

# 结实前水分供应对寒地水稻灌浆动态和产量的影响

郭晓红<sup>1</sup>, 郑桂萍<sup>1</sup>, 殷大伟<sup>2</sup>, 牛岩<sup>3</sup>, 于晓羽<sup>3</sup>,  
李晓蕾<sup>1</sup>, 钱海霞<sup>1</sup>, 魏长凯<sup>1</sup>, 蔡永盛<sup>1</sup>, 吕艳东<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 沈阳农业大学 水稻研究所,  
辽宁 沈阳 110161; 3. 黑龙江省 856 农场, 黑龙江 鸡西 158418)

**摘要:** 以垦鉴稻 5 号为材料, 采用负压式土壤湿度计监测土壤水势, 通过防雨棚内的盆栽控水试验研究了结实前水分供应对寒地水稻灌浆动态和产量影响。研究表明, 结实前进行  $-8 \sim -10$  kPa 的间歇控水处理, 垦鉴稻 5 号的经济产量增加; 垦鉴稻 5 号优、劣势粒的平均生长速率( $\bar{G}$ )和最大生长速率( $G_{\max}$ )值升高, 中势粒表现则相反; 垦鉴稻 5 号优、中势粒相当于生长终值百分数的  $I$  值升高, 劣势粒表现则相反; 垦鉴稻 5 号优势粒的活跃生长期  $D$  缩短, 中、劣势粒的相反; 垦鉴稻 5 号各粒位生长速率最大时的生长量( $W_{\max G}$ )值增大。结实前进行  $-18 \sim -20$  kPa 和  $-28 \sim -30$  kPa 的持续控水处理, 垦鉴稻 5 号的经济产量均极显著降低; 垦鉴稻 5 号优势粒的  $\bar{G}$  和  $G_{\max}$  值降低, 中势粒、劣势粒的相反; 垦鉴稻 5 号各粒位的  $I$  值升高、活跃生长期  $D$  缩短、 $W_{\max G}$  值增大。

**关键词:** 水分供应; 寒地水稻; 灌浆动态; 产量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0086-06

中图分类号: S311, S511.06

## Effects of Water Supply During Stage of Before-heading on Filling Dynamics and Yield of Rice in Cold Regions

GUO Xiao-hong<sup>1</sup>, ZHENG Gui-ping<sup>1</sup>, YIN Da-wei<sup>2</sup>, NIU Yan<sup>3</sup>, YU Xiao-yu<sup>3</sup>;  
LI Xiao-lei<sup>1</sup>, QIAN Hai-xia<sup>1</sup>, WEI Chang-kai<sup>1</sup>, CAI Yong-sheng<sup>1</sup>, LÜ Yan-dong<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing,  
Heilongjiang 163319, China; 2. Rice Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang,  
Liaoning 110161, China; 3. 856 Farm of Heilongjiang Province, Jixi, Heilongjiang 158418, China)

**Abstract:** With Kenjian 5 Rice as experimental materials, the effects of water supply during the stage of before-heading on filling dynamics and yield of rice in cold regions were studied with pots under rainproof shelter. Water dynamics in the pots were monitored by examining soil water potential(SWP) using negative pressure soil moisture tensiometers. The results indicate that intermittent irrigation at SWP between  $-8 \sim -10$  kPa increased economic yield of Kenjian 5 Rice significantly, along with increases of average growth rate( $\bar{G}$ ) and maximum growth rate( $G_{\max}$ ) of the superior grains and inferior grains and decreases of  $\bar{G}$  and  $G_{\max}$  of the middle grains. The index  $I$  values of superior grains and middle grains were improved, despite those of the middle grains. The growing active days( $D$ ) were shortened for the superior grains, while elongated for the inferior grains and middle grains. The weight per 1 000 grains( $W_{\max G}$ ) was increased for all the three grades of the rice grains. On the contrary, with unremitting irrigation at SWP between  $-18 \sim -20$  kPa and  $-28 \sim -30$  kPa during the stage of before-heading, economic yield of Kenjiandao 5 were significantly reduced, indicating by increased  $\bar{G}$  and  $G_{\max}$  values for the superior grains and decreased  $\bar{G}$  and  $G_{\max}$  values for the middle grains and inferior grains, and raised  $I$  values, shortened  $D$  and increased  $W_{\max G}$  for the grains of all the three grades.

**Keywords:** water supply; rice in cold region; filling dynamics; yield

土壤干旱是影响作物产量最重要的因素之一<sup>[1-2]</sup>。我国因干旱造成水稻欠收已经成为生产中的一个突出问题<sup>[3]</sup>, 尤其是我国北方地区, 年际间降雨量差异较大, 干旱发生频繁, 而且随着水田面积增加,

收稿日期: 2011-08-28

修回日期: 2011-10-06

资助项目: 黑龙江省科技攻关重点项目“黑龙江省水稻大面积均衡优质高产栽培综合配套技术体系研究”(GA10B102); 黑龙江省科技攻关项目(GA09B102-4); 黑龙江省省长基金项目(2009HSJ-A-2); 黑龙江八一农垦大学博士启动基金项目(B2010-5)

作者简介: 郭晓红(1980—), 女(汉族), 黑龙江省宁安市人, 讲师, 主要从事水稻生理研究。E-mail: dongjingcheng2002@yahoo.com.cn。

通信作者: 吕艳东(1978—), 男(汉族), 黑龙江省肇州县人, 副研究员, 主要从事水稻节水栽培研究。E-mail: luyandong336@sohu.com。

灌溉水资源日趋匮乏,导致一些地区由于缺水,使水稻产量和品质下降。国内外研究结果表明<sup>[4-5]</sup>,水稻具有一定的水旱两栖性。因此,在满足水稻高产生理需水的前提下,实行节水栽培潜力很大。在许多国家 1 m<sup>3</sup> 水能生产粮食 2 kg,而中国用同样的水产粮不足 1 kg,其根源在于农业节水技术的落后。我国水稻种植面积约占粮食播种面积的 30%,稻谷总产量约占粮食总产量的 40%,是全国种植范围最大和涉及“三农”面最广的主粮作物,也是农民增产增收的重要产业之一<sup>[6]</sup>。对于中国这样一个缺水的国家发展节水型水稻育种和生产迫在眉睫。为此,人们从生理、栽培及育种等多角度对水稻与水分胁迫间的关系进行了研究,取得了大量的结果,但大多都侧重于结实期水分与产量的关系研究<sup>[7-11]</sup>。寒地水稻结实前包括营养生长阶段和营养生殖并进阶段,本田生育时期为分蘖期和穗分化期。分蘖期水分胁迫主要是影响了正常的分蘖进程,显著减少了最终的有效穗数;穗分化期控水对水稻影响最大,既影响了营养生长,使生长量不足,又抑制了生殖生长,影响了穗分化,使每穗总颖花数明显减少,穗重相应地严重降低。结实前不同生育阶段水分处理与产量的关系也有研究<sup>[12-14]</sup>,而关于结实前整个生育阶段的水分处理与产量关系的研究鲜有报道。为此,本研究通过结实前水分处理,研究其对水稻物质生产及灌浆动态和产量影响,以期对水稻节水、高产栽培提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料及设计

试验于 2009 年在黑龙江八一农垦大学盆栽场进

行,在防雨棚中人工严格控水,晴天时打开防雨棚。供试土壤为草甸土,土壤的基础条件详见表 1。

表 1 试验土壤养分含量状况

碱解氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	有机 质/%	pH 值
200	15	170	2.51	7.61

供试品种垦鉴稻 5 号,主茎为 12 片叶。文中垦鉴稻 5 号处理情况详见表 2。4 月 10 日浸种,4 月 19 日播种(水 9 L/m<sup>2</sup>,可溶性育苗专用肥 60 g/m<sup>2</sup>,移栽灵 2 ml/m<sup>2</sup>,3 者混匀喷施苗盘),4 月 26 日出苗,秧田管理正常进行,5 月 20 日进行移栽,每盆 3 穴,每穴 3 苗,选叶龄均为 3.1~3.5 的秧苗,均匀分布。盆栽基肥氮肥为尿素,用量 0.76 g/盆(以纯 N 计);磷肥为磷酸二铵,用量 0.49 g/盆(以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 计);钾肥为硫酸钾,用量 1.16 g/盆(以 K<sub>2</sub>O 计),5 月 30 日施分蘖肥尿素 0.27 g/盆(以纯 N 计)。7 月 20 日施穗肥尿素 0.06 g/盆(以纯 N 计),硫酸钾 0.17 g/盆(以 K<sub>2</sub>O 计)。

采用盆栽人工控制水分方法,盆钵直径为 28 cm,高 30 cm,每盆装过筛混匀土 10 kg,移栽前模拟水耙地搅浆,沉降几日后插秧。用南京土壤研究所生产的负压式土壤湿度计监测土壤水势。开始控水时安装负压式土壤湿度计,安装时陶头中部离土表 10 cm,在土表湿度计管的周围用泥将缝隙塞严,以免影响试验效果。每处理用 4 支土壤湿度计监测土壤水势,每日 8:00 和 14:00,2 次读表,根据处理要求及时补水。生育期间人工除草。供试盆数为两品种各处理各 35 盆,随机排列。9 月末收获,晾干后考种测产。

表 2 垦鉴稻 5 号的不同处理

处理编号	水分管理
J <sub>CK</sub>	插秧后至蜡熟末期浅水层 3~5 cm。
J <sub>1</sub>	插秧后浅水层 3~5 cm,返青后,自然落干至 -8~-10 kPa;然后覆水至 3~5 cm,再自然落干至 -8~-10 kPa,如此反复直至出穗,出穗后水分管理同对照。
J <sub>2</sub>	插秧后浅水层 3~5 cm,返青后,进行 -18~-20 kPa 的控水处理,至出穗,出穗后水分管理同对照。
J <sub>3</sub>	插秧后浅水层 3~5 cm,返青后,进行 -28~-30 kPa 的控水处理,至出穗,出穗后水分管理同对照。

### 1.2 测试内容与方 法

于开花期挂牌,标记同日开花的穗子 100 个,于花后 7,14,21,28,35,42,49 d 取样,每次取单穗 8~10 个。根据每穗上的一次枝梗数,将每个单穗分为上、中、下共 3 部分,如果一次枝梗数能被 3 整除,上、中、下部平均分配,如果不能被 3 整除,下部优先分配,其次中部分配。摘取优(上部一次枝梗上的粒)、中(枝梗上除了优势粒和劣势粒的所有粒)、劣势粒(下部

二次枝梗上的粒),剔除未受精的空粒,于 105 °C 杀青 0.5 h,然后转入 70 °C 烘干至恒重,计算子粒平均重,进行子粒灌浆动态研究。参照朱庆森等人的方法由 Richards 方程导出一系列次级参数,用于分析寒地水稻子粒增重的基本特征及控水对子粒增重的影响。通过定期测定子粒的生长过程,以子粒生长量为依变数、开花后天数(开花日当天为 0) *t* 为自变数,配成 Richards 方程:

$$W = A(1 + Be^{-kt})^{-1/N}$$

式中:  $A, B, K, N$ ——为参数;  $A$ ——生长终值量或称生物学上限;  $B$ ——生长的初始值参数;  $K$ ——生长速率参数;  $N$ ——曲线的形状参数, 当  $N=1$  时该方程即为 Logistic 方程;  $t$ ——时间变量, 用决定系数  $R^2$  ( $W$  依  $t$  的回归平方和占总平方和的比率), 表示其配合适度。

对方程求一阶导数, 可以得到生长速率  $G$  [即单位时间的生长量,  $g/(\text{百粒} \cdot \text{d})$ ]。起始生长势  $R_0 = K/N$ , 它表示受精子房的生长潜势。  $T_{\max G}$  和  $G_{\max}$  分别为生长速率  $G$  为最大时的日期和最大生长速率,  $W_{\max G}$  和  $I$  分别为生长速率最大时的生长量和相当于生长终值量  $A$  的%,  $\bar{G}$  和  $D$  分别为平均生长速率和活跃生长期。每个处理选有代表性的植株 7 穴, 测定项目主要有每株穗数, 将每穗分成优势粒、中势粒和劣势粒 3 部分, 分别计数各部分的实粒数、空秕粒数, 并称取粒重, 计算结实率、千粒重。

## 2 结果与分析

### 2.1 结实前水分供应对产量及产量构成因素的影响

控水处理不同程度地减少了垦鉴稻 5 号的收获穗数, 与  $J_{CK}$  的每穴 27.9 个穗数相比,  $J_1$  减少了 2.51%, 两者差异不显著;  $J_2$  和  $J_3$  分别减少了 30.5% 和 32.6%, 与  $J_{CK}$  差异均达极显著水平 (表 3)。

表 3 结实前水分供应对水稻产量构成因素和产量的影响

处理	穗数	穗粒数	结实率/ %	千粒重/ g	经济产量 (g/穴)
$J_{CK}$	27.9 <sup>aA</sup>	65.9 <sup>aA</sup>	78.1 <sup>bB</sup>	23.13 <sup>aA</sup>	33.32 <sup>aA</sup>
$J_1$	27.3 <sup>aA</sup>	59.8 <sup>bB</sup>	90.3 <sup>aA</sup>	23.62 <sup>aA</sup>	34.73 <sup>aA</sup>
$J_2$	18.8 <sup>bB</sup>	24.4 <sup>cC</sup>	78.4 <sup>bB</sup>	21.81 <sup>bB</sup>	7.83 <sup>bB</sup>
$J_3$	19.4 <sup>bB</sup>	23.4 <sup>cC</sup>	75.3 <sup>bB</sup>	20.92 <sup>cB</sup>	7.20 <sup>bB</sup>

注: 不同大写字母表示差异极显著, 不同小写字母表示差异显著。下同。

控水处理不同程度地减少了垦鉴稻 5 号的穗粒数, 与  $J_{CK}$  的每穗 65.9 个粒相比,  $J_1, J_2$  和  $J_3$  分别减少

了 9.26%, 63.0% 和 64.5%, 与  $J_{CK}$  差异均达极显著水平 (表 3)。分析两品种不同粒位穗粒数的差异 (表 4),  $J_1$  的优势粒略多于  $J_{CK}$  的, 但两者差异不显著;  $J_1$  的中势粒和劣势粒均少于  $J_{CK}$  的, 其中中势粒两者差异达显著水平, 劣势粒两者差异达极显著水平。  $J_2$  和  $J_3$  的优、中和劣势粒均少于  $J_{CK}$ , 且差异均达极显著水平。

$J_1$  与  $J_{CK}$  相比, 结实率增加了 15.65%, 两者差异达极显著水平;  $J_2$  的结实率比  $J_{CK}$  增加了 0.33%, 两者差异不显著;  $J_3$  的结实率比  $J_{CK}$  降低了 3.59%, 两者差异不显著; 说明结实前进行 -8~-10 kPa 的间歇控水处理, 有利于垦鉴稻 5 号结实率的增加; 结实前进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的持续控水处理, 不利于垦鉴稻 5 号结实率的增加 (表 3)。结实前进行不同强度控水, 对两品种不同粒位的结实情况影响规律不同。  $J_1$  种优、中、劣势粒的结实率均比  $J_{CK}$  的高, 其中优势粒两者差异不显著, 中势粒和劣势粒两者差异达极显著水平;  $J_2$  和  $J_3$  的优、中势粒的结实率均低于  $J_{CK}$ , 其中  $J_2$  和  $J_3$  的优势粒与  $J_{CK}$  相比均达差异极显著水平, 而中势粒与  $J_{CK}$  相比差异不显著,  $J_2$  和  $J_3$  劣势粒的结实率高于  $J_{CK}$ , 且与  $J_{CK}$  相比均达差异极显著水平 (表 4)。

与  $J_{CK}$  的千粒重 23.61 g 相比,  $J_1$  增加了 2.08%, 两者差异不显著;  $J_2$  和  $J_3$  分别降低了 5.71% 和 9.55%, 与  $J_{CK}$  差异均达极显著水平。上述结果说明, 结实前进行 -8~-10 kPa 的间歇控水处理, 使垦鉴稻 5 号的千粒重增加; 结实前进行 -18~-20 kPa 和 -28~-30 kPa 的持续控水处理, 会造成垦鉴稻 5 号千粒重的降低, 且随着控水强度的增加, 千粒重降低的越多 (表 3)。  $J_1$  优、中、劣势粒的千粒重, 与  $J_{CK}$  相比分别增加了 2.91%, 1.77% 和 0.28%, 均未达到差异显著水平;  $J_2$  优、中、劣势粒的千粒重, 与  $J_{CK}$  相比分别减少了 4.22%, 6.01% 和 5.52%, 其中优势粒两者差异不显著, 中势粒两者差异达极显著水平, 劣势粒两者差异达显著水平;  $J_3$  优、中、劣势粒的千粒重, 与  $J_{CK}$  相比分别减少了 11.28%, 8.90% 和 12.41%, 且差异均达显著水平 (表 4)。

表 4 垦鉴稻 5 号各处理不同粒位穗粒数、结实率和千粒重

处理	穗粒数			结实率/%			千粒重/g		
	优势粒	中势粒	劣势粒	优势粒	中势粒	劣势粒	优势粒	中势粒	劣势粒
$J_{CK}$	12.0 <sup>aA</sup>	48.0 <sup>aA</sup>	5.9 <sup>aA</sup>	90.9 <sup>aA</sup>	78.3 <sup>bB</sup>	52.7 <sup>cB</sup>	23.68 <sup>abA</sup>	23.13 <sup>aA</sup>	21.36 <sup>aA</sup>
$J_1$	12.1 <sup>aA</sup>	44.4 <sup>bA</sup>	3.4 <sup>bB</sup>	95.0 <sup>aA</sup>	90.0 <sup>aA</sup>	78.7 <sup>bA</sup>	24.37 <sup>aA</sup>	23.54 <sup>aA</sup>	21.42 <sup>aA</sup>
$J_2$	5.1 <sup>bB</sup>	17.9 <sup>cB</sup>	1.4 <sup>cC</sup>	79.4 <sup>bB</sup>	77.6 <sup>bB</sup>	84.4 <sup>abA</sup>	22.68 <sup>abB</sup>	21.74 <sup>bB</sup>	20.18 <sup>bA</sup>
$J_3$	5.1 <sup>bB</sup>	17.2 <sup>cB</sup>	1.2 <sup>cC</sup>	74.2 <sup>bB</sup>	74.9 <sup>bB</sup>	89.1 <sup>aA</sup>	21.01 <sup>cB</sup>	21.07 <sup>bB</sup>	18.71 <sup>cB</sup>

与  $J_{CK}$  的经济产量  $33.32 \text{ g/穴}$  相比,  $J_1$  增加了增加了  $4.24\%$ , 两者差异不显著;  $J_2$  和  $J_3$  分别减少了  $76.50\%$  和  $78.38\%$ , 与  $J_{CK}$  相比差异均达极显著水平(表3)。

为了分析控水处理使两品种产量发生变化的原因, 分别对不同处理的优、中、劣势粒的产量及其对产量的贡献进行了测定, 结果详见表5。

由表5可以看出, 结实前进行  $-8 \sim -10 \text{ kPa}$  的间歇控水处理, 增加了垦鉴稻5号优、中势粒的理论产量, 与  $J_{CK}$  相比,  $J_1$  优、中势粒的理论产量分别增加

$5.45\%$  和  $5.69\%$ , 但差异均未达显著水平; 降低了垦鉴稻5号劣势粒的理论产量, 与  $J_{CK}$  相比,  $J_1$  劣势粒的理论产量降低了  $19.40\%$ , 差异也未达显著水平。结实前进行  $-18 \sim -20 \text{ kPa}$  和  $-28 \sim -30 \text{ kPa}$  的持续控水处理, 降低了垦鉴稻5号优、中、劣势粒的理论产量, 与  $J_{CK}$  相比,  $J_2$  优、中、劣势粒的理论产量分别降低了  $76.25\%$ ,  $76.67\%$  和  $75.18\%$ , 差异均达极显著水平; 与  $J_{CK}$  相比,  $J_3$  优、中、劣势粒的理论产量分别降低了  $78.60\%$ ,  $78.29\%$  和  $78.66\%$ , 差异均达极显著水平。

表5 垦鉴稻5号不同部位产量百分比

处理	优势粒			中势粒			劣势粒		
	理论产量 $\text{g/穴}$	贡献率/%	$\pm\Delta$	理论产量 $\text{g/穴}$	贡献率/%	$\pm\Delta$	理论产量 $\text{g/穴}$	贡献率/%	$\pm\Delta$
$J_{CK}$	7.24	19.06	0.00	24.23	71.16	0.00	1.85	5.55	0.00
$J_1$	7.63	19.11	5.45	25.61	71.73	5.69	1.49	4.29	-19.40
$J_2$	1.72	23.62	-76.25	5.65	71.28	-76.67	0.46	5.86	-75.18
$J_3$	1.55	24.18	-78.60	5.26	73.08	-78.29	0.39	5.48	-78.66

注:  $\pm\Delta$  表示与对照处理相比较的增减百分率。下同。

## 2.2 结实前水分供应对水稻子粒的灌浆特性的影响

垦鉴稻5号各处理不同部位子粒的增重过程如图1所示。由图1可以看出, 水稻植株不同部位子粒的增重过程具有相同的规律, 随着时间进程子粒重量

均表现为: 优势粒 > 中势粒 > 劣势粒。优势粒由于竞争能力强, 启动灌浆早, 子粒增重快, 劣势粒由于生理上的弱势, 竞争能力弱, 启动灌浆晚, 粒重始终处于最低。

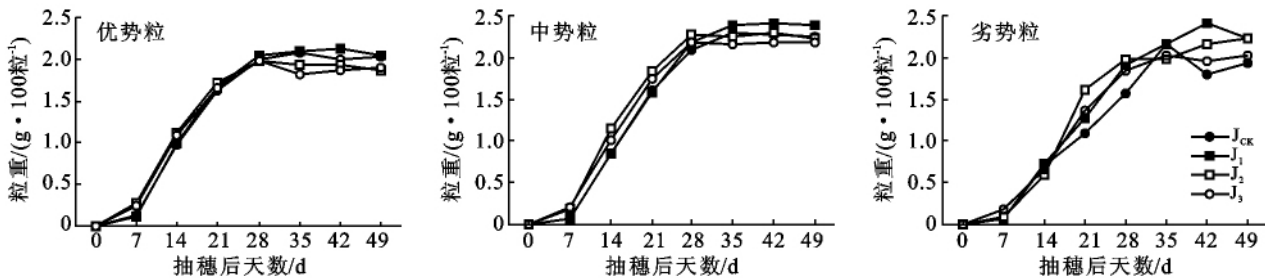


图1 垦鉴稻5号各处理的子粒增重曲线

Richards 方程的拟合结果表明, 结实前控水各处理不同粒位子粒灌浆的决定系数均较大, 这说明 Richards 方程能很好地模拟该品种不同粒位子粒的增重过程。通过计算子粒单位时间内单位子粒的干物质生长量得到其灌浆速率  $[g/(百粒 \cdot d)]$ ,  $J_{CK}$ ,  $J_1$ ,  $J_2$  和  $J_3$  不同粒位子粒灌浆速率如图2所示。各处理优、中、劣势粒的灌浆速率曲线均为单峰曲线, 且峰值均出现在抽穗后 14 d; 各处理优、中势粒灌浆速率曲线的峰均比较陡峭, 说明其高速灌浆持续的时间较短。此外,  $J_{CK}$ ,  $J_1$  和  $J_3$  的劣势粒峰比较平缓, 说明高速灌浆持续的时间较长,  $J_2$  峰的劣势粒的峰比较陡峭, 说明高速灌浆持续的时间都较短。另一点不同的

是: 最大灌浆速率不同, 其中  $J_1$  优、劣势粒的最大灌浆速率分别高于  $J_{CK}$  处理的  $5.60\%$  和  $16.67\%$ , 中势粒的最大灌浆速率低于  $J_{CK}$  处理的  $2.40\%$ ;  $J_2$  优势粒的最大灌浆速率低于  $J_{CK}$  处理的  $5.67\%$ , 中、劣的最大灌浆速率高于  $J_{CK}$  处理的  $6.01\%$  和  $60.97\%$ ;  $J_3$  优势粒的最大灌浆速率低于  $J_{CK}$  处理的  $1.96\%$ , 中、劣的最大灌浆速率高于  $J_{CK}$  处理的  $2.51\%$  和  $12.40\%$ 。

分析结果表明, 本试验  $J_{CK}$ ,  $J_1$ ,  $J_2$  和  $J_3$  的优、中、劣势粒的  $N$  值均小于 1, 速率曲线左偏, 优、中、劣势粒灌浆增重的特征相似, 时间上也近于同步, 为同步灌浆型。表明结实前控水对垦鉴稻5号不同粒位子粒的灌浆进程无太大影响。根据不同粒位各处理的 Rich-

ards 方程,可计算出灌浆次级参数。计算结果显示,结实前控水各处理不同粒位子粒灌浆的起始生长势

$R_0$  不同,但表现出明显的规律性,基本均表现为:中势粒>优势粒>劣势粒,说明中势粒的生长潜势大。

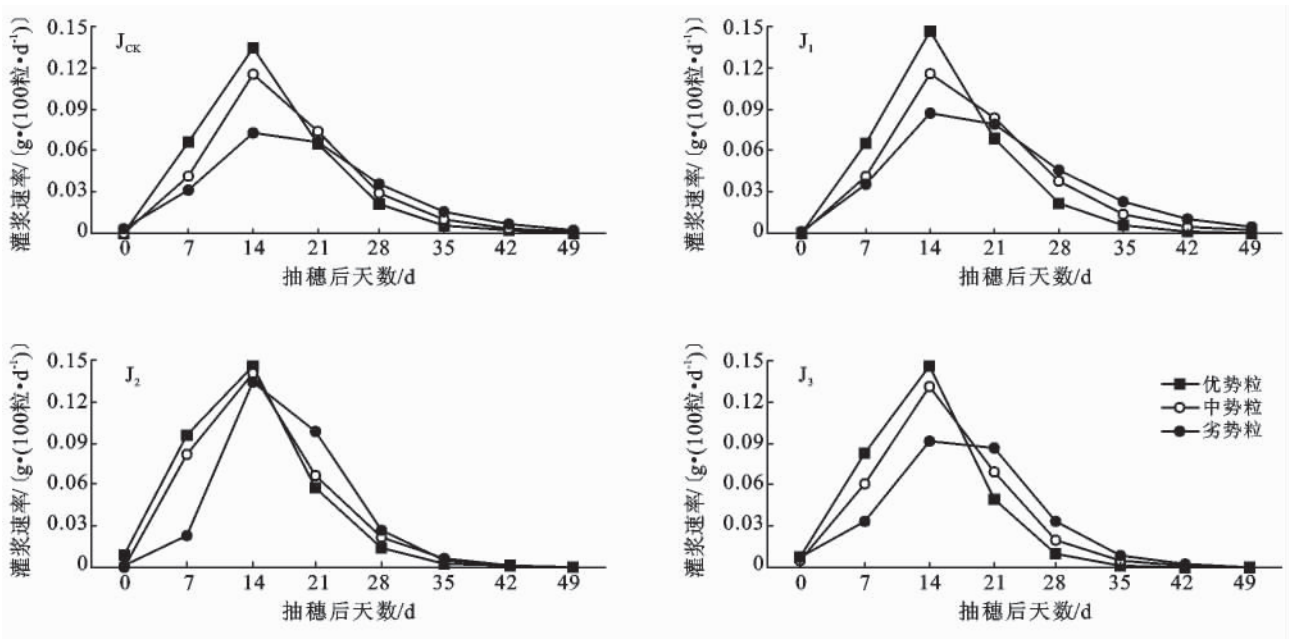


图 2 垦鉴稻 5 号各处理不同粒位灌浆速率曲线

结实前控水处理对垦鉴稻 5 号各处理不同粒位子粒达到最大灌浆速率的时间  $T_{maxG}$  有一定影响,各处理达到最大灌浆速率的时间均表现为:劣势粒>中势粒>优势粒。其中  $J_1$  优、中势粒达到最大灌浆速率的时间较  $J_{CK}$  分别延长了 1.13% 和 4.19%,劣势粒较  $J_{CK}$  缩短了 0.85%;  $J_2$  优、中势粒、劣势粒达到最大灌浆速率的时间较  $J_{CK}$  分别缩短了 4.30%, 14.39% 和 1.68%;  $J_3$  优、中势粒达到最大灌浆速率的时间较  $J_{CK}$  分别缩短了 1.75% 和 3.21%,劣势粒较  $J_{CK}$  延长了 5.03%。

结实前进行  $-8 \sim -10$  kPa 的间歇控水处理,使垦鉴稻 5 号优、劣势粒的  $\bar{G}$  和  $G_{max}$  值升高,中势粒的  $\bar{G}$  和  $G_{max}$  值降低。结实前进行  $-18 \sim -20$  kPa 和  $-28 \sim -30$  kPa 的持续控水处理,使垦鉴稻 5 号优势粒的  $\bar{G}$  和  $G_{max}$  值降低,中势粒、劣的  $\bar{G}$  和  $G_{max}$  值升高。

结实前进行  $-8 \sim -10$  kPa 的间歇控水处理,使垦鉴稻 5 号优、中势粒的  $I$  值升高,劣势粒的  $I$  值降低。结实前进行  $-18 \sim -20$  kPa 和  $-28 \sim -30$  kPa 的持续控水处理,使垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒的  $I$  值升高,其升高的幅度依次为:优势粒>劣势粒>中势粒,即控水使达到最大灌浆速率时的子粒干物重占最终干物重的比率升高。

结实前进行  $-8 \sim -10$  kPa 的间歇控水处理,使垦鉴稻 5 号优势粒的活跃生长期  $D$  缩短,中、劣势粒的活跃生长期  $D$  延长。结实前进行  $-18 \sim -20$  kPa

和  $-28 \sim -30$  kPa 的持续控水处理,使垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒的活跃生长期  $D$  缩短。

结实前控水处理使垦鉴稻 5 号优、中、劣势粒的  $W_{maxG}$  值增大,即增加了垦鉴稻 5 号生长速率最大时的生长量,其增加的幅度依次分别为:  $J_1$ , 劣势粒>中势粒>优势粒;  $J_2$ , 劣势粒>优势粒>中势粒;  $J_3$ , 劣势粒>中势粒>优势粒。

### 3 结论与讨论

土壤水分亏缺对水稻产量的影响,国内外学者做过许多研究,大部分是在籽粒形成期,不同生育阶段水分胁迫对水稻产量及有关性状影响的研究也有报道<sup>[8-9,12-16]</sup>,而结实前持续的水分胁迫对水稻产量及有关性状影响的研究鲜有报道。本研究发现,结实前进行  $-18 \sim -20$  kPa 和  $-28 \sim -30$  kPa 的控水处理,垦鉴稻 5 号的产量均极显著降低,垦鉴稻 5 号减产主要原因之一是控水处理影响了正常的分蘖进程,导致穗数极显著减少。穗分化期完成水稻的幼穗分化过程,水稻的穗分化过程对水分比较敏感,一般土壤含水量要达到最大持水量的 90% 以上才能满足幼穗发育的要求。土壤干旱时对穗分化不利,尤其是在减数分裂期对水分更敏感,缺水将导致颖花的大量退化<sup>[17]</sup>。这也正是本试验于结实前控水对垦鉴稻 5 号产量影响较大的另一个原因之一,控水处理使垦鉴稻 5 号穗粒数极显著地减少,不利于结实率的增加,干

粒重极显著地降低。影响程度依次为:穗粒数>每穴穗数>结实率>千粒重,且以控水强度大的处理减少幅度大。

张慎凤<sup>[18]</sup>研究表明,分蘖期轻干湿交替灌溉可以增加有效穗数和分蘖成穗率,轻干湿交替灌溉显著增加了产量,产量增加的原因主要在于穗数的显著增加;长穗期轻干湿交替灌溉显著增加了产量,产量增加的原因主要在提高了每穗粒数。结实前进行-8~-10 kPa的间歇控水处理,垦鉴稻5号的收获穗数减少,但与CK差异不显著;垦鉴稻5号的穗粒数极显著地减少;这与张慎凤的研究结果不同。控水处理使垦鉴稻5号的结实率增加,且与CK差异达极显著水平;控水处理使垦鉴稻5号的千粒重增加。控水处理引起垦鉴稻5号穴穗数和穗粒数的降低,但同时使该品种的结实率和千粒重增加,并且结实率和千粒重增加能够弥补穴穗数和穗粒数的降低所带来的损失,最终使得垦鉴稻5号产量增加;

垦鉴稻5号各处理优、中、劣势粒的灌浆速率曲线均为单峰曲线,且峰值均出现在抽穗后14 d;各处理优、中势粒灌浆速率曲线的峰均比较陡峭, $J_{CK}$ ,  $J_1$ 和 $J_3$ 的劣势粒峰比较平缓, $J_2$ 峰的劣势粒的峰比较陡峭。 $J_{CK}$ ,  $J_1$ ,  $J_2$ 和 $J_3$ 的优、中、劣势粒为同步灌浆。各处理均表现为中势粒的生长潜势最大。结实前进行-8~-10 kPa的间歇控水处理,使垦鉴稻5号优、劣势粒的 $\bar{G}$ 和 $G_{max}$ 值升高,中势粒的 $\bar{G}$ 和 $G_{max}$ 值降低;使垦鉴稻5号优、中势粒的 $I$ 值升高,劣势粒的 $I$ 值降低;使垦鉴稻5号优势粒的活跃生长期 $D$ 缩短,中、劣势粒的活跃生长期 $D$ 延长;垦鉴稻5号优、中、劣势粒的 $W_{maxG}$ 值增大。结实前进行-18~-20 kPa和-28~-30 kPa的控水处理,使垦鉴稻5号优势粒的 $\bar{G}$ 和 $G_{max}$ 值降低,中势粒、劣势粒的 $\bar{G}$ 和 $G_{max}$ 值升高;使垦鉴稻5号优、中、劣势粒的 $I$ 值升高;使垦鉴稻5号优、中、劣势粒的活跃生长期 $D$ 缩短;垦鉴稻5号优、中、劣势粒的 $W_{maxG}$ 值增大。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Jeong Jin Seo, Kim Youn Shic, Baek Kwang Hun, et al. Root-specific expression of OsNAC10 improves drought tolerance and grain yield in rice under field drought conditions[J]. *Plant Physiology*, 2010, 153(1):185-197.
- [2] Bouman B A M, Peng S, Castañeda A R, et al. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 74(2):87-105.
- [3] 信乃谏. 农业水资源面临严重短缺的战略思考[J]. *灌溉与排水*, 1991, 10(3):15-19.
- [4] 柏彦超,倪梅娟,王娟娟,等. 水分胁迫对旱作水稻产量与养分吸收的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(6):101-104.
- [5] Yang Xiaoguang, Bouman B A M, Wang Huqi, et al. Performance of temperate aerobic rice under different water regimes in North China[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 74(2):107-122.
- [6] 程式华,李建. 现代中国水稻[M]. 北京:金盾出版社, 2007.
- [7] 刘凯,张耗,张慎凤,等. 结实期土壤水分和灌溉方式对水稻产量与品质的影响及其生理原因[J]. *作物学报*, 2008, 34(2):265-276.
- [8] 蔡昆争,吴学祝,骆世明,等. 抽穗期不同程度水分胁迫对水稻产量和根叶渗透调节物质的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(12):6148-6158.
- [9] 邵玺文,马景勇,童淑媛,等. 灌浆乳熟期不同水分处理对水稻产量的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2006, 25(3):41-43.
- [10] 张瑞珍,邵玺文,童淑媛,等. 开花期水分胁迫对水稻产量构成及产量的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2006, 28(1):1-3, 7.
- [11] 赵步洪,叶玉秀,陈新红,等. 结实期水分胁迫对两系杂交稻产量及品质的影响[J]. *扬州大学学报:农业与生命科学版*, 2004, 3(1):45-50.
- [12] 解文孝,张文忠,史鸿儒,等. 不同时期土壤水分胁迫对水稻产量及食味品质影响的研究[J]. *辽宁农业科学*, 2007(2):30-33.
- [13] 王成瑗,王伯伦,张文香,等. 不同生育时期干旱胁迫对水稻产量与碾米品质的影响[J]. *中国水稻科学*, 2007, 21(6):643-649.
- [14] 郑桂萍,李金峰,钱永德,等. 土壤水分对水稻产量与品质的影响[J]. *作物学报*, 2006, 32(8):1261-1264.
- [15] 陆建飞,黄丕生,丁艳锋,等. 持续土壤水分胁迫对水稻物质积累和运转的影响[J]. *江苏农业学报*, 1998, 14(3):135-140.
- [16] 张卫星,朱德峰,林贤青,等. 干旱胁迫对不同超级稻品种植株形态和干物质积累的影响[J]. *福建农业学报*, 2010, 25(1):47-52.
- [17] 潘瑞炽. 水稻生理[M]. 北京:科学出版社, 1979:349-351.
- [18] 张慎凤. 干湿交替灌溉对水稻生长发育、产量与品质的影响[D]. 江苏扬州:扬州大学, 2009.