内酯处理对秧苗栽后生长的影响

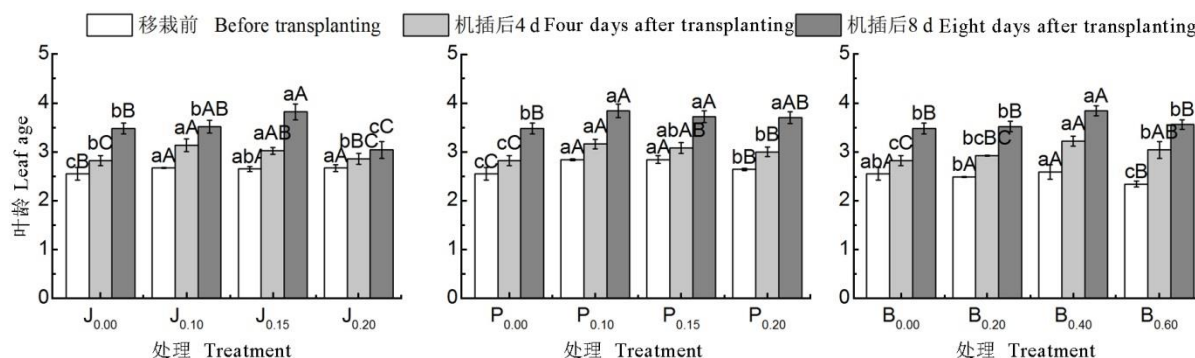
2.3.1 秧苗出叶的变化

由图 5 可知，BR 处理对促进秧苗栽后出叶有明显效果。在浸种处理中，移栽前，各处理的叶龄

均极显著地大于对照；栽后 4 d，各处理的叶龄仍大于对照，J<sub>0.10</sub>、J<sub>0.15</sub> 达极显著差异；栽后 8 d，J<sub>0.10</sub>、J<sub>0.15</sub> 的叶龄仍大于对照，J<sub>0.15</sub> 达极显著差异，而 J<sub>0.20</sub> 的叶龄极显著小于对照；结果表明，以浓度 0.15 mg/L 浸种栽后促叶效果最佳，而高浓度浸种或会抑制栽后秧苗出叶的速度。喷雾处理中，移栽前及栽后 4 d、8 d，各处理的叶龄均极显著或显著大于对照，以 P<sub>0.10</sub>、P<sub>0.15</sub> 效果较佳。基施处理中，移栽前，仅 B<sub>0.40</sub> 的叶龄大于对照，但未达显著差异；而栽后 4 d、8 d，B<sub>0.40</sub> 的叶龄均极显著大于对照。

2.3.2 秧苗叶色的变化

图 6 表明，BR 浸种方式移栽前各处理的 SPAD 值均大于对照，且 J<sub>0.10</sub>、J<sub>0.15</sub> 达显著差异；而机插后 4 d、8 d，各处理的 SPAD 值与对照差异不明显，仅 J<sub>0.15</sub> 稍大于对照。喷施方式移栽前 P<sub>0.10</sub>、P<sub>0.15</sub> 的 SPAD 值显著大于对照；机插后 4 d，各处理之间差



图中多重比较是在同一时期相同处理不同浓度间进行的比较(下同)。

The multiple comparisons in the figure were conducted between different concentrations of the same treatment during the same period(the same below).

图5 不同芸薹素内酯处理对机插后秧苗出叶的影响

Fig. 5. Effect of diverse brassinollide treatments on leaves emergence of seedlings after transplanting.

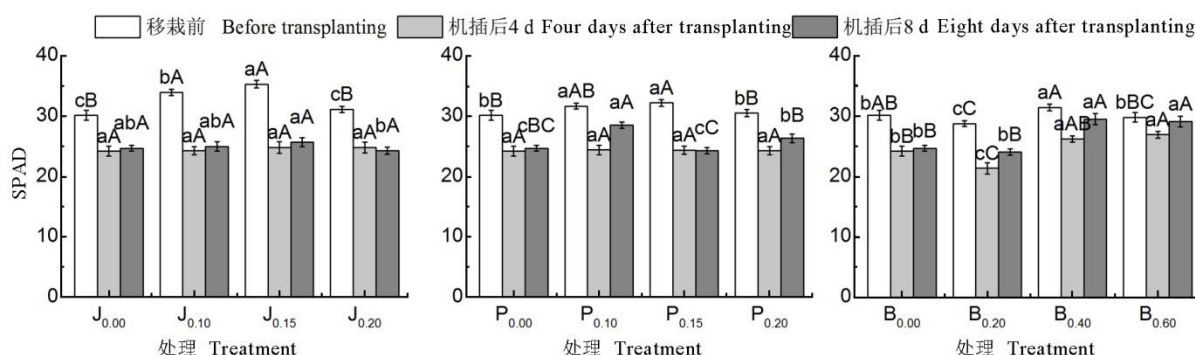


图6 不同芸薹素内酯处理对机插后秧苗叶色(SPAD)的影响

Fig. 6. Effect of diverse brassinollide treatments on SPAD of seedlings after transplanting.

异不明显;机插后8 d,仅 $P_{0.10}$ 的SPAD值显著大于对照。基施方式移栽前仅 $B_{0.40}$ 的SPAD值显著大于对照;机插后4 d、8 d, $B_{0.40}$ 、 $B_{0.60}$ 的SPAD值均显著大于对照。这一结果说明,喷施0.10 mg/L和基施0.40~0.60 mg/L的BR处理对于促进秧苗栽后返青效果最佳。

### 2.3.3 秧苗新根数量的变化

图7表明,浸种处理中,移栽前各处理的根数均大于对照, $J_{0.10}$ 、 $J_{0.15}$ 达极显著差异;秧苗栽后4 d,各处理的新根数与对照差异不显著,以 $J_{0.10}$ 新根数最多;栽后8 d,各处理的新根数均多于对照, $J_{0.20}$ 与对照达极显著差异,且4~8 d的根增长量达3.9条/株。喷施方式中,各处理的根数移栽前和栽后4 d、8 d均极显著大于对照。基施方式各处理的根数移栽前和栽后4 d也均极显著、显著大于对照;栽后8 d,各处理根数仍大于对照,仅 $B_{0.40}$ 达极显著差异,其4~8 d的根增长量达3.1条/株。结果表明,BR对促进秧苗的田间发根力的效果,以喷施处理最好。

### 2.3.4 秧苗茎蘖动态的变化

由图8可知,早稻机插后温度较低,15 d后秧

苗才陆续开始分蘖,20 d后开始产生差异,分蘖速度与数量大幅度上升。三种方式BR处理中,除 $J_{0.20}$ 、 $P_{0.20}$ 在机插后40 d达最大茎蘖数外,其他处理均在机插后35 d达最大茎蘖数,此后无效分蘖出现死亡,造成茎蘖数下降。浸种方式中,机插后20~30 d, $J_{0.10}$ 、 $J_{0.15}$ 的单株茎分蘖速率明显大于对照,而机插后30~35 d,其分蘖速率低于对照,最终单株茎蘖数高于对照,说明秧苗的快速分蘖期及有效分蘖期主要集中在机插后20~30 d。喷施方式与浸种方式的茎蘖变化趋势既有相似又有不同之处; $P_{0.10}$ 、 $P_{0.20}$ 处理在机插15~30 d的单株分蘖速率高于对照;最终单株茎蘖数均高于对照,以 $P_{0.10}$ 最高。基施方式下,各处理单株茎蘖数的变化差异不大;最终单株茎蘖数均略小于对照。结果表明,BR浸种、喷施方式均能提高秧苗的单株分蘖力,主要表现在机插后20~30 d,以0.10~0.15 mg/L浸种、0.10 mg/L喷施效果较佳。

## 3 结论与讨论

侯雷平等<sup>[29]</sup>研究表明,BR促进植物生长的靶

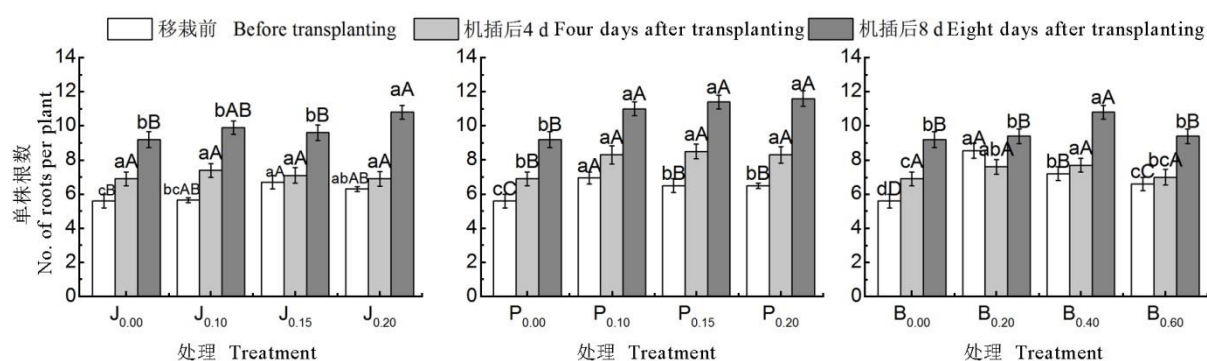


图7 不同芸薹素内酯处理对秧苗发根力的影响

Fig. 7. Effect of diverse brassinollide treatments on rooting ability of seedlings.

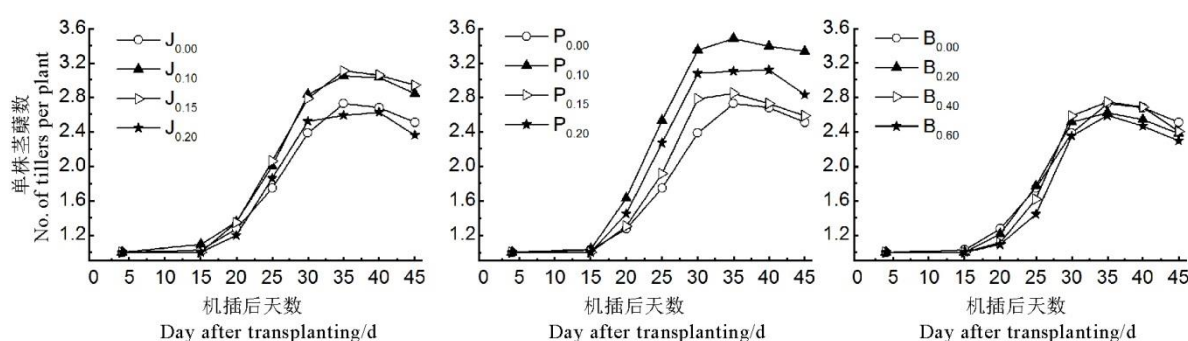


图8 不同芸薹素内酯处理对秧苗分蘖力的影响

Fig. 8. Effect of diverse brassinollide treatments on tillering ability of seedlings.

区域是细胞的细胞壁, 通过促进细胞壁的松弛, 主要使细胞体积扩大, 其次促进细胞分裂, 促使细胞摄入水分和养分; 在适宜浓度下, 可加快细胞分裂速度, 明显增加细胞壁的可塑性, 而对壁的弹性无显著效果; 高浓度时, 降低细胞分裂速率。本研究结果也表明, 适宜 BR 浓度处理对秧苗生理和栽后生长有促进作用, 而高浓度处理有抑制作用。李生<sup>[30]</sup>认为秧苗的抗逆性和长势等可以通过测定其生理性状指标来间接体现, 抗氧化酶活性、叶绿素含量、根系活力、可溶性蛋白含量等是衡量植株生长状况的主要指标; 杨舒怡等<sup>[31]</sup>认为, 抗氧化酶系统为植物遭受逆境胁迫时的重要防御体系; 黄穗华等<sup>[32]</sup>研究也表明, 通过药剂拌种可以提高水稻秧苗叶片的 POD 和 SOD 活性、可溶性糖和可溶性蛋白含量, 同时提高秧苗根系活力, 而降低 MDA 含量, 进而提高秧苗的抗逆性能。本研究结果也表明, 在稻草基质育秧条件下, 施用适量的芸薹素内酯可以提高秧苗的生理活性。除 0.20 mg/L 浓度浸种之外, 三种方式 BR 处理秧苗的根系活力增强了 13.24% ~ 48.31%, 这将有利于促进秧苗根系生长以及对土壤营养的吸收。在秧苗抗氧化性能上, BR 喷施方式的综合效果最佳; 浸种方式对提高秧苗 POD 活性

效果显著, J<sub>0.10</sub> 增幅达 96.86%; 基施方式对降低秧苗 MDA 含量效果显著, B<sub>0.40</sub> 降幅达 42.56%; 这将有利于防御或减轻过氧化自由基对细胞膜系统的伤害, 抵抗逆境胁迫给秧苗带来的不利影响。0.15 ~ 0.20 mg/L 浸种、0.10~0.15 mg/L 喷施、0.20~0.40 mg/L 基施处理对提高秧苗的可溶性蛋白、总糖含量及 C/N 效果也显著, 从而提高秧苗物质积累量, 形成壮苗, 为后期水稻生长发育奠定良好基础。

在水稻机插环节, 主要表现在漏插率大、漂秧倒秧严重、植伤严重、每穴苗数不一致、栽插不整齐等问题<sup>[33]</sup>。本研究条件下, 水稻机插的漏插率、漂秧率、伤秧率、死苗率均低于 5%; 施用 BR 尤其能降低漏插率和漂秧率, 而基施处理对降低死苗率效果尤为明显。栽后 4 d 调查发现, 秧苗相对移栽前新叶、新根生长缓慢(图 5、图 7), 叶色变淡(图 6); 栽后 8 d, 秧苗长叶、发根速度加快, 叶色相对返青。BR 对促进秧苗机插后出叶、发根的效果, 以喷施方式效果最佳; 喷施以 0.10 mg/L 浓度促返青效果较好, 基施以 0.40~0.60 mg/L 效果最好。前人研究表明<sup>[34, 35]</sup>, 大田机插后秧苗缓苗期较长, 但始蘖后分蘖数多, 速度快; 韩正光等<sup>[36]</sup>认为机插单季粳稻分蘖始期为栽后 10—15 d, 分蘖期为 15—20

d, 分蘖高峰期出现在20—25 d, 35—40 d分蘖逐渐停止。本研究结果表明, 机插15 d后才开始分蘖, 除 $J_{0.20}$ 、 $P_{0.20}$ 在机插后40 d达最大茎蘖数外, 其他处理均在机插后35 d达最大茎蘖数; 相对于单季稻, 早稻移栽时苗小、温度较低, 其分蘖始期、高峰苗期均更晚。本研究条件下, 浸种、喷施方式还能提高秧苗的单株分蘖力, 主要表现在机插20~30 d, 以浓度0.10~0.15 mg/L浸种、0.10 mg/L喷施效果较佳。

适量的芸薹素内酯处理对稻草基质培育水稻机插秧的生理活性及栽后生长发育有明显的促进作用。由于不同BR处理方式和用量对水稻秧苗生理活性及栽后生长产生不同效果, 因此机插育秧可播前、苗后分两次施用, 以播前BR浓度0.15 mg/L浸种和苗后一叶一心期0.10 mg/L喷施为好, 这与秧苗试验结果一致<sup>[22]</sup>, 利于秧苗栽后活棵、返青、分蘖。

#### 参考文献:

- [1] 章玲芬, 张建民, 孙健. 早稻机插秧不同育秧土试验[J]. 福建农业科技, 2013(5): 57-59.  
Zhang L F, Zhang J M, Sun J. Test of different soils for nursing mechanically transplanted seedlings[J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2013(5): 57-59. (in Chinese with English abstract)
- [2] 胡润, 王佳佳, 秦叶波, 王子民, 欧阳由男. 连作晚稻无土基质育秧机插效果[J]. 中国稻米, 2013(4): 103-105.  
Hu Y, Wang J J, Qin Y B, Wang Z M, Ou Y Y N. Effect of soil-free matrix after machine transplantation of late rice[J]. *China Rice*, 2013(4): 103-105. (in Chinese with English abstract)
- [3] 何永红, 缪斌. 不同秧土对水稻盘育秧苗素质的影响初报[J]. 上海农业科技, 2012(5): 45.  
He Y H, Miao B. The influence of different soil on the quality of rice plate seedlings[J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2012(5): 45. (in Chinese with English abstract)
- [4] 沈建辉, 曹卫星, 朱庆森, 薛艳凤, 景启坚. 不同育秧方式对水稻机插秧苗素质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2003(3): 7-9.  
Shen J H, Cao W X, Zhu Q S, Xue Y F, Jing Q J. Effects of different seedling raising methods on rice seedling quality by mechanical transplanting[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2003(3): 7-9. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张国良, 周青, 韩国路, 王其传, 吴秀琴. 三种育秧方式对水稻机插秧苗素质的影响[J]. 江苏农业科学, 2005(1): 19-20.  
Zhang G L, Zhou Q, Han G L, Wang Q C, Wu X Q. The effect of three ways on the quality of rice transplanting seedlings[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2005(1): 19-20. (in Chinese with English abstract)
- [6] 龙瑞平, 邓安凤, 刘冲发, 祁春, 夏琼梅, 李贵勇, 杨从党. 播种量对机插稻产量和生物学特性的影响[J]. 中国稻米, 2013(4): 109-110.  
Long R P, Deng A F, Liu C F, Qi C, Xia Q M, Li G Y, Yang C D. Effects of sowing amount on yield and biological characteristics of mulched rice[J]. *China Rice*, 2013(4): 109-110. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张卫星, 朱德峰, 林贤青, 徐一成, 林兴军, 陈惠哲, 张玉屏. 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(1): 45-48.  
Zhang W X, Zhu D F, Lin X Q, Xu Y C, Lin X J, Chen H Z, Zhang Y P. The effects of different sowing densities and raising materials on seedling quality of mechanical transplanting rice[J]. *Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition*, 2007(1): 45-48. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王强盛. 水稻旱育秧壮苗生理及肥水管理[D]. 南京: 南京农业大学, 2000: 88.  
Wang Q S. Physiology and management of fertilizer and water of rice seedlings under dryland nursery[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2000: 88. (in Chinese with English abstract)
- [9] 高德泉, 刘英灿. 水稻苗期常见危害[J]. 农业开发与装备, 2012(6): 170-171.  
Gao D Q, Liu Y C. Common hazards in rice seedling stage[J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2012(6): 170-171. (in Chinese with English abstract)
- [10] 童裕丰, 叶培根, 周书君. 水稻机械育插秧技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.  
Tong Y F, Ye P G, Zhou S J. Technology of Mechanical Cultivation and Transplanting of Rice[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [11] 吴一梅, 张洪程. 秧龄对机插水稻秧苗素质及产量的影响[J]. 中国稻米, 2009(1): 36-38.  
Wu Y M, Zhang J C. Effects of seedling age on seedling quality and yield of machine-inserted rice[J]. *China Rice*, 2009(1): 36-38. (in Chinese with English abstract)
- [12] Huang H M, Wu M J, Wang N, Liu X H, Jin F Y, Cao C X. Effects of SSA dosages on seedling quality and yield by mechanical transplanting[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2013, 14(10): 1429-1431.
- [13] 樊继伟, 秦德荣, 方兆伟, 卢百关, 陈庭木, 李健, 迟铭, 徐大勇. 多效唑对不同类型水稻秧苗素质及其产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2009(5): 37-38.  
Fan J W, Qin D R, Fang Z W, Lu B G, Chen T M, Li J, Chi M, Xu D Y. Effects of polytriazole on seedling



- quality and yield of different types of rice[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2009(5): 37-38. (in Chinese with English abstract)
- [14] 孙振令, 张红雨. 芸薹素内酯的研究进展及其在农业生产中的应用[J]. 淄博学院学报: 自然科学与工程版, 2001(2): 80-83.  
Sun Z L, Zhang H Y. Research progress of brassinolide and its application in agricultural production[J]. *Journal of Zibo University: Natural Science and Engineering Edition*, 2001(2): 80-83. (in Chinese with English abstract)
- [15] 陈秀, 方朝阳. 植物生长调节剂芸薹素内酯在农业上的应用现状及前景[J]. 世界农药, 2015(2): 34-36.  
Chen X, Fang C Y. Application status and prospect of brassinolide in agriculture[J]. *World Pesticides*, 2015(2): 34-36. (in Chinese with English abstract)
- [16] 谭雪明, 胡凯, 李木英, 廖莎, 潘晓华, 石庆华. 稻草基质的制备处理对水稻秧苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(16): 1-6.  
Tang X M, Hu K, Li M Y, Liao S, Pan X H, Shi Q H. Effect of preparation treatment of rice straw substrate on rice seedling growth[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(16): 1-6. (in Chinese with English abstract)
- [17] 廖莎, 谭雪明, 李木英, 胡凯, 潘晓华, 石庆华. 稻草基质育秧不同水分管理对水稻秧苗生长的影响[J]. 中国稻米, 2017, 23(4): 71-74.  
Liao S, Tang X M, Li M Y, Hu K, Pan X H, Shi Q H. Effects of different water management on seedling growth of rice in straw substrates[J]. *China Rice*, 2017, 23(4): 71-74. (in Chinese with English abstract)
- [18] 朱宁, 谭雪明, 李木英, 潘晓华, 石庆华. 稻草基质育秧不同有机肥处理对水稻秧苗生长的影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(2): 286-294.  
Zhu N, Tang X M, Li M Y, Pan X H, Shi Q H. Effects of different organic fertilizers on growth of rice seedlings raised in straw substrates[J]. *Acta Agricultural Universitatis Jiangxiensis*, 2018, 40(2): 286-294. (in Chinese with English abstract)
- [19] 谭雪明, 胡凯, 李木英, 廖莎, 潘晓华, 石庆华. 稻草基质育秧的氮肥管理对水稻秧苗素质的影响[J]. 杂交水稻, 2018, 33(3): 59-63.  
Tang X M, Hu K, Li M Y, Liao S, Pan X H, Shi Q H. Effects of nitrogen fertilizers management on seedling quality in raising seedling with rice straw substrate[J]. *Hybrid Rice*, 2018, 33(3): 59-63. (in Chinese with English abstract)
- [20] 黄再萍. 芸薹素内酯复配制剂的开发与应用[J]. 江西农业大学, 2013: 38.  
Huang Z P. Development and application of brassinolide mixture preparation[J]. *Jiangxi Agricultural University*, 2013: 38. (in Chinese with English abstract)
- [21] 季建刚, 夏孝勤. 芸薹素内酯对稻谷根芽长度及发芽率的影响[J]. 现代农业科技, 2013(10): 130-136.  
Ji J G, Xia X Q. Effect of brassinolide on root bud length and germination rate of rice[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013(10): 130-136. (in Chinese with English abstract)
- [22] 廖莎, 谭雪明, 李木英, 胡凯, 潘晓华, 石庆华. 稻草基质育秧不同芸薹素内酯处理对水稻秧苗生长的影响[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(5): 851-858.  
Liao S, Tang X M, Li M Y, Hu K, Pan X H, Shi Q H. Effects of different treatments of brassinolide on seedling growth of rice in straw substrates[J]. *Acta Agricultural Universitatis Jiangxiensis*, 2017, 39(5): 851-858. (in Chinese with English abstract)
- [23] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.  
Zhang Z L, Qu W J. Plant Physiology Experiment Guide[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003. (in Chinese)
- [24] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 167-169.  
Li H S. Principles and Techniques of Plant Physiological and Biochemical Experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 167-169. (in Chinese)
- [25] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学模块实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 120-123.  
Chen J X, Wang X F. Plant Physiology Module Experiment Guide[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2002: 120-123. (in Chinese)
- [26] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 95-97.  
Li L. Plant Physiology Module Experiment Guide[M]. Beijing: Science Press, 2009: 95-97. (in Chinese)
- [27] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2004: 26-34.  
Zhao S J. Plant Physiology Experiment Guide[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004: 26-34. (in Chinese)
- [28] Shouichi Y, Douglas A F, James H C, Kwanchai A G. Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice. Philippines: International Rice Research Institution, 1976.
- [29] 侯雷平, 李梅兰. 油菜素内酯(BR)促进植物生长机理研究进展[J]. 植物学通报, 2001(5): 560-566.  
Huo L P, Li M L. Progress of studies on the plant growth promoting mechanism of brassinolide (BR) [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001(5): 560-566. (in Chinese with English abstract)
- [30] 李生. 不同育秧方式和壮秧剂对水稻生长生理的影响[D]. 南京: 广西大学, 2013: 73.  
Li S. Growth and physiology effects of rice under the seedling strengthen agent and seedling breeding ways[D].

- Nanjing: Guangxi University, 2013: 73. (in Chinese with English abstract)
- [31] 杨舒贻, 陈晓阳, 惠文凯, 任颖, 马玲. 逆境胁迫下植物抗氧化酶系统响应研究进展[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2016, 45(5): 481-489.
- Yang S Y, Chen X Y, Hui W K, Ren Y, Ma L. Progress in responses of antioxidant enzyme systems in plant to environmental stresses[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 2016, 45(5): 481-489. (in Chinese with English abstract)
- [32] 黄穗华, 罗昊文, 黄兴革, 范平珊, 孔雷蕾, 钟卓君, 唐湘如. 药剂拌种对直播稻秧苗生长和生理特性的影响[J]. 作物杂志, 2018(2): 171-176.
- Huang S H, Luo H W, Huang X G, Fan P S, Kong L L, Zhong Z R, Tang X R. Effects of seeds dressing agent on morphology and biochemical characteristics of direct-sowing rice seedling[J]. *Crops*, 2018(2): 171-176. (in Chinese with English abstract)
- [33] 韩休海, 王涛, 侯国强. 水稻育插秧机械化技术研究[J]. 农机化研究, 2009(11): 250-252.
- Han X H, Wang T, Huo G Q. Study on mechanization technology of rice transplanting[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009(11): 250-252. (in Chinese with English abstract)
- [34] 陈晔. 机插水稻返青至分蘖期的栽培措施[J]. 黑龙江农业科学, 2006(4): 103.
- Chen Y. Cultivation measurent of grow paddy rice from the green period to the lillering period by farm machines[J]. *Heilongjiang Agricultural Science*, 2006(4): 103. (in Chinese with English abstract)
- [35] 凌励. 机插水稻分蘖发生特点及配套高产栽培技术改进的研究[J]. 江苏农业科学, 2005(3): 14-19.
- Ling L. Study on the characteristics of tiller production and improvement of high yield cultivation techniques in machine-inserted rice[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2005(3): 14-19. (in Chinese with English abstract)
- [36] 韩正光, 韩国华, 于秀梅, 吕元荣, 王登宇. 机插水稻分蘖发生特点及其成穗规律研究[J]. 上海农业科技, 2003(5): 24-25.
- Han Z G, Han G H, Yu X M, Lv Y R, Wang D Y. Study on the characteristics of tiller production and panicle formation in machine-inserted rice[J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2003(5): 24-25. (in Chinese with English abstract)