

# 基于播期的温度变化对豫南粳稻 播始历期和灌浆成熟期的影响

段斌<sup>1</sup> 方玲<sup>1</sup> 何世界<sup>1</sup> 李慧龙<sup>1</sup> 彭波<sup>2</sup> 宋晓华<sup>1</sup> 胡杨<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 信阳市农业科学院, 464000, 河南信阳; <sup>2</sup> 信阳师范学院, 464000, 河南信阳)

**摘要** 为了探索温度变化对豫南粳稻播始历期(从播种到始穗所需要的天数)和灌浆成熟期的影响,以生产上引进应用的5个品种为试验材料,于2011–2012年进行分期播种试验,探索了播期及基于播期的温度变化对参试品种生育特性的影响。研究表明,播始历期温度随着播种期推迟而升高,接近水稻生物学最适温度,灌浆成熟期温度随播期推迟显著降低。随着播种期推迟,播始历期缩短,灌浆成熟期延长。利用改进的水稻发育温度效应的非线性模型进行播始历期模拟,参试品种均有不同程度的感温性,感温性宁粳3号>9优418>南粳44>郑稻18>隆优1875。9优418、南粳44、宁粳3号和隆优1875灌浆成熟期长短与平均气温、最高气温和最低气温均呈极显著负相关,郑稻18与平均气温呈显著负相关,与温差呈显著正相关。隆优1875灌浆成熟期对低温敏感,21℃以下灌浆成熟期显著延长,郑稻18灌浆速度快,对低温钝感。综合考虑,播始历期和灌浆成熟期受气温影响,为安全起见,将隆优1875播种期安排在5月10日前,郑稻18播种期安排在5月下旬,而宁粳3号、南粳44和9优418,播种期安排在5月15日前后。

**关键词** 播期; 温度变化; 生育特性; 粳稻

水稻是我国一半以上人口的主食<sup>[1]</sup>。近年来,随着人民生活水平的不断提高,人们对优质稻米特别是粳米的需求量不断加大。豫南稻区作为河南省的水稻主产区,水稻种植面积占全省的75%,常年种植面积达53.3万hm<sup>2</sup>左右。自杂交水稻推广应用以来,豫南水稻生产以籼稻为主,粳稻发展较慢。而发展粳稻一直被认为是改善品质、提高产量的有效途径。中国水稻品质调查结果表明,粳稻品质优于籼稻的格局相当明显<sup>[2]</sup>。豫南稻区地处秦岭—淮河分界线上,是我国南北气候过渡地带,水稻种植宜籼宜粳。20世纪80年代以来,豫南稻区进行过几次“籼改粳”技术攻关均没有取得成功。21世纪初,科技人员结合豫南气候生态特点和粳稻的生理特性,对历次“籼改粳”失败的原因进行系统分析,开展相应的技术研究,找到了豫南粳稻高产优质的障碍因子,提出推迟粳稻播种期和灌浆成熟期的栽培技术对策<sup>[3]</sup>,实现了豫南粳稻的高产稳产,促进了豫南粳稻的发展。同时,对豫南粳稻晚播,进行气候资源利用及适宜度等方面研究,论证了豫南粳

稻晚播的可行性,确定了豫南粳稻的安全齐穗期,丰富了豫南粳稻的栽培技术理论<sup>[4–7]</sup>,为豫南粳稻的高产稳产优质提供了理论基础。

由于豫南为传统的籼稻种植区,粳稻育种工作起步较晚,成熟品种较少,现在生产上应用的粳稻品种,大部分是从相邻省份引进,而水稻品种都有一定程度的感光 and 感温特性,有针对性的对引进的优质高产粳稻品种进行生育特性研究很有必要。从20世纪50年代开始,水稻专家就开始“北粳南引”的技术研究<sup>[8]</sup>,其中引种范围就包括河南省信阳地区,但由于生育期不合适或繁茂性差、产量潜力低,未能成功。20世纪80年代以来,江苏、浙江、安徽等原来以籼稻种植为主的省份相继推行“籼改粳”,并取得成功<sup>[9–12]</sup>,且在品种安全生育与产量形成的光温生态特性及基本规律进行了系统研究<sup>[13]</sup>,为粳稻生产优化布局和因种栽培提供了重要的理论依据。豫南粳稻虽然在栽培技术方面取得了一定进展,但气候变化对豫南粳稻生育特性的影响尚未进行系统研究,而生产上迫切需要引进种植优质粳稻品种,以提高农业生产的经济效益,达到提质增效的目的。

针对上述问题,本研究选择生产上应用的有代表性的粳稻品种,进行分期播种试验,分析不同播期对参试品种生育特性的影响,研究参试品种生育

作者简介: 段斌, 副研究员, 主要从事水稻栽培技术研究

方玲为通信作者, 副研究员, 主要从事水稻栽培技术研究

基金项目: 河南省重大科技专项“豫南稻区籼改粳技术研究与产业化”(121100110200); 国家水稻产业技术体系建设专项(CARS-01-76)

收稿日期: 2019-01-09; 修回日期: 2019-04-23

期对播期的反应,探索参试品种在豫南稻区不同播期生育特性变化规律,为豫南粳稻安全引种提供参考,根据品种特性制定相应的栽培措施。该研究对于进一步完善豫南粳稻晚播栽培技术体系,促进豫南粳稻安全生产,保障粮食安全和农业提质增效具有重要现实意义,为推动豫南粳稻产业长期可持续发展提供技术支撑。

1 材料和方法

1.1 参试品种

利用在豫南稻区生产上引进利用的品种,选择 2 个杂交粳稻: 9 优 418 (北方杂交粳稻工程技术中心和徐州农业科学研究所选育)、隆优 1875 (天隆科技有限公司选育), 3 个常规粳稻: 郑稻 18 (河南省农业科学院选育)、宁粳 3 号 (南京农业大学选育) 和南粳 44 (江苏省农业科学院选育) 为试验材料。

1.2 试验设计

试验于 2011 和 2012 年在河南省信阳市农业科

学院试验园区进行 (东经 114° 05', 北纬 32° 07', 海拔 75.9m), 前茬为白茬, 多年种植一季水稻, 土壤类型为白散土。试验在自然条件下分期播种, 每 5d 一个播期, 设置 10 个播种期: 4 月 25 日 ( I )、4 月 30 日 ( II )、5 月 5 日 ( III )、5 月 10 日 ( IV )、5 月 15 日 ( V )、5 月 20 日 ( VI )、5 月 25 日 ( VII )、5 月 30 日 ( VIII )、6 月 4 日 ( IX )、6 月 9 日 ( X ), 秧龄 30d, 不设重复, 每期每个品种栽 5 行 20 株, 单本移栽。

1.3 测定项目及数据处理

以主茎抽穗为始穗期, 记载生育期进程。气象资料来源于信阳气象观测站, 相关数据用 Excel、DPS 和 SPSS 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 播始历期和灌浆成熟期变化

参试品种播始历期均随着播种期推迟而缩短, 灌浆成熟期随着播期推迟而延长 (表 1)。品种间、

表 1 不同播期处理播始历期和灌浆成熟期天数  
Table 1 Days of seeding to heading and filling and ripening stage of different sowing date treatments d

生育时期 Growth stage	播期 Sowing date	9 优 418 9 you 418		南粳 44 Nanjing 44		宁粳 3 号 Ningjing 3		郑稻 18 Zhengdao 18		隆优 1875 Longyou 1875	
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
播始历期 Seeding to heading stage	I	111	103	111	112	111	112	100	98	98	96
	II	106	100	106	108	108	107	98	94	99	93
	III	103	98	103	104	104	104	99	92	99	91
	IV	98	96	102	102	103	102	96	89	96	91
	V	96	93	99	98	100	98	93	86	94	88
	VI	93	89	95	96	95	96	88	84	89	87
	VII	89	87	92	98	92	94	84	85	87	87
	VIII	88	86	91	93	91	91	83	81	88	85
	IX	85	82	90	89	89	88	80	77	85	84
	X	84	83	88	88	89	87	80	79	84	83
灌浆成熟期 Filling and ripening stage	变异系数 CV (%)	9.6	8.0	7.9	7.9	8.2	8.5	8.9	7.8	6.5	4.7
	变异系数 2 年平均 (%) CV average of two years	8.8		7.9		8.4		8.4		5.6	
	I	41	42	46	38	48	38	48	46	44	48
	II	43	43	49	39	47	40	50	47	46	48
	III	43	47	47	43	51	43	48	50	51	51
	IV	47	46	49	42	52	42	46	54	53	51
	V	48	47	50	42	52	42	47	55	61	51
	VI	53	47	51	41	55	42	51	53	72	52
	VII	58	46	58	40	59	41	54	55	77	53
	VIII	60	44	61	45	64	42	56	54	77	53
	IX	67	47	65	48	67	47	59	57	82	54
	X	70	48	71	48	69	48	67	58	83	56
	变异系数 CV (%)	19.5	4.4	15.6	8.2	14.0	7.0	12.5	7.6	23.7	4.8
	变异系数 2 年平均 (%) CV average of two years	12.0		11.9		10.5		10.1		14.3	

年际间均有差异。从 2 年变异系数平均值来看, 播始历期 9 优 418 变化最大, 其次为郑稻 18 和宁粳 3 号, 隆优 1875 变异系数最小。其中 9 优 418 和隆优 1875 年际间变异系数差异较大, 分别相差 1.6 和 1.8 个百分点。变异系数的大小, 反映了不同品种播始历期对播期反应的强弱。灌浆成熟期的变异系数年际间差异大于播始历期, 2011 年 5 个品种灌浆成熟期变异系数在 12.5%~23.7%, 平均为 17.1%; 2012 年变异系数较小, 在 4.4%~8.2%, 平均为 6.4%, 远小于 2011 年灌浆成熟期变异系数。从 2 年变异

系数平均值来看, 郑稻 18 灌浆成熟期变异系数最小, 其次为宁粳 3 号、南粳 44, 隆优 1875 变异系数最大。2011 年隆优 1875 变异系数达到 23.7%, 而 2012 年为 4.8%。变异系数的大小, 同样反映了不同品种灌浆成熟期长短对播期反应的强弱, 年份间差异, 可能是由于年份间灌浆成熟期气候条件的变化引起的。分别以播始历期和灌浆成熟期为因变量, 进行方差分析(表 2), 年份、品种、播期间均达极显著水平, 灌浆成熟期品种和播期互作效应不显著。

表 2 品种、播期和年份方差分析结果  
Table 2 Variance analysis results of varieties, sowing dates and years

变异来源 Source of variation	自由度 df	播始历期 Seeding to heading stage				灌浆成熟期 Filling and ripening stage			
		平方和 Anova SS	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value	平方和 Anova SS	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
年份 Year	1	96.04	96.04	59.06	0.0000	2 106.80	2 106.80	178.48	0.0000
品种 Cultivar	4	1 621.34	405.34	249.27	0.0000	1 251.80	312.94	26.51	0.0000
播期 Sowing date	9	4 725.24	525.03	322.87	0.0000	3 194.00	354.80	30.06	0.0000
年份×品种 Year×Cultivar	4	97.86	24.47	15.05	0.0000	690.24	172.56	14.62	0.0000
年份×播期 Year×Sowing date	9	55.56	6.17	3.79	0.0019	1 172.50	130.28	11.04	0.0000
品种×播期 Cultivar×Sowing date	36	163.86	4.55	2.80	0.0013	315.84	8.77	0.74	0.8113
误差 Error	36	58.54	1.63			424.96	11.80		
总和 Total	99	6 818.44				9 156.10			

对 2 年播始历期和灌浆成熟期平均值随着播期推迟做趋势分析, 在豫南稻区, 从 4 月 25 日开始, 参试的 5 个品种播始历期均随着播种期推迟呈直线下降趋势, 而灌浆成熟期则随着播期推迟呈直线延长, 对不同品种播始历期和灌浆成熟期与播期做简单线性回归(表 3), 相关系数均极显著, 播期每推迟一期(5d), 播始历期缩短 1.6~2.7d, 灌浆成熟期延长 1.5~2.9d。其中播始历期以隆优 1875 缩短最少, 9 优 418 缩短最多, 灌浆成熟期以郑稻 18 延长最

小, 隆优 1875 延长最多。按照豫南晚播栽培技术要求<sup>[3]</sup>, 结合生产实际, 豫南粳稻一般 5 月 20 日前后播种。以 5 月 20 日为基数, 计算播期效应<sup>[14]</sup>(播期提早或推迟 1d 使生育期延长或缩短的天数), 可以看出, 在豫南稻区, 播期比 5 月 20 日提早 1d 或推迟 1d, 参试品种播始历期延长或缩短 0.24~0.42d, 灌浆成熟期缩短或延长 0.4~0.6d。隆优 1875 播始历期变化最小, 灌浆成熟期变化最大。郑稻 18 播始历期和灌浆成熟期变化均较小。

表 3 播始历期和灌浆成熟期随播期变化趋势  
Table 3 The trend of the stages from seeding to heading and filling and ripening stage with the change of sowing date

品种 Cultivar	线性回归方程 Linear regression equation		R		播期效应系数 Sowing date effect coefficient	
	播始历期 Seeding to heading stage	灌浆成熟期 Filling and ripening stage	播始历期 Seeding to heading stage	灌浆成熟期 Filling and ripening stage	播始历期 Seeding to heading stage	灌浆成熟期 Filling and ripening stage
9 优 418 9 you 418	$y=-2.703x+108.3$	$y=1.875x+39.0$	-0.9910**	0.9859**	0.4156	0.4456
南粳 44 Nanjing 44	$y=-2.518x+112.1$	$y=1.790x+38.8$	-0.9910**	0.9365**	0.3391	0.5095
宁粳 3 号 Ningjing 3	$y=-2.675x+112.7$	$y=1.663x+40.3$	-0.9920**	0.9061**	0.4059	0.4535
郑稻 18 Zhengdao 18	$y=-2.381x+101.4$	$y=1.518x+44.4$	-0.9900**	0.9581**	0.3656	0.3891
隆优 1875 Longyou 1875	$y=-1.618x+99.1$	$y=2.869x+42.4$	-0.9894**	0.9849**	0.2383	0.5702

注: \*\* 表示回归系数达到极显著水平  
Note: \*\* The regression coefficient reaches the extremely significant level

2.2 生育期内日平均气温的变化

播始历期和灌浆成熟期随播种期推迟而缩短

或延长, 其外部影响因子主要是气候条件的变化引起生长发育的变化。而温度是影响水稻生育期

变化的最主要因子之一。本研究中，播始历期内日平均气温随着播种期推迟升高，日平均气温在 25.0℃~28.0℃，2012 年各播期间温度高于 2011 年，且变化也大于 2011 年，整个播始历期日平均气温较为适宜，高于粳稻从出苗至抽穗的生物学最低温度，接近生物学最适温度（表 4）。灌浆成熟期内日平均气温变化与播始历期相反，年际间差异更大。2011 年灌浆成熟期日平均气温普遍较低，播期间差异也较大，5 个品种 10 个播种期灌浆成熟期日平均气温为 19.97℃，比 2012 年低 2.81℃。从播期来看，2011 年第 I 期灌浆成熟期日平均气温为 22.46℃，

灌浆成熟期日平均气温随着播种期推迟而下降，到第 X 期下降到 17.04℃，隆优 1875 第 X 期灌浆成熟期日平均气温只有 16.4℃，而 2012 年灌浆成熟期日平均气温均在 20℃以上。从变异系数来看，2011 年灌浆成熟期日平均气温变异系数在 6.9%~12.9%，平均为 8.89%，其中隆优 1875 变异系数最大，为 12.9%，其次为宁粳 3 号和南粳 44，郑稻 18 变异系数最小。2012 年灌浆成熟期日平均气温变异系数相对较小，在 4.3%~5.9%，平均为 4.85%，比 2011 年平均低 4.04 个百分点。两年灌浆成熟期日平均气温变化与灌浆成熟期长短变化基本一致。

表 4 播始历期和灌浆成熟期日平均气温变化  
Table 4 The daily average temperature changes at the seeding to heading stage and filling and ripening stage ℃

生育时期 Growth stage	播期 Sowing date	9 优 418 9 you 418		南粳 44 Nanjing 44		宁粳 3 号 Ningjing 3		郑稻 18 Zhengdao 18		隆优 1875 Longyou 1875		平均 Average
		2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	
播始历期 Seeding to heading stage	I	25.2	25.9	25.2	26.0	25.2	26.0	25.0	25.9	25.0	25.8	25.5
	II	26.1	26.2	26.1	26.2	26.2	26.4	25.9	26.1	25.9	26.1	26.1
	III	25.6	26.5	25.6	26.4	25.6	26.4	25.4	26.4	25.4	26.4	26.0
	IV	25.7	26.6	25.6	26.6	25.6	26.6	26.2	26.6	26.2	26.6	26.2
	V	25.9	26.8	26.2	26.8	25.7	26.8	25.9	26.9	25.9	26.9	26.4
	VI	25.8	27.0	25.7	26.8	25.7	26.8	25.9	27.1	25.9	27.0	26.4
	VII	26.3	27.4	26.2	27.0	26.2	27.0	26.5	27.4	26.4	27.4	26.8
	VIII	26.3	27.4	26.2	27.3	26.2	27.2	26.5	27.7	26.3	27.5	26.9
	IX	26.3	27.7	26.3	27.6	26.3	27.6	26.5	28.0	26.3	27.6	27.0
	X	26.3	27.6	26.2	27.5	26.1	27.5	26.3	27.7	26.3	27.6	26.9
灌浆成熟期 Filling and ripening stage	平均 Average	26.0	26.9	25.9	26.8	25.9	26.8	26.0	27.0	26.0	26.9	26.4
	变异系数 CV (%)	1.5	2.3	1.4	2.0	1.4	1.9	1.9	2.7	1.7	2.4	1.9
	I	21.8	24.4	21.7	23.7	21.5	23.7	23.2	24.8	24.1	25.0	23.4
	II	21.8	24.2	21.4	23.5	20.9	23.0	22.8	24.6	22.9	24.7	23.0
	III	21.3	23.7	20.9	23.2	20.5	23.2	22.0	24.3	21.7	24.3	22.5
	IV	20.9	23.4	20.4	22.6	18.2	22.6	20.3	23.7	20.9	23.6	21.7
	V	20.4	23.0	19.5	22.5	20.1	22.5	20.9	23.3	20.2	23.3	21.6
	VI	20.2	23.2	20.2	22.4	20.0	22.4	20.7	23.0	19.4	23.0	21.5
	VII	20.0	22.4	19.6	21.5	17.6	22.2	20.6	22.6	17.7	22.2	20.6
	VIII	19.2	22.2	21.5	21.2	18.3	22.0	20.1	23.2	17.9	22.1	20.8
	IX	18.4	22.0	17.6	20.8	17.6	21.0	19.8	22.2	17.2	21.8	19.8
	X	17.3	21.3	16.5	20.4	16.6	20.5	18.4	21.5	16.4	20.8	19.0
	平均 Average	20.1	23.0	19.9	22.2	19.1	22.3	20.9	23.3	19.8	23.1	21.4
	变异系数 CV (%)	7.3	4.3	8.6	5.2	8.7	4.3	6.9	4.6	12.9	5.9	6.9

2.3 播始历期和灌浆成熟期与温度的关系

2.3.1 播始历期对温度的反应 大量研究结果表明，水稻生育期随温度的变化是非线性的<sup>[15-19]</sup>。利用殷新佑 1994 年提出的改进的水稻发育温度效应的非线性模型公式（1）<sup>[18]</sup>，来模拟参试品种生育期随温度的变化：

$$R = \frac{1}{f} = R_0 \cdot \left[ \left( \frac{T - T_b}{T_0 - T_b} \right) \left( \frac{T_c - T}{T_c - T_0} \right)^{\frac{T_c - T_0}{T_0 - T_b}} \right]^\alpha \tag{1}$$

其中  $T_b$ 、 $T_0$ 、 $T_c$  分别为发育的下限、最适、上限温度， $R_0$  和  $\alpha$  为待估参数。根据文献报道，水稻三基点温度分别取 10℃、30℃、40℃<sup>[17, 19-20]</sup>，则式（1）简化为：

$$R = 1/f = R_0 \cdot [(0.05T - 0.5)(4.0 - 0.1T)^{0.5}]^\alpha \tag{2}$$

通过取对数，将式（2）转化为线性模型，按线性回归求参数  $R_0$  和  $\alpha$ ，来计算参试品种发育速度对温度的反应。为减少年际间自然条件下移栽、

秧苗素质等人为因素影响，将 2 年试验结果取平均值进行分析（表 5），分析结果  $\alpha$  值均大于 1.0，表示所有品种均有一定的感温性，但强弱不一，宁粳 3 号感温性最强，其次为 9 优 418，隆优 1875 感温性最弱。计算模型模拟的播始历期与实际播始历期的根均方差（RMSE）介于 1.974~3.313，模拟生育

表 5 模型参数值及检验结果  
Table 5 Model parameter values and RMSE test results

品种 Cultivar	模型模拟结果 Model simulation results					根均方检验结果 RMSE test results	
	$R_0$	$\alpha$	$R_2$	$R$	$P$	RMSE	$r$
9 优 418 9 you 418	0.01476	7.114	0.920	0.959**	0.000	2.302	0.956**
南粳 44 Nanjing 44	0.01394	6.814	0.877	0.936**	0.000	2.577	0.936**
宁粳 3 号 Ningjing 3	0.01435	7.320	0.828	0.910**	0.000	3.313	0.904**
郑稻 18 Zhengdao 18	0.01438	5.412	0.893	0.945**	0.000	2.301	0.943**
隆优 1875 Longyou 1875	0.01315	3.772	0.828	0.910**	0.000	1.974	0.908**

注：\*\*表示相关系数达到极显著水平  
Note: \*\* indicates the correlation coefficient reaches the extremely significant level

期与平均生育期相关系数达到极显著水平。

2.3.2 灌浆成熟期与温度的相关性 灌浆成熟期长短与温度关系十分密切。将参试品种 2 年灌浆成熟期长短与平均气温、最高气温、最低气温以及温差做简单相关分析，结果见表 6。除郑稻 18 外，其余品种灌浆成熟期与平均气温、最高气温和最低气温均呈极显著负相关，郑稻 18 灌浆成熟期长短与平均气温呈显著负相关，与最低气温呈极显著负相关，而与最高气温相关性不显著，但与温差呈正相关并达显著水平。

表 6 灌浆成熟期与气温的相关分析  
Table 6 Correlation analysis of filling and ripening stage and temperature

品种 Cultivar	平均气温	最高气温	最低气温	温差
	Average temperature	Maximum temperature	Minimum temperature	Temperature difference
9 优 418 9 you 418	-0.842**	-0.691**	-0.836**	0.002
南粳 44 Nanjing 44	-0.874**	-0.763**	-0.840**	-0.248
宁粳 3 号 Ningjing 3	-0.947**	-0.884**	-0.948**	-0.135
郑稻 18 Zhengdao 18	-0.535*	-0.264	-0.615**	0.534*
隆优 1875 Longyou 1875	-0.927**	-0.858**	-0.919**	-0.034

注：\*\*表示极显著相关，\*表示显著相关  
Note: \*\* indicates extremely significant correlation, \* indicates significant correlation

3 讨论

3.1 基于播期的温度变化对豫南粳稻播始历期的影响

推迟播种期后，豫南粳稻从播种至始穗这一时期的日平均气温升高，生长发育速度加快，播始历期缩短，品种表现出了不同程度的感温性。有关研究表明，水稻品种生育期的长短，是品种的遗传性、环境条件和栽培技术综合作用的结果，但其本质的差异在于品种的感温性、感光性和基本营养生长性不同<sup>[21]</sup>。本研究中，播始历期的日平均气温在 25.0℃~28.0℃，播始历期随着日平均气温升高而缩短，与在适温条件下幼穗发育期所需日数最少相一致<sup>[15]</sup>。日平均气温随着播种期推迟逐渐接近粳稻生长发育的最适温度（30℃），生长发育速度也

随着播期推迟、温度升高而增快，这与温度三基点的基本原理相一致<sup>[16]</sup>。国内外对于水稻生育期模型的研究较多，经历了由积温模型到非线性模型的发展<sup>[22]</sup>，本文利用殷新佑水稻发育温度效应的非线性模型模拟粳稻生长发育的温度效应，拟合度较高，感温系数  $\alpha$  可反映品种的感温性强弱<sup>[23]</sup>。定量分析了参试品种生长发育与气温的关系，气温对参试品种播始历期均有不同程度的影响，其中 9 优 418、宁粳 3 号和南粳 44 受气温影响较大，郑稻 18 受气温影响较小，隆优 1875 受气温影响最小。本研究中，播种期从第 I 期至第 X 期，播始历期平均日长在 14h 左右，变化较小，大于水稻生长发育所需要的临界日长 13h<sup>[19]</sup>，分析结果表明，日长与生长发育速度相关性不显著，故没有针对日长对生长发育的影响进行分析。

### 3.2 基于播期的温度变化对灌浆成熟期的影响

有关研究表明,水稻灌浆特性主要受遗传因素的控制,但同时也受环境条件的影响,灌浆成熟期长短受环境影响较大,而温度是主要影响因子之一<sup>[24-27]</sup>。温度增加既加快粒重增加的速度,又缩短灌浆天数<sup>[28]</sup>。曾凯等<sup>[29]</sup>研究结果表明,水稻灌浆成熟期天数与该期间的气温呈极显著负相关,随气温升高显著缩短。当粳稻灌浆成熟期的日平均气温 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ ,或最低气温低于 $15^{\circ}\text{C}$ 以下时,影响光合作用和养分输送,使灌浆结实延迟,子粒发育不良,当日平均气温降至 $18^{\circ}\text{C}$ 以下时,就难于成熟或不能成熟<sup>[15]</sup>。豫南粳稻推迟播种期后,灌浆成熟期气温普遍降低,适当推迟播种期使灌浆成熟期处于较为适宜的温度范围内,更加有利于灌浆结实,但也因品种而异。本试验结果表明,在气温较高的2012年,到第X期播种日平均气温仍在 $20^{\circ}\text{C}$ 以上,同一品种不同播期处理灌浆成熟期变化不大,变异系数也较小,但对于气温较低的2011年,品种、播期处理间灌浆成熟时间长短差异较大,部分品种灌浆成熟期对较低温度的反应表现更为突出,这与前人研究结果相一致。不同品种灌浆成熟期受气温影响程度不同,反映了品种的遗传特性。隆优1875灌浆成熟期对较低的温度最为敏感,灌浆成熟期受低温影响显著延长,2011年日平均气温从 $20.9^{\circ}\text{C}$ 下降到 $19.4^{\circ}\text{C}$ ,灌浆成熟期延长19d左右,其次为9优418、南粳44和宁粳3号,郑稻18灌浆速度较快,灌浆成熟期受低温影响最小。郭萌生等<sup>[30]</sup>研究指出,杂交中晚稻结实率与幼穗分化期和抽穗扬花期的温度条件密切相关,且与最低气温、平均气温和最高气温均呈显著正相关关系。为安全起见,对于豫南粳稻晚播,要综合考虑品种特性和9月份出现低温年份对粳稻灌浆结实的影响。

## 4 结论

受遗传因素影响,不同品种的播始历期和灌浆成熟期对气温表现出了不同的反应。在豫南稻区,粳稻推迟播种后,播始历期日平均气温变化小,接近于水稻生长生物学最适温度,品种间也表现出了不同的感温特性。而灌浆成熟期日平均气温变化较大,不同播期、不同年份间均有较大差异。本研究中,2012年5个品种10个播期的日气温平均值高出2011年 $2.8^{\circ}\text{C}$ ,而且播期越晚,年际间差异越

大。对于灌浆成熟期对气温反应敏感的品种,灌浆成熟时间变化也较大,田间调查结果表明,较低的气温不仅延长了灌浆成熟时间,还容易造成后期成熟度不够,部分小穗不能完全成熟,影响品质和产量。由此可见,引进相邻省份品种在生产上应用,不仅要考虑该品种在豫南的全生育期长短,更要考虑该品种的感温特性和灌浆成熟期对气温的敏感程度,综合这2个方面考虑,结合豫南粳稻安全齐穗期研究结果<sup>[5]</sup>,对于感温较弱且灌浆成熟期对气温敏感的品种如隆优1875,播种期安排在5月10日前,使其抽穗灌浆期提前,减小后期低温对其灌浆结实的影响;而对于感温不强且灌浆成熟期对气温钝感的品种如郑稻18,播种期可安排在5月下旬;对于感温较强且灌浆成熟期又较敏感的品种如宁粳3号、南粳44和9优418,播种期安排在5月15日前后。只有根据品种特性来安排适宜的播种期,因种栽培,才能发挥出品种的产量优势,实现粳稻安全生产。

### 参考文献

- [1]程式华,李建.现代中国水稻.北京:金盾出版社,2007.
- [2]邓华凤,华泽田,杨飞,等.中国杂交粳稻.北京:中国农业出版社,2008:5-6.
- [3]宋世枝,段斌,何世界.豫南粳稻高产优质障碍因子与栽培对策.中国农学通报,2005,21(5):206-208.
- [4]宋晓华,刘秋员,彭波,等.豫南“籼改粳”理论与技术研究进展.中国稻米,2017,23(6):32-36.
- [5]段斌,宋世枝,何世界,等.豫南粳稻安全齐穗期和最佳播种期研究.中国稻米,2015,21(1):45-47.
- [6]段斌,方玲,宋世枝,等.信阳粳稻晚播气候适宜度分析.中国稻米,2017,23(2):53-56.
- [7]段斌,宋世枝,何世界,等.信阳地区粳稻晚播气候资源利用率分析.中国稻米,2016,22(6):42-45.
- [8]陈温福,张龙步,徐正进,等.北粳南引研究的进展与前景.沈阳农业大学学报,1994,25(2):131-135.
- [9]习敏,吴文革,陈刚,等.安徽省粳稻生产现状及籼改粳发展潜力分析.中国稻米,2018,24(2):70-75.
- [10]张长海,汪向东,李立中,等.常规粳稻在安徽沿江稻区的特征特性研究.中国稻米,2017,23(4):190-198.
- [11]张洪程,张军,龚金龙,等.“籼改粳”的生产优势及其形成机理.中国农业科学,2013,46(4):686-704.
- [12]龚金龙,邢志鹏,胡雅杰,等.“籼改粳”的相对优势及生产发展对策.中国稻米,2013,19(5):1-6.
- [13]杨海生.江苏水稻安全生育与产量形成的温光生态特性及其应用的研究.扬州:扬州大学,2003:74-76.
- [14]李林,张更生.亚优2号高产的温光生态特性及其应用.中国农业气象,1993,14(3):9-13.
- [15]梁光商.水稻生态学.北京:农业出版社,1983:173-196.
- [16]黄冲平,王爱华,胡秉民.作物生长温度效应的非线性模型及其比较研究.生物数学学报,2004,19(4):481-486.
- [17]沈国权.影响作物发育速度的非线性温度模式.气象,1980(6):9-11.

- [18]殷新佑. 水稻发育温度效应的非线性模型及其应用. 作物学报, 1994, 20(6): 692–700.
- [19]高亮之, 金之庆, 黄耀, 等. 水稻计算机模拟模型及其应用之一—水稻钟模型—水稻发育的计算机模型. 中国农业气象, 1989, 10(2): 3–10.
- [20]水稻光温生态研究协作组. 中国水稻品种的光温生态. 北京: 科学出版社, 1978: 17–28.
- [21]浙江农业大学, 华中农学院, 江苏农学院, 等. 实用水稻栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 122–130.
- [22]张帅, 陶福祿. 水稻发育期模型研究进展. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1485–1491.
- [23]郑国清. 浅论对水稻发育期模型的认识. 中国农业气象, 1999, 20(2): 31–34.
- [24]陆魁东, 宁金花, 宋忠华, 等. 超级晚稻灌浆特性与温光条件的关系. 中国农业气象, 2015, 36(6): 732–738.
- [25]袁继超, 刘从军, 朱庆森, 等. 播期对水稻籽粒灌浆特性的影响. 西南农业学报, 2004, 17(2): 164–168.
- [26]朱庆森, 曹显祖, 骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析. 作物学报, 1988, 14(3): 182–192.
- [27]柯建国, 江海东, 陆建飞, 等. 水稻不同源库类型品种灌浆特点及源库协调关系的研究. 南京农业大学学报, 1998, 21(3): 15–20.
- [28]高亮之, 李林. 水稻气象生态. 北京: 农业出版社, 1992: 67–71.
- [29]曾凯, 周玉, 宋忠华. 气候变暖对江南双季稻灌浆期的影响及其观测规范探讨. 气象, 2011, 37(4): 468–473.
- [30]郭萌生, 张红林, 谢勇, 等. 温度条件对杂交中晚稻结实率的影响. 中国农业气象, 2008, 29(3): 304–307.

# Effects of the Temperature Change Based on Sowing Date on the Period from Seeding to Heading and the Filling and Ripening Stage of Japonica Rice in Southern Henan Province

Duan Bin<sup>1</sup>, Fang Ling<sup>1</sup>, He Shijie<sup>1</sup>, Li Huilong<sup>1</sup>,  
Peng Bo<sup>2</sup>, Song Xiaohua<sup>1</sup>, Hu Yang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Xinyang Academy of Agricultural Sciences, Xinyang 464000, Henan, China;

<sup>2</sup>Xinyang Normal University, Xinyang 464000, Henan, China)

**Abstract** To explore the effects of temperature change on growth characteristics for japonica rice in southern Henan Province, five cultivars were introduced and applied as experimental materials to conduct a stage sowing test in 2011–2012. The effects of sowing date and temperature change on the growth characteristics of the tested varieties were investigated. Results showed that with the temperature from seeding to heading period increased, which was close to the biological optimum temperature of rice, the temperature of filling and ripening stage decreased significantly. With the delay of sowing date, the period from seeding to heading was shortened and filling and ripening stage was prolonged. The non-linear model of temperature effect of rice development modified by Yin Xinyou was used to simulate the period from seeding to heading, all the tested varieties showed different degrees of temperature-sensitivity. Temperature-sensitivity of varieties Ningjing 3 > 9 You 418 > Nanjing 44 > Zhengdao 18 > Longyou 1875. The filling and ripening stage of 9 You 418, Nanjing 44, Ningjing 3 and Longyou 1875 was significantly negatively correlated with average temperature, maximum temperature and minimum temperature. There was significant negative correlation between the filling and ripening stage of Zhengdao 18 and the average temperature and significant positively correlated with temperature difference. The filling and ripening stage of Longyou 1875 was sensitive to low temperature, when the filling and ripening stage significantly extend below 21 °C, the speed for grain filling of Zhengdao 18 was fast, but insensitive to low temperature. Taking into the consideration of the effects of temperature on the number of days from seeding to heading and filling and ripening stage comprehensively, the seeding date of Longyou 1875 should be arranged before May 10, Zhengdao 18 could be postponed to the end of May, while Ningjing 3, Nanjing 44 and 9 You 418 may be planted around May 15.

**Key words** Sowing date; Temperature change; Growth characteristics; Japonica rice