

# 生育期与粳稻品种根系性状的关系分析

董桂春 陈琛 王熠 仲军 袁秋梅 羊彬 于小凤 李进前 田昊 张燕 蒋亚明

孟令响 王余龙\*

(扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室/农业部长江中下游作物生理生态与栽培重点开放实验室, 江苏 扬州 225009; \* 通讯联系人, E-mail: ylwang@yzu.edu.cn)

## Relation Between Root Traits and Growth Duration in japonica Rice Cultivars

DONG Gui-chun, CHEN Chen, WANG Yi, ZHONG Jun, YUAN Qiu-mei, YANG Bing, YU Xiao-feng, LI Jin-qian, TIAN Hao, ZHANG Yan, JIANG Ya-ming, MENG Ling-xiang, WANG Yu-long\*

(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province/ Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Middle and Lower Reaches of Yangtse River of Ministry of Agriculture, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; \* Corresponding author, E-mail: ylwang@yzu.edu.cn)

DONG Guichun, CHEN Chen, WANG Yi, et al. Relation between root traits and growth duration in japonica rice cultivars. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(4): 398-404.

**Abstract:** To investigate the relation between root traits and growth duration in japonica rice cultivars, a total of 94 conventional japonica rice varieties were solution-cultured in 2008 and 2009, respectively, and growth duration (GD), dry matter weight of different part in rice plant, and root related traits were measured for each cultivar. Based on GD, the rice varieties were clustered, by MinSSw method, into six types (namely A, B, C, D, E, and F in the alignment from low to high). Then the differences of root related traits for various types were analyzed. Results showed that with prolonging GD, no significant change in the numbers of adventitious roots was observed, while root dry weight, total length of adventitious roots per plant and the maximum root length increased or significantly increased. In general, total/active root absorption area and root activity per plant increased or increased at first then decreased with the elongation of GD. Similar but year-related trend was observed in root traits on panicle basis. The cultivars with longer GD had the medium numbers of adventitious roots, higher root dry weight, longer total/maximum length of adventitious roots, higher root total/active absorption area and higher or medium root activity, calculated on both of plant and panicle basis. Except for number of adventitious roots, the tested traits on the basis of plant or panicle differed significantly among cultivars. The length and weight of single adventitious root were significantly affected by GD, while the single root diameter was not affected by GD. The japonica rice varieties with longer GD had obvious advantages on the most of root traits per plant, due to the improvement of root traits including root length and root dry weight on a basis of panicle or single adventitious root.

**Key words:** japonica rice; cultivar; growth duration; root trait

董桂春, 陈琛, 王熠, 等. 生育期与粳稻品种根系性状的关系分析. 中国水稻科学, 2013, 27(4): 398-404.

**摘 要:** 在群体水培条件下, 以 94 个常规粳稻品种为材料, 测定其生育期、各器官干物质质量和根系性状, 采用组内最小平方和动态聚类方法将供试品种按生育期(播种到抽穗日数)从低到高依次分为 A、B、C、D、E、F 六类, 研究各类品种根系性状的差异及根系性状与生育期的关系。结果表明, 随着生育期延长, 单株不定根数无显著变化, 单株根干物质质量、单株不定根总长、最长根长总体呈增加或显著增加, 单株根系总吸收面积、单株根系活跃吸收面积、单株根系活力呈总体增加或先增后降的趋势, 年度间有差异, 单穗根系性状也有相似的趋势; 生育期长的品种单株或单穗根系性状表现出不定根数居中, 根干物质质量大, 不定根总长长, 根系总吸收面积、单株根系活跃吸收面积、根系活力大或中等, 单株最长根长较长的特点。单株或单穗根系性状中除不定根数在品种间的差异不显著外, 其他性状在品种间的差异均达显著或极显著水平; 生育期的长短显著影响粳稻品种单条不定根长、单条不定根干物质质量, 但对单条不定根粗影响较小; 生育期长的粳稻品种多数单株根系性状具有明显的优势, 这可能与其单穗根系性状、单条不定根的根长、根干物质质量等性状的改善有关。

**关键词:** 粳型水稻; 品种; 生育期; 根系性状

**中图分类号:** S511.01; S511.2<sup>+</sup>2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2013)04-0398-07

作物产量的提高总是伴随着植株吸氮能力增强和总吸氮量的增加<sup>[1]</sup>。在一定范围内,水稻总吸氮量与产量存在明显的线性正相关,品种试验中两者间相关性可达显著或极显著水平<sup>[2-7]</sup>。张传胜<sup>[7]</sup>、张岳芳<sup>[8]</sup>、董桂春<sup>[9]</sup>和于小凤等<sup>[10]</sup>最近对 100 个左右的常规粳稻品种和 94 个常规粳稻品种进行分析,发现成熟期总吸氮量、氮素籽粒生产效率(单位氮素吸收的籽粒产量)均能显著提高粳稻或粳稻品种的产量,但吸氮量的作用要明显大于氮素籽粒生产效率<sup>[8-10]</sup>。生育期是水稻重要的农艺性状,对水稻株型、干物质生产和产量均有显著影响。董桂春等<sup>[11]</sup>研究表明,生育期长的水稻品种吸氮能力强或较强,吸氮能力明显受到植株含氮率与干物质生产量、穗数与单穗吸氮量、生长日数与吸氮强度等几组因素的共同作用<sup>[12]</sup>。然而吸收养分的主要器官是根系,发达健壮、活力强大的根系是水稻生长发育、产量形成、实现高产的重要基础与保障。通常根系性状主要从根系形态(数量、长度和重量)、根系活性(总/活跃吸收面积和根系活力)两个方面 10 多个性状来描述的,但因根系研究困难,在规模较大的试验中很少测定或仅测定部分根系性状。现代育成的品种特别是超级稻品种生育期有明显增加的趋势<sup>[13]</sup>,生育期的延长是否也导致根系性状的变化,如何通过生育期的间接选择来改善和优化根系性状,提高根系吸收能力,这些问题尚不清楚。为此,本研究以 94 个常规粳稻品种(系)为供试材料,研究不同生育期类型品种根系性状的差异及变化趋势,明确较长生育期粳稻品种根系性状的特点,以期为水稻根系性状改良,提高氮素吸收效率,提高水稻产量潜力提供理论基础和参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试品种(系)

试验于 2008—2009 年进行。供试品种为国内外不同年代育成的 94 个常规粳稻品种(系),包括腰光、巴利拉、中花 11、中花 8 号、秋光、烟房稻、77302-1、辽粳 5 号、星光、LH422、pecos、辽粳 294、圣稻 301、月光、中国 91、爱知香 B、京系 17、越光、盐稻 8 号、盐粳 8 号、中国 177、武育粳 5 号、徐 444、徐稻 3 号、徐稻 4 号、盐粳 6 号、早丰 9 号、连嘉粳 1 号、泗稻 8 号 B、浙糯 36、淮稻 6 号、天津 418、镇稻 88、华粳 2 号、扬辐粳 8 号、中粳 05、宁恢 3-2-10、香粳 111、扬粳 687、镇稻 99、南粳 41、水晶 3 号、盐粳 2

号、盐粳 4 号、豫粳 6 号、镇稻 1 号、镇稻 2 号、02428、广陵香粳 B、黄金晴、盐粳 187、荔枝红、六千辛、农垦 57、武育粳 3 号、盐稻 1229、扬粳 201、川丰 6 号、南粳 11、湘晴、扬粳 9538、扬糯 2 号、爱知 58、武粳 13 号、南粳 36、扬辐粳 7 号、宁恢 8 号、朝 588、青空、上农香糯 05、台北 167、台中 65、日本晴、幸风、中花 15、意大利 3 号、银坊、富山 64、泗阳 731B、嘉兴 8140、丰锦、常 9363、武香粳 14、湘虎 115、华粳 3 号、宁粳 1 号、盐稻 2872、武香粳 9 号、杜字 129、苏香粳 1 号、真系秋光、天津 218、早优和 CR134 等。

### 1.2 材料培养

于扬州大学农学院水稻网室进行群体水培。水培池长 880 cm、宽 130 cm、深 50 cm,固定稻株的水泥板长 135 cm、宽 16.67 cm、厚 2.5 cm,每板设 14 个定植孔,孔径 4.0 cm,间距 10 cm。大田育秧,5 月 10 日播种,6 月 10 日移栽。选取均匀一致的秧苗,每孔移栽 1 苗,用软木塞和海绵固定,每个品种种植 56 株(2 次重复,每次重复 28 株)。营养液由 Epsino 营养液和 Arnon 微量元素营养液混合而成,氮浓度移栽后一个月内为 20 mg/kg,至抽穗前为 10 mg/kg,抽穗后为 5 mg/kg(其他成分浓度不变)。每 10 d 换液 1 次,若遇大雨,翌日增换 1 次。每日用稀硫酸调节营养液 pH 值,使其保持在 5.5~6.5。用泵增氧使移栽至成熟期营养液持续流动,使各水培池中的养分浓度和 pH 等条件保持一致,适期防治病虫害。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 干物质量的测定

抽穗期和成熟期,每品种调查 28 穴植株的穗数,取其中代表性植株 10 穴(每重复 5 穴),按根、茎鞘、绿叶、黄叶、穗分样,105℃下杀青 30 min、80℃下烘至恒重(一般为 72 h)后测定不同器官的干物质量。

#### 1.3.2 产量的测定

成熟期,每品种调查 28 穴植株的穗数,取其中代表性植株 10 穴(每重复 5 穴),测定每穗颖花数、饱粒率(水漂法,沉入水底者为饱粒),计算饱粒千粒重和产量等。

#### 1.3.3 氮素含量的测定

将抽穗期和成熟期的样品粉碎,用  $H_2SO_4-H_2O_2$  消化,凯氏定氮法测定根、茎鞘、绿叶、黄叶、穗的全氮含量。

1.4 统计分析

采用由扬州大学农学院顾世梁教授提供的可实现分析数据的全局最优化组内最小平方和的动态聚类分析方法<sup>[14]</sup>分别将 2008、2009 年供试品种按从播种到抽穗日数从小到大依次分为 A、B、C、D、E、F 6 种类型(日数小的称为生育期短的品种,日数大的称为生育期长的品种),以 Excel 进行数据处理和图表绘制;用 SPSS 统计软件进行多元逐步回归分析及方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同类型粳稻品种的生育期差异

研究表明,粳稻品种播种到抽穗天数变幅 2008 年为 86.0~121.0 d,品种间相差 35 d,2009 年变幅为 83.0~113.0 d,品种间相差 30 d。F 类比其他类品种多 6.2~29.0 d(2008 年)和 3.6~25.1 d(2009 年),类型间的差异均达极显著水平(表 1)。随着生育期的推迟,播种到成熟的日数(全生育期)也相应延长,类型间的差异均达极显著水平(表 1)。

2.2 不同生育期类型粳稻品种间单株根系性状的差异

由表 2 可知,生育期延长对水稻单株不定根数影响较小,单株不定根数总体呈先增加后下降的趋势,F 类比其他类多-4.8%~12.9%(2008 年)和-13.5%~3.7%(2009 年),类型间的差异不显著。但生育期延长对单株不定根总长、单株根干物质量影响较大,两者总体上均呈明显增加趋势,F 类与其他类相比,单株不定根总长长 6.4%~65.2%(2008 年)和 2.8%~35.1%(2009 年),单株根干物质量高-0.1%~62.6%(2008 年)和 9.8%~

45.9%(2009 年),类型间两个性状的差异均达极显著水平。相关分析表明,播种到抽穗天数与单株不定根数的相关性( $r_{2008}=0.141, r_{2009}=0.041$ )未达显著水平,与单株不定根总长( $r_{2008}=0.542^{**}, r_{2009}=0.465^{**}$ )、单株根干物质量( $r_{2008}=0.608^{**}, r_{2009}=0.600^{**}$ )均达极显著线性正相关。

由表 2 可知,生育期的延长,单株根系总/活跃吸收面积、单株根系活力多表现为增加的趋势,少数为先增加后下降,年度间有一定的差异。F 类与其他类相比,单株根系总吸收面积大-16.9%~81.5%(2008 年)和 13.6%~43.6%(2009 年),单株根系活跃吸收面积大-12.6%~134.1%(2008 年)和 22.2%~116.7%(2009 年),单株根系活力高 46.4%~72.1%(2008 年)和-15.7%~45.9%(2009 年),类型间这 3 个性状的差异均达极显著水平。相关分析表明,播种到抽穗天数与单株根系总吸收面积( $r_{2008}=0.685^{**}, r_{2009}=0.432^{**}$ )、与单株根系活跃吸收面积( $r_{2008}=0.748^{**}, r_{2009}=0.593^{**}$ )、单株根系活力的相关均达显著或极显著水平( $r_{2008}=0.360^{**}, r_{2009}=0.235^{*}$ )。

2.3 不同生育期类型粳稻品种间单穗根系性状的差异

由表 3 可知,随着生育期的延长,单穗不定根数呈先增加后下降趋势,F 类与其他类相比多-10.7%~3.8%(2008 年)和-10.9%~11.2%(2009 年),类型间的差异均不显著。生育期对单穗根干物质量、单穗不定根长影响相似,总体上均表现为随生育期的增加而增加,F 类与其他类相比,单穗根干物质量增加-1.6%~48.1%(2008 年)和 13.1%~53.6%(2009 年),单穗不定根长增加

表 1 不同类型粳稻品种的生育期差异  
Table 1. Difference of growth duration for tested japonica rice cultivars.

类型 Type	品种数 Number of cultivars		播种到抽穗天数 Days from sowing to heading/d		全生育期 Growth duration/d	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
A	14	13	87.6 f	84.6 f	131.6 f	126.6 d
B	16	12	94.1 e	91.4 e	136.8 e	128.8 d
C	15	20	100.5 d	98.1 d	143.8 d	139.2 c
D	21	24	104.9 c	102.3 c	149.1 c	148.5 b
E	15	14	110.5 b	106.1 b	154.8 b	157.8 a
F	13	11	116.7 a	109.7 a	159.2 a	158.7 a
F 值 F value			550.47	677.78	98.21	115.70
P 值 P value			0.00	0.00	0.00	0.00

数据后跟不同小写字母者表示差异达 5%显著水平。  
Values within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 level.

表 2 不同生育期粳稻品种单株根系性状的差异

Table 2. Difference of root traits per plant in japonica rice cultivars with different growth durations.

类型 Type	单株不定根数 Number of adventitious roots per plant		单株根干物质量 Root dry weight per plant/g		单株不定根总长 Total length of adventitious roots per plant/cm	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
A	203.98	156.75	1.39 c	1.37 c	3234.20 d	3694.52 b
B	224.78	187.85	1.64 bc	1.52 c	4134.74 c	4488.33 a
C	208.17	172.97	1.75 b	1.72 b	4034.46 c	4579.19 a
D	233.19	177.96	2.03 a	1.75 b	4428.68 bc	4677.31 a
E	241.81	171.84	2.26 a	1.82 ab	5020.53 ab	4852.05 a
F	230.26	162.54	2.25 a	2.00 a	5342.60 a	4991.07 a
F 值 F value	1.37	1.47	10.36 * *	9.46 * *	9.47 * *	5.11 * *

类型 Type	单株根系总吸收面积 Total root absorption area per plant/m <sup>2</sup>		单株根系活跃吸收面积 Root activity absorption area per plant/m <sup>2</sup>		单株根系活力 Root activity per plant/(μg · h <sup>-1</sup> )	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
A	6.07 e	8.72 c	1.84 e	2.02 c	1229.11 b	977.74 c
B	9.17 d	9.43 bc	2.77 d	2.98 b	1104.30 b	980.24 c
C	10.48 c	10.65 b	3.42 c	3.16 b	1045.61 b	1692.63 a
D	11.92 b	10.47 b	4.37 ab	3.29 b	1126.82 b	1308.40 bc
E	13.27 a	11.02 ab	4.94 a	3.57 b	1215.16 b	1257.92 bc
F	11.02 bc	12.52 a	4.31 b	4.37 a	1799.70 a	1426.62 ab
F 值 F value	28.41 * *	4.08 * *	30.71 * *	9.98 * *	7.25 * *	4.86 * *

\* \* 表示差异达极显著水平。  
\* \* Different at  $P<0.01$  significance level.

表 3 不同生育期类型粳稻品种单穗根系性状的差异

Table 3. Difference of root traits per panicle in japonica rice cultivars with different growth durations.

类型 Type	单穗不定根数 Number of adventitious roots per panicle		单穗根干物质量 Root dry weight per panicle/g		单穗不定根总长 Total length of adventitious roots per panicle/cm	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
A	31.69	28.17	0.21 c	0.25 c	503.67 b	672.84 c
B	36.29	35.13	0.27 bc	0.28 bc	673.23 a	836.51 ab
C	35.27	33.83	0.30 ab	0.34 ab	692.56 a	888.30 ab
D	36.82	29.26	0.32 a	0.29 bc	709.27 a	782.83 bc
E	32.97	31.08	0.31 ab	0.33 b	712.55 a	871.18 ab
F	32.88	31.32	0.32 a	0.38 a	760.18 a	955.59 a
F 值 F value	1.18	1.85	4.80 * *	4.74 * *	3.14 *	3.77 * *

类型 Type	单穗根系总吸收面积 Total root absorption area per panicle/m <sup>2</sup>		单穗根系活跃吸收面积 Root activity absorption area per panicle/m <sup>2</sup>		单穗根系活力 Root activity per panicle/(μg · h <sup>-1</sup> )	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
A	0.94 c	1.59 c	0.29 c	0.37 c	189.47 b	177.56 b
B	1.49 b	1.76 bc	0.45 b	0.55 b	178.31 b	186.12 b
C	1.81 ab	2.07 ab	0.59 a	0.62 b	178.94 b	338.28 a
D	1.91 a	1.75 bc	0.70 a	0.55 b	177.87 b	223.23 b
E	1.93 a	1.98 b	0.70 a	0.64 b	166.92 b	228.89 b
F	1.57 b	2.37 a	0.61 a	0.83 a	252.81 a	267.81 ab
F 值 F value	9.96 * *	4.02 * *	14.32 * *	8.75 * *	3.81 * *	4.41 * *

\*, \*\* 分别表示差异达显著或极显著水平。  
\*, \*\* Different at  $P<0.05$  and  $P<0.01$  significance levels, respectively.

6.69%~50.93%(2008 年)和 42.02%~7.57%(2009 年),类型间两个性状的差异均达显著或极显著水平。相关分析表明,播种到抽穗天数与单穗不定根数呈抛物线型关系,2008 年显著相关,2009 年相关不显著( $R_{2008}=0.281^*$ , $R_{2009}=0.165$ ),与单穗根干物质质量( $r_{2008}=0.426^{**}$ , $r_{2009}=0.386^{**}$ )、单穗不定根总长( $r_{2008}=0.323^{**}$ , $r_{2009}=0.324^{**}$ )均呈极显著线性正相关。

由表 3 可知,生育期对单穗根系总/活跃吸收面积、单穗根系活力的影响年度间有一定的差异,前 2 个性状趋势表现相似,2008 年表现为先增加后下降的趋势,2009 年总体表现随生育期的增加而增加;单穗根系活力年度间也有一定差异,2008 年总体表现随生育期的增加而增加,2009 年呈先增加后下降的趋势。F 类与其他类相比,单穗根系总吸收面积增加-18.69%~67.32%(2008 年)和 14.55%~49.33%(2009 年),单穗根系活跃吸收面积增加-12.43%~114.82%(2008 年)和 28.81%~122.32%(2009 年),单穗根系活力增加 33.43%~

51.45 2%(2008 年)和-20.83%~50.83%(2009 年),类型间这 3 个性状的差异均达极显著水平。相关分析表明,播种到抽穗天数与 3 个性状的相关指数/系数,根系总吸收面积分别为  $R_{2008}=0.597^{**}$ , $r_{2009}=0.334^{**}$ ,根系活跃吸收面积分别为  $R_{2008}=0.664^{**}$ , $r_{2009}=0.517^{**}$ ,单穗根系活力分别为  $r_{2008}=0.229^*$ , $R_{2009}=0.246^*$ ,均达显著或极显著相关。

2.4 不同生育期类型粳稻品种间单条不定根性状的差异

由表 4 可知,随着生育期的增加,单条不定根长、单条不定根干物质质量均表现出增加的趋势,类型间两个性状的差异均达显著或极显著水平,但不同类型间单条不定根粗无明显的变化趋势,其差异也不显著。相关分析表明,播种到抽穗天数与这 3 个性状的相关系数,单条不定根长分别为  $r_{2008}=0.448^{**}$ , $r_{2009}=0.451^{**}$ ,单条不定根重分别为  $r_{2008}=0.381^{**}$ , $r_{2009}=0.435^{**}$ ,单条不定根粗分别为  $r_{2008}=0.071$ , $r_{2009}=0.178$ ,前 2 个性状达显著或极

表 4 不同生育期类型粳稻品种单条根系性状的差异

Table 4. Difference of root traits per adventitious root in japonica rice cultivars with different growth durations.

类型 Type	单条不定根长		单条不定根干物质质量		单条不定根粗	
	Length per adventitious root/cm		Dry weight per adventitious root/mg		Diameter per adventitious root/mm	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
A	19.02 d	23.95 c	8.12 b	8.99 cd	1.01	0.81
B	20.23 cd	24.01 c	8.12 b	8.20 d	1.04	0.83
C	22.13 abc	26.66 bc	9.87 ab	9.99 bc	1.04	0.89
D	21.52 bcd	26.89 bc	9.90 ab	10.29 bc	1.02	0.84
E	23.50 ab	29.01 ab	10.06 ab	10.96 ab	1.02	0.86
F	24.79 a	31.52 a	10.91 a	12.60 a	1.04	0.88
F 值 F value	3.99**	5.29**	2.34*	5.64**	0.31	1.81

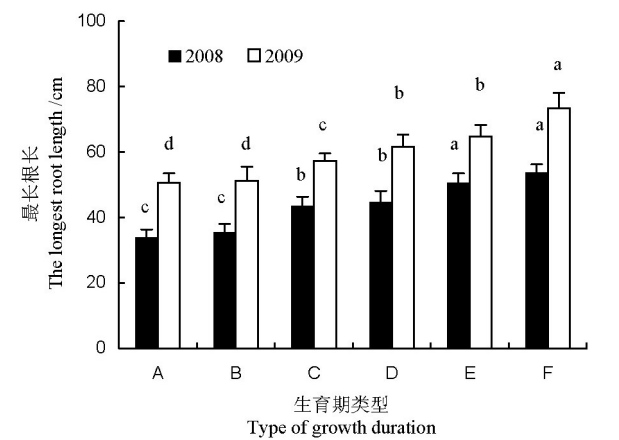
\*,\*\* 分别表示差异达显著或极显著水平。  
\*,\*\* Different at  $P<0.05$  and  $P<0.01$  significance levels, respectively.

表 5 单穗根系性状和穗数对单株根系性状的直接途径系数

Table 5. Direct path coefficient of root traits per panicle and number of panicles per plant to root traits per plant.

年份 Year	单株不定根数		单株不定根总长		单株根系干物质质量		单株根系总吸收面积		单株根系活跃吸收面积		单株根系活力	
	NARP		TLARP		RDWP		TRAP		RAAP		RAP	
	单株不	单株	单穗不	单株	单穗根系	单株	单穗根系	单株	单穗根系	单株	单穗根系	单株
	定根总数	穗数	定根总长	穗数	干物质质量	穗数	总吸收面积	穗数	活跃吸收面积	穗数	活力	穗数
	NARPP	PNP	TLARPP	PNP	RDWPP	PNP	TRAPP	PNP	RAAPP	PNP	RAPP	PNP
2008	0.704	0.617	0.852	0.569	0.850	0.585	0.926	0.478	0.918	0.445	0.803	0.479
2009	0.956	0.706	1.012	0.699	1.066	0.599	1.041	0.572	0.997	0.437	1.040	0.298

NARP, Number of adventitious roots per plant; TLARP, Total length of adventitious roots per plant; RDWP, Root dry weight per plant; TRAP, Total root absorption area per plant; RAAP, Root activity absorption area per plant; RAP, Root activity per plant; PNP, Panicle numbers per plant; NARPP, Number of adventitious roots per panicle; TLARPP, Total length of adventitious roots per panicle; RDWPP, Root dry weight per panicle; TRAPP, Total root absorption area per panicle; RAAPP, Root activity absorption area per panicle; RAPP, Root activity per panicle.



柱上方不同小写字母者表示差异达 5% 显著水平。  
Different letters are significantly different at the 0.05 probability level.

图 1 不同生育期类型粳稻品种间最长根长的差异 (平均值±标准差)

Fig. 1. Difference of the longest root length in japonica rice cultivars with different growth duration types (Mean±SD).

显著水平,后 1 个性状相关不显著。

### 2.5 单穗根系性状与穗数对单株根系性状的影响

单株根系性状可以分解为单穗根系性状与穗数的乘积。由表 5 可知,单穗根系性状对单株根系性状的直接通径系数要大于穗数对单株根系性状的直接通径系数。可见,对单株根系性状的作用单穗根系性状要大于穗数。

### 2.6 不同生育期类型粳稻品种间最长根长的差异

由图 1 可知,随着生育期的延长,最长根长呈明显增加趋势,F 类品种与其他类类型相比增加了 6.2%~58.8% (2008 年)和 13.2%~45.1% (2009 年),类型间的差异均达极显著水平 ( $F_{2008} = 29.17^{**}$ ,  $F_{2009} = 18.26^{**}$ )。相关分析表明,播种到抽穗天数与最长根长呈线性正相关 ( $r_{2008} = 0.80^{**}$ ,  $r_{2009} = 0.68^{**}$ )。

## 3 讨论

### 3.1 生育期对粳稻品种单株根系性状的影响

品种/基因型类型、土壤环境、栽培措施等因素均能显著影响水稻根系性状。品种/基因型的差异是影响根系生长的重要因素,一些学者从粳/粳稻<sup>[15-16]</sup>、常规/杂交稻<sup>[16]</sup>、产量水平<sup>[7,17]</sup>、库容量<sup>[18]</sup>、穗型<sup>[19]</sup>、氮素吸收利用<sup>[20-26]</sup>等角度分析了这些因素与根系性状的关系。近年来,水稻品种改良速度加快,穗型、株高、叶片性状等株型有了显著的改善,产

量潜力大幅提高。这些高产或超高产的品种叶面积系数大、干物质生产量大、吸氮能力增强。随着产量水平的提高,对养分吸收有显著影响的一些根系性状如根质量、根数、根长等明显优化<sup>[13,27-30]</sup>,也有一些根系性状如根系伤流液、单位根质量氧化力却表现出下降的趋势<sup>[32-36]</sup>。随着育成年代的延迟,水稻品种全生育期有明显增加的趋势,特别是近年来育成超级稻品种全生育期增加幅度更大<sup>[13]</sup>,生育期较长或长是现代高产品种一个重要特征。而生育期是水稻重要的农艺性状,易于观察与测定,生育期对水稻地上部及产量形成有重要的作用,但生育期对根系性状有无影响,影响有多大还不清楚。本研究表明,随着生育期的延长,增加或部分增加了粳稻品种单株根干物质质量/不定根总长、最长根长、单株根系总/活跃吸收面积、单株根系活力,但生育期的改变对单株不定根数影响较小,生育期长的品种单株不定根数与生育期短的品种并无明显的差异。说明生育期对单株根系性状的影响并不完全相同。

### 3.2 生育期对粳稻品种单穗/单条根系性状的影响

一些研究发现,高产或超高产水稻的生长优势不仅体现在群体上,且在单穗叶面积/库容量/干物质产量等一些性状上也表现出更明显的优势,并发现这些优势与单穗吸氮能力显著增强有密切的关系<sup>[11-12,37]</sup>。而单穗吸氮能力无疑受到单穗根系性状的影响。水稻单株根系性状由单株穗数与单穗根系性状两者构成。从理论上讲,提高单株穗数或提高单穗根系性状或两者同时提高均可提高单株根系性状。从穗数来看,董桂春等<sup>[11]</sup>的研究表明,生育期长短对粳稻品种穗数的影响较小,生育期长的品种单株穗数与生育期短的品种相比并无优势,那么生育期的延长对单穗根系性状又有怎样的影响,目前报道并不多。本研究表明,随着生育期的延长,粳稻品种单穗不定根干物质质量、单穗不定根长均表现为随着生育期的延长而增加,但单穗不定根数无明显变化趋势,生育期中等粳稻品种单穗不定根数较多,生育期的延长明显提高了单穗不定根干物质质量、单穗不定根长。从根系活力角度来看,生育期的改变对粳稻品种单穗根系总/根系活跃吸收面积、单穗根系活力的影响年度间虽有一定的差异,但它们与生育期的关系均较密切,生育期长的品种单穗根系总/根系活跃吸收面积、单穗根系活力多较大。进一步分析表明,单穗根系性状对单株根系性状的影响要明显大于穗数对单株根系性状的影响(表 5),可见



改善与优化单穗根系性状是提高粳稻品种单株根系性状的重要手段。

单株/单穗的不定根长(质量)由不定根数 $\times$ 单条不定根长(质量)构成。与生育期短的品种相比,生育期长的品种单条不定根长(质量)长(大),但单株/单穗的不定根数无明显优势,由此可以推断,生育期长的品种单株与单穗的不定根长(质量)长(大)可能与其单条不定根长(质量)在数量上具有明显优势有密切的关系。综上所述,生育期长的粳稻品种在多数单株根系性状具有明显的优势,这可能与其单穗根系性状、单条不定根如根长、根重等一些性状的改善与优化有密切的关系。

## 参考文献:

- [1] 凌启鸿. 作物群体质量. 上海:上海科学技术出版社, 2000: 154-167.
- [2] Tirol-padre A, Ladha, J K, Singh U. Grain yield performance of rice genotypes at suboptimal levels of soil N as affected by N uptake and utilization efficiency. *Field Crops Res*, 1996, 46: 127-143.
- [3] Inthapanya P, Sihavong P, Sihathep V, et al. Genotype differences in nutrient uptake and utilization for grain yield production of rainfed lowland rice under fertilized and no N fertilized conditions. *Field Crops Res*, 2000, 65: 57-68.
- [4] 单玉华, 王余龙, 山本由德, 等. 常规水稻与杂交水稻氮素利用效率的差异. 江苏农业研究, 2001, 22(1): 12-15.
- [5] 董明辉, 张洪程, 戴其根. 不同粳稻品种氮素吸收利用特点的研究. 扬州大学学报:农业与生命科学版, 2002, 23(4): 43-46, 65.
- [6] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗. 水稻不同基因型氮素利用效率差异. 中国水稻科学, 2003, 17(3): 233-238.
- [7] 张传胜, 王余龙, 龙银成, 等. 影响水稻品种产量水平的主要根系性状. 作物学报, 2005, 31(2): 137-143.
- [8] 张岳芳. 不同氮素累积量类型籼稻品种的基本特点及其对供氮浓度的响应 [学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2006: 34-37.
- [9] 董桂春, 王余龙, 张岳芳, 等. 不同氮素籽粒生产效率类型籼稻品种产量及其构成的基本特点. 作物学报, 2006, 32(10): 1511-1518.
- [10] 于小凤. 氮素高效吸收型水稻的基本特点 [学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2012: 28-33.
- [11] 董桂春, 王熠, 于小凤, 等. 不同生育期水稻品种氮素吸收利用的差异. 中国农业科学, 2011, 44(22): 4570-4582.
- [12] 于小凤, 王坚纲, 李进前, 等. 不同氮素吸收类型粳稻品种吸氮能力的差异及原因分析. 中国水稻科学, 2012, 26(3): 331-340.
- [13] 张耗, 黄钻华, 王静超, 等. 江苏中籼水稻品种演进过程中根系形态生理性状的变化及其与产量的关系. 作物学报, 2011, 37(6): 1020-1030.
- [14] 顾世梁, 莫惠栋. 动态聚类的一种新方法——最小组内平方和法. 江苏农学院学报, 1989, 10(4): 1-8.
- [15] 陈健. 籼粳稻及其杂交育成种根系的比较研究. 沈阳农业大学学报, 1991, 22(增): 99-105.
- [16] 董桂春, 王余龙, 王坚刚, 等. 不同类型水稻品种间根系性状的差异. 作物学报, 2002, 28(6): 749-755.
- [17] 朱德峰, 林贤青, 曹卫星. 超高产水稻品种的根系分布特点. 南京农业大学学报, 2000, 23(4): 5-8.
- [18] 董桂春, 董燕萍, 张彪, 等. 不同库容量类型籼稻品种根系性状的差异. 中国农业科学, 2009, 42(9): 3058-3066.
- [19] 董桂春, 李进前, 田昊, 等. 大穗型籼稻品种根系性状的基本特点. 作物学报, 2009, 35(7): 1357-1363.
- [20] 张岳芳, 王余龙, 张传胜, 等. 籼稻品种的氮素累积量与根系性状的关系. 作物学报, 2006, 32(8): 1121-1129.
- [21] 于小凤, 李进前, 田昊, 等. 影响粳稻品种吸氮能力的根系性状. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4358-4366.
- [22] 魏海燕, 张洪程, 张胜飞, 等. 不同氮利用效率水稻基因型的根系形态与生理指标的研究. 作物学报, 2008, 34(3): 429-436.
- [23] 程建峰, 戴廷波, 荆奇, 等. 不同水稻基因型的根系形态生理特性与高效氮素吸收. 土壤学报, 2007, 44(2): 266-271.
- [24] 樊剑波, 沈其荣, 谭炯壮, 等. 不同氮效率水稻品种根系生理生态指标的差异. 生态学报, 2009, 29(6): 3052-3058.
- [25] 叶利庭, 樊剑波, 徐晔红, 等. 不同氮效率水稻的生长特性. 南京农业大学学报, 2010, 33(3): 77-81.
- [26] 李敏, 张洪程, 杨雄, 等. 水稻高产氮高效型品种的根系形态生理特征. 作物学报, 2012, 38(4): 648-656.
- [27] 张耗, 谈桂露, 薛亚光, 等. 江苏省粳稻品种近 60 年演进过程中产量与形态生理特征的变化. 作物学报, 2010, 36(1): 133-140.
- [28] 肖金川, 武志海, 徐克章, 等. 吉林省 47 年育成的水稻品种根系伤流液重量变化及其与剑叶光合速率的关系. 植物生理学报, 2012, 48(5): 499-504.
- [29] 梁永书, 占小登, 高志强, 等. 超级稻协优 9308 衍生群体根系与地上部重要农艺性状的相关性. 作物学报, 2011, 37(10): 1711-1723.
- [30] 龚金龙, 胡雅杰, 葛梦婕, 等. 南方粳型超级稻氮肥群体最高生产力及其形成特征的研究. 核农学报, 2012, 26(3): 0558-0572.
- [31] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系. 中国农业科学, 2011, 44(1): 36-46.
- [32] Samejima H, Kondo M, Ito O, et al. Root-shoot interaction as a limiting factor of biomass productivity in new tropical rice lines. *Soil Sci Plant Nutr*, 2004, 50(4): 545-554.
- [33] Samejima H, Kondo M, Ito O, et al. Characterization of root systems with respect to morphological traits and nitrogen-absorbing ability in the new plant type of tropical rice lines. *J Plant Nutr*, 2005, 28: 835-850.
- [34] 杨建昌, 王朋, 刘立军, 等. 中籼水稻品种产量与株型演进特征研究. 作物学报, 2006, 32(7): 949-955.
- [35] Cao S Q, Zhang R X, Lu W, et al. The involvement of cytokinin and abscisic acid levels in roots in the regulation of photosynthesis function in flag leaves during grain filling in super high-yielding rice (*Oryza sativa*). *J Agron Crop Sci*, 2004, 190: 73-80.
- [36] Zhang H, Xue Y G, Wang Z Q, et al. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with shoot growth in "super" rice. *Field Crops Res*, 2009, 113(1): 31-40.
- [37] 董桂春, 于小凤, 赵江宁, 等. 不同穗型常规籼稻品种氮素吸收利用的基本特点. 作物学报, 2009, 35(11): 2091-2100.